



**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO**

**ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA DEL PARTIDO DE TANDIL  
E INCIDENCIA DE LAS TRANSFORMACIONES  
AGROPECUARIAS SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS  
(1989 – 2004 – 2019).**

**AILÍN SOMOZA**

**Licenciada en Diagnóstico y Gestión Ambiental**

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS**

**DIRECTORA: Dra. PATRICIA VAZQUEZ**

**CODIRECTORA: Dra. LAURA ZULAICA**

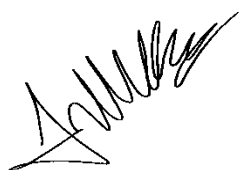
**2022**

**ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA DEL PARTIDO DE TANDIL E  
INCIDENCIA DE LAS TRANSFORMACIONES AGROPECUARIAS SOBRE  
LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS (1989 – 2004 – 2019).**

Ailín Somoza

Licenciada en Diagnóstico y Gestión Ambiental – Universidad Nacional del Centro de  
la provincia de Buenos Aires

Esta tesis es presentada como parte de los requisitos para optar al grado académico de Doctor en Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de Rosario y no ha sido previamente presentada para la obtención de otro título en esta u otra Universidad. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el partido de Tandil (provincia de Buenos Aires, Argentina), durante el período comprendido entre 2017-2022, bajo la dirección de la Dra. Patricia Vazquez y la codirección de la Dra. Laura Zulaica.



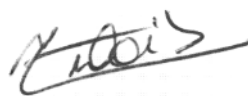
Lic. Ailín Somoza

-Tesista-



Dra. Patricia Vazquez

-Directora-



Dra. Laura Zulaica

-Codirectora-

Defendida: .....de 20--.

## **AGRADECIMIENTOS**

## **PUBLICACIONES Y PRESENTACIONES A REUNIONES CIENTÍFICAS**

### **CONGRESOS Y JORNADAS**

- ❖ Somoza, A.; Vazquez, P. y Vignolles, M. 2018. Evolución de la variabilidad de cultivos durante las campañas 1988/89 - 2010/11, en los Partidos de Azul, Tandil y Olavarría, Región Pampeana Argentina. II Jornadas Internacionales de Ambiente y IV Jornadas Nacionales de Ambiente. Facultad de Ciencias Humanas. Coordinación general de Ana Ulberich y M. Carolina Miranda del Fresno. - 1a ed. - Tandil: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2019. 680 páginas. Libro digital ISBN 978-950-658-473-3.
- ❖ Vignolles, M.; Vazquez, P.; Somoza, A. y Requesens, E. 2018. Análisis preliminar de la sustentabilidad en un establecimiento agrícola-ganadero con prácticas orgánicas en el partido de Tandil. Provincia de Buenos Aires. Argentina. II Jornadas Internacionales de Ambiente y IV Jornadas Nacionales de Ambiente. Facultad de Ciencias Humanas. Coordinación general de Ana Ulberich y M. Carolina Miranda del Fresno. - 1a ed. - Tandil: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2019. 680 páginas. Libro digital ISBN 978-950-658-473-3.
- ❖ Vazquez, P.; Somoza, A. y Vignolles, M. 2018. Comparación del avance de la agriculturización e impactos sobre la biodiversidad en el partido de Tandil y Necochea. Región Pampeana Austral. I Jornadas Nacionales de Geografía de la UNMDP. “Geografía, espacio y sociedad en los debates actuales”. Compilado por Mónica Cristina García. - 1a ed. - Mar del Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata, 2018. Libro digital, ISBN 978-987-544-823-0.
- ❖ Vazquez, P.; Zulaica, L. y Somoza, A. 2018. Comparación del proceso de agriculturización en el partido de Tandil (mediterráneo) y Lobería (costero) correspondientes a la Región Pampeana Austral. XXVIII Reunión Argentina de Ecología. Asociación Argentina de Ecología. 29, 30 y 31 de octubre, 1 y 2 de noviembre, Mar del Plata.
- ❖ Somoza, A.; Vazquez, P.; Zulaica, L.; Sacido, M. y Daga, D. 2019. Zonificación Agroecológica Preliminar del Partido de Tandil. I Congreso Argentino de Agroecología. Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo, en Mendoza, Argentina, del 18 al 20 de setiembre de 2019. Ponencia aprobada para su presentación.



- ❖ Somoza, A.; Vazquez, P.; Zulaica, L. y Sacido, M. 2019. Definición de unidades paisajísticas serranas para la gestión ambiental del territorio. Partido de Tandil. VII Jornadas y IV Congreso Argentino de Ecología de Paisajes IV Foro Regional Ecovalle. “Paisajes de cambio: La planificación posible y el consumo de suelos”. Cipolletti, 8 al 11 de octubre Universidad de Flores (Sede Comahue). Ponencia aprobada para su presentación.
- ❖ Somoza, A.; Vazquez, P.; Zulaica, L. y Daga, D. 2019. Agriculturización en la Pampa Austral: compartimentos ecológicos y consecuencias ambientales en el partido de Tandil. 7° Congreso de Ciencias Ambientales -COPIME 2019. Ciudad de Buenos Aires los días 09, 10 y 11 de octubre de 2019. Ponencia aprobada para su presentación.
- ❖ Vazquez, P., Somoza, A., Sequeira, N., Daga, D. Conservación de la Calidad de Suelos y Agua en una Cuenca Agropecuaria de la Región Pampeana Argentina. VIII Congreso Latinoamericano – Agroecología. Noviembre 2020.
- ❖ Vazquez, P., Somoza, A. Cambios en el Uso del Suelo de las Unidades Agroecológicas del Partido de Tandil, Provincia de Buenos Aires, Argentina. . VIII Congreso Latinoamericano – Agroecología. Noviembre 2020.
- ❖ Zulaica, L., Vazquez, P., Somoza, A., Molpeceres, C. Extractivismo y agricultura: aportes al análisis de las relaciones sociedad-naturaleza en partidos del centro-sur bonaerense. II Jornadas de Fundamentos y Aplicaciones de la Interdisciplina. Abril 2021.
- ❖ Vazquez, P., Somoza, Zulaica, L., Sacido, M. Apropiación, manejo y uso de la naturaleza en el ambiente de sierras. Partido de Tandil. Región Pampeana Austral. II Jornadas de Fundamentos y Aplicaciones de la Interdisciplina. Abril 2021.
- ❖ Vazquez, P., Somoza, Duval, M.P. Cambios en los usos del suelo en la Cuenca Superior del Arroyo Langeyú (1989 – 2004 - 2019), Sistema de Tandilia, Argentina. III Jornadas Internacionales y V Nacionales de Ambiente. Mayo 2021.
- ❖ Vazquez, P., Somoza, A., Daga, D.Y., Sequeira, N.D. Análisis espectral de sistemas ecológicos en una Cuenca Agropecuaria del Sistema de Tandilia. XXIX Reunión Argentina de Ecología. Agosto 2021.

- ❖ Vazquez, P., Sequeira, N.D., Daga, D.Y., Somoza, A., De Vito, F. Conservación de la biodiversidad en dos partidos del Sistema de Tandilia, Argentina. XXIX Reunión Argentina de Ecología. Agosto 2021.
- ❖ Somoza, A. y Vazquez, P. Impactos de los cambios en el stock de carbono orgánico e incidencias sobre los servicios ecosistémicos del suelo. Partido de Tandil. II Jornadas Nacionales de Geografía de la UNMDP, “Escenarios, tensiones y perspectivas en la Geografía del siglo XXI”. Mar del Plata, Abril de 2022.
- ❖ Somoza, A. y Vazquez, P. Análisis geoespacial y consecuentes impactos ambientales en la Cuenca del Chapaleofú (período 1989-2019), región Pampeana Austral. II Jornadas Nacionales de Geografía de la UNMDP, “Escenarios, tensiones y perspectivas en la Geografía del siglo XXI”. Mar del Plata, Abril de 2022.
- ❖ Somoza, A., Vazquez, P., Daga, D.Y. y Sequerira, N. Estado de provisión de del servicio ecosistémico de calidad de suelos y agua en el Partido de Tandil. IX Congreso Latinoamericano de Agroecología 2022: "Diversidad biocultural para la salud de las comunidades y los ecosistemas", Costa Rica - Octubre 2022.
- ❖ Daga, D.Y., Sequerira, N., Vazquez, P. y Somoza, A. Variación de la promoción de la biodiversidad en agroecosistemas de la Pampa Austral, Argentina. IX Congreso Latinoamericano de Agroecología 2022: "Diversidad biocultural para la salud de las comunidades y los ecosistemas", Costa Rica - Octubre 2022.

## REVISTAS CON REFEREATO

- ❖ Somoza, A.; Vazquez, P. y Zulaica, L. 2018. Implementación de Buenas Prácticas Agrícolas para la gestión ambiental rural. Estudio de caso: Establecimiento Rural representativo del Partido de Tandil. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 44(3), 398-423.
- ❖ Vazquez, P.; Zulaica, L. & Somoza, A. 2019. Tasas de cambio de uso del suelo y agriculturización en el partido de Tandil Argentina. *Geoambiente On-line*, N° 34, p. 66-86. Doi: <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i34.58711>.
- ❖ Vazquez, P., Zulaica, L., & Somoza, A. (2019). Agriculturización, impactos ambientales y zonificación ecológica en el partido de Tres Arroyos (provincia de Buenos Aires, Argentina). Período 2002 y 2017. *GOT: Revista de Geografía e*

*Ordenamento do Território*, Vol. 18, Nº 209. Doi: <http://dx.doi.org/10.17127/got/2019.18.009>.

- ❖ Somoza, A., Vazquez, P., Zulaica, L., Sacido, M. 2020. Dinámica espacio-temporal de usos del suelo en sistemas ecológicos de la Región Pampeana Argentina. *Agricuñlturización en el parido de Tandil. M+A. Revista Electrónica@ de Medioambiente de Universidad Complutense de Madrid*. Volumen 21, número 1: 82 – 101. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/127619>
- ❖ Somoza, A., Vazquez, P., Zulaica, L., Sacido, M. 2021. Cambios de usos del suelo en el partido de Tandil (1989-2019), según sistemas ecológico-paisajísticos. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*. Año 13, Número 19, 2021, Sección I: Artículos. pp. 1-19. [https://87538a9a-4129-4498-961e-c765cd62c3.filesusr.com/ugd/79758e\\_5c51589e448c493cbdebdbfa2beaab8.pdf](https://87538a9a-4129-4498-961e-c765cd62c3.filesusr.com/ugd/79758e_5c51589e448c493cbdebdbfa2beaab8.pdf)
- ❖ Somoza, A., Vazquez, P., Zulaica, L., Sacido, M. 2021. Zonificación agroecológica del partido de Tandil (Argentina): aportes para gestión de servicios ecosistémicos. *Cadernos de Geografía*. Nº 43 - pp. 107-126. DOI: [https://dx.doi.org/10.14195/0871-1623\\_43\\_8](https://dx.doi.org/10.14195/0871-1623_43_8)
- ❖ Somoza, A. y Vazquez, P. 2021. Cuenca hidrográfica agropecuaria y evolución de los servicios ecosistémicos en la región sur pampeana Argentina. *Papeles de Geografía*. Núm. 66; 103-122 pp. DOI: 10.6018/geografia.431471
- ❖ Somoza, A. y Vazquez, P. 2022. Adopción del agronegocio y estrategias para el ordenamiento ambiental territorial. *Unidades de Agriculturización y Unidades Ambientales en el partido de Tandil, Región Pampeana Argentina. Ciencias Agronómicas* (En prensa).
- ❖ Pena Gómez, P.R., Fernández San Juan, R., Somoza, A., Vazquez, P., Cortelezzi, A. 2022. Cuenca del Arroyo Chapaleofú: agriculturización y efecto del insecticida clorpirifos sobre una especie no blanco. *Ecosististemas y Recursos Agropecuarios* (En prensa). 9(2)
- ❖ Somoza, A. y Vazquez, P. 2022. Variación espacio temporal del stock de carbono orgánico y su relación con los cambios en el uso del suelo. Partido de Tandil, Región Pampeana Austral, Argentina. *Revista Geográfica de América Central* (En prensa).

## ÍNDICE

|                                                                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| RESUMEN .....                                                                                                                                                                     | 1   |
| INTRODUCCIÓN.....                                                                                                                                                                 | 6   |
| PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA.....                                                                                                                                                    | 7   |
| HIPÓTESIS .....                                                                                                                                                                   | 12  |
| OBJETIVO GENERAL .....                                                                                                                                                            | 13  |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                                                                                                                                       | 13  |
| ORGANIZACIÓN DE LA TESIS .....                                                                                                                                                    | 14  |
| MARCO TEÓRICO .....                                                                                                                                                               | 16  |
| ADOPCIÓN DEL AGRONEGOCIO, PROPULSOR DEL CAMBIO GLOBAL .....                                                                                                                       | 17  |
| PRODUCTIVIDAD Y RENTABILIDAD VS. EXTERNALIDADES AMBIENTALES .....                                                                                                                 | 19  |
| CAMBIO DE ENFOQUE EN LA GESTIÓN DE LOS AGROECOSISTEMAS.....                                                                                                                       | 22  |
| HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS DE LAS TRANSFORMACIONES EN LOS USOS DEL SUELO, SUS IMPACTOS Y GESTIÓN.....                                                                          | 25  |
| ÁREA DE ESTUDIO.....                                                                                                                                                              | 32  |
| CAPÍTULO I - UNIDADES AGROECOLÓGICAS DEL PARTIDO DE TANDIL ...                                                                                                                    | 42  |
| OBJETIVO ESPECÍFICO.....                                                                                                                                                          | 43  |
| MATERIALES Y MÉTODOS.....                                                                                                                                                         | 44  |
| RESULTADOS .....                                                                                                                                                                  | 50  |
| DISCUSIÓN.....                                                                                                                                                                    | 75  |
| CAPÍTULO II - DETECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE CAMBIOS EN EL USO DE LA TIERRA MEDIANTE SENSORES REMOTOS .....                                                                        | 79  |
| OBJETIVO ESPECÍFICO.....                                                                                                                                                          | 80  |
| MATERIALES Y MÉTODOS.....                                                                                                                                                         | 81  |
| RESULTADOS .....                                                                                                                                                                  | 98  |
| DISCUSIÓN.....                                                                                                                                                                    | 111 |
| CAPÍTULO III - DEFINICIÓN DE UNIDADES DE AGRICULTURIZACIÓN Y UNIDADES AMBIENTALES EN EL PARTIDO DE TANDIL.....                                                                    | 122 |
| OBJETIVO ESPECÍFICO.....                                                                                                                                                          | 123 |
| MATERIALES Y MÉTODOS.....                                                                                                                                                         | 124 |
| RESULTADOS .....                                                                                                                                                                  | 127 |
| DISCUSIÓN.....                                                                                                                                                                    | 140 |
| CAPÍTULO IV - INCIDENCIA DE LA AGRICULTURIZACIÓN SOBRE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE REGULACIÓN: CONSERVACIÓN DE LA CALIDAD DE SUELO Y AGUA Y CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD ..... | 145 |

|                                                                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                                                                                                                   | 146 |
| MATERIALES Y MÉTODOS.....                                                                                                                                     | 147 |
| RESULTADOS .....                                                                                                                                              | 151 |
| DISCUSIÓN.....                                                                                                                                                | 163 |
| CAPÍTULO V - INCIDENCIA DE LA AGRICULTURIZACIÓN SOBRE<br>SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE REGULACIÓN: CONSERVACIÓN DEL<br>STOCK DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO ..... | 173 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                                                                                                                   | 174 |
| MATERIALES Y MÉTODOS.....                                                                                                                                     | 175 |
| RESULTADOS .....                                                                                                                                              | 186 |
| DISCUSIÓN.....                                                                                                                                                | 199 |
| CAPÍTULO VI - INCIDENCIA DE LA AGRICULTURIZACIÓN SOBRE<br>SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE REGULACIÓN: CONTROL DE LA EROSIÓN<br>HÍDRICA .....                       | 203 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                                                                                                                   | 204 |
| MATERIALES Y MÉTODOS.....                                                                                                                                     | 205 |
| RESULTADOS .....                                                                                                                                              | 208 |
| DISCUSIÓN.....                                                                                                                                                | 218 |
| CAPÍTULO VII - ÍNDICE DE PROVISIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE<br>REGULACIÓN .....                                                                          | 221 |
| OBJETIVO ESPECÍFICO.....                                                                                                                                      | 222 |
| METODOLOGÍA.....                                                                                                                                              | 223 |
| RESULTADOS .....                                                                                                                                              | 226 |
| DISCUSIÓN.....                                                                                                                                                | 236 |
| CAPÍTULO VIII - INCIDENCIA DE LA AGRICULTURIZACIÓN SOBRE<br>SERVICIOS ECOSISTÉMICOS CULTURALES .....                                                          | 237 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                                                                                                                   | 238 |
| MATERIALES Y MÉTODOS.....                                                                                                                                     | 239 |
| RESULTADOS .....                                                                                                                                              | 243 |
| DISCUSIÓN.....                                                                                                                                                | 249 |
| CAPÍTULO IX - PLANIFICACIÓN AMBIENTAL RURAL DE LAS UNIDADES<br>AMBIENTALES DEL PARTIDO DE TANDIL.....                                                         | 254 |
| OBJETIVO ESPECÍFICO.....                                                                                                                                      | 255 |
| MATERIALES Y MÉTODOS.....                                                                                                                                     | 256 |
| RESULTADOS .....                                                                                                                                              | 261 |
| DISCUSIÓN.....                                                                                                                                                | 281 |
| CONCLUSIONES FINALES .....                                                                                                                                    | 289 |

|                    |     |
|--------------------|-----|
| BIBLIOGRAFÍA ..... | 294 |
| ANEXOS .....       | 332 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 1.</b> Región Pampeana Argentina y sus subregiones: Pampa Ondulada; Pampa Arenosa; Pampa Austral; Pampa Deprimida; Pampa Mesopotámica. ....                                                  | 33  |
| <b>Figura 2.</b> Sistemas Ecológicos Paisajísticos del partido de Tandil. ....                                                                                                                         | 36  |
| <b>Figura 3.</b> Localización del partido de Tandil en la RPA y centros rurales en los distintos Sistemas Ecológicos Paisajísticos. ....                                                               | 39  |
| <b>Figura 4.</b> Diagrama esquemático de la metodología utilizada. ....                                                                                                                                | 44  |
| <b>Figura 5.</b> Ubicación espacial de la composición edáfica de UE-S1. ....                                                                                                                           | 51  |
| <b>Figura 6.</b> Ubicación espacial de la composición edáfica de UE-S2. ....                                                                                                                           | 52  |
| <b>Figura 7.</b> Ubicación espacial de la composición edáfica de UE de la Llanura periserrana. ....                                                                                                    | 58  |
| <b>Figura 8.</b> Ubicación espacial de la composición edáfica de UE de la Planicie distal. ..                                                                                                          | 63  |
| <b>Figura 9.</b> Unidades agroecológicas del partido de Tandil. ....                                                                                                                                   | 68  |
| <b>Figura 10.</b> Diagrama esquemático del procedimiento metodológico. ....                                                                                                                            | 81  |
| <b>Figura 11.</b> Imágenes Landsat 5 de 1989 (imagen superior) y 2004 (segunda imagen) (composición color natural “3, 2, 1”) e imagen Landsat 8 de 2019 (imagen inferior) (composición “4, 3, 2”)..... | 84  |
| <b>Figura 12.</b> Comparación de firmas espectrales de regiones de interés del área agrícola (superior) y del área ganadera (inferior) del partido de Tandil y de la librería espectral CONAE. ....    | 93  |
| <b>Figura 13.</b> Distribución espacial de las clases de uso del suelo en el partido de Tandil para 1989. ....                                                                                         | 99  |
| <b>Figura 14.</b> Distribución espacial de las clases de uso del suelo en el partido de Tandil para 2004. ....                                                                                         | 100 |
| <b>Figura 15.</b> Distribución espacial de las clases de uso del suelo en el partido de Tandil para 2019. ....                                                                                         | 101 |
| <b>Figura 16.</b> Diagrama metodológico para la definición de Unidades de agriculturización y Unidades Ambientales. ....                                                                               | 125 |
| <b>Figura 17.</b> Unidades de Agriculturización período 1989 – 2004 (UAG1). ....                                                                                                                       | 129 |
| <b>Figura 18.</b> Unidades de Agriculturización período 2004– 2019 (UAG2). ....                                                                                                                        | 132 |
| <b>Figura 19.</b> Unidades Ambientales. ....                                                                                                                                                           | 134 |
| <b>Figura 20.</b> Evolución de la provisión del servicio CB en las UA de Tandil. ....                                                                                                                  | 152 |
| <b>Figura 21.</b> Tasa de variación del servicio de CB entre 1989-2004 y 2004-2019 por UA. ....                                                                                                        | 153 |

|                                                                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 22.</b> Evolución de la provisión del servicio CCSA en las UA de Tandil. ....                                                                                               | 161 |
| <b>Figura 23.</b> Tasa de variación del servicio de CCSA entre 1989-2004 y 2004-2019 por UA. ....                                                                                     | 162 |
| <b>Figura 24.</b> Variación del stock de COS por UA en los período 1989 – 2004. ....                                                                                                  | 195 |
| <b>Figura 25.</b> Variación del stock de COS por UA en los período 2004 – 2019. ....                                                                                                  | 195 |
| <b>Figura 26.</b> Variación de valores de erosión hídrica evidenciada en la superficie agrícola de las UA del partido de Tandil ( $E_{\text{agrícola}}$ ) (período 1989 - 2004). .... | 215 |
| <b>Figura 27.</b> Variación del valor de erosión hídrica evidenciada en la superficie agrícola de las UA del partido de Tandil ( $E_{\text{agrícola}}$ ) (período 2004 - 2019). ....  | 216 |
| <b>Figura 28.</b> Estado de provisión general y parcial de SER en 1989-2004 y 2004-2019 en UA1. ....                                                                                  | 227 |
| <b>Figura 29.</b> Estado de provisión general y parcial de SER en 1989-2004 y 2004-2019 en UA2. ....                                                                                  | 228 |
| <b>Figura 30.</b> Estado de provisión general y parcial de SER en 1989-2004 y 2004-2019 en UA3. ....                                                                                  | 229 |
| <b>Figura 31.</b> Estado de provisión general y parcial de SER en 1989-2004 y 2004-2019 en UA4. ....                                                                                  | 230 |
| <b>Figura 32.</b> Estado de provisión general y parcial de SER en 1989-2004 y 2004-2019 en UA5. ....                                                                                  | 231 |
| <b>Figura 33.</b> Estado de provisión general y parcial de SER en 1989-2004 y 2004-2019 en UA6. ....                                                                                  | 232 |
| <b>Figura 34.</b> Estado de provisión general y parcial de SER en 1989-2004 y 2004-2019 en UA7. ....                                                                                  | 233 |
| <b>Figura 35.</b> Estado de provisión general y parcial de SER en 1989-2004 y 2004-2019 en UA8. ....                                                                                  | 235 |
| <b>Figura 36.</b> Diagrama metodológico. ....                                                                                                                                         | 258 |
| <b>Figura I.</b> Categorización de UAU por aptitud de las tierras. ....                                                                                                               | 333 |
| <b>Figura II.</b> Categorización de UAU por índice de productividad. ....                                                                                                             | 333 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                                                   |                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Tabla 1.</b> Categorías asignadas al Índice de Productividad .....                                                                                             | 48                                   |
| <b>Tabla 2.</b> Composición edáfica de UE serranas. ....                                                                                                          | 51                                   |
| <b>Tabla 3.</b> Índices de productividad y clases de aptitud de las tierras en UAU serranas. ....                                                                 | 53                                   |
| <b>Tabla 4.</b> Caracterización agroecológica de UAE-S1 y UAE-S2. ....                                                                                            | 53                                   |
| <b>Tabla 5.</b> Composición edáfica de UE de la Llanura periserana.....                                                                                           | 56                                   |
| <b>Tabla 6.</b> Índices de productividad y clases de aptitud de las tierras en UAU de la Llanura periserrana. ....                                                | 60                                   |
| <b>Tabla 7.</b> Caracterización agroecológica de UAE-LLP1, UAE-LLP2, UAE-LLP3, UAE-LLP4, UAE-LLP5 y UAE-LLP6. ....                                                | 60                                   |
| <b>Tabla 8.</b> Composición edáfica de UE de las Planicie distal. ....                                                                                            | 63                                   |
| <b>Tabla 9.</b> Índices de productividad y clases de aptitud de las tierras en UAU de la Planicie distal.....                                                     | 65                                   |
| <b>Tabla 10.</b> Caracterización agroecológica de UAE-PD1a, UAE-PD1b, UAE-PD2, UAE-PD3a y UAE-PD3b.....                                                           | 66                                   |
| <b>Tabla 11.</b> Caracterización de atributos que definen a las UAE's S1 y S2.....                                                                                | 69                                   |
| <b>Tabla 12.</b> Caracterización de atributos que definen a las UAE's: Llp1, Llp2, Llp3, Llp4, Llp5 y Llp6. ....                                                  | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| <b>Tabla 13.</b> Caracterización de atributos que definen a las UAE's: Pd1a, Pd1b, Pd2, Pd3a y Pd3b.....                                                          | 72                                   |
| <b>Tabla 14.</b> Comparación de principales características de imágenes Landsat 5 (Sensor TM) y Landsat 8 (Sensor OLI y TIRS). ....                               | 85                                   |
| <b>Tabla 15.</b> Clases y subclases de uso del suelo analizadas. ....                                                                                             | 95                                   |
| <b>Tabla 16.</b> Superficie ocupada por cada tipo de uso de suelo en el partido de Tandil (1989 - 2004 - 2019).....                                               | 98                                   |
| <b>Tabla 17.</b> Superficie (km <sup>2</sup> ) ocupada por clases principales de uso de suelo por UAE del Partido (1989, 2004 y 2019).....                        | 102                                  |
| <b>Tabla 18.</b> Porcentaje de superficie destinada a áreas agrícolas y de PyP en las UAE's de las Llanuras periserranas para las tres fechas seleccionadas. .... | 106                                  |
| <b>Tabla 19.</b> Porcentaje de superficie destinada a áreas agrícolas y de PyP en las UAE's de las Planicies Distales para las tres fechas seleccionadas. ....    | 107                                  |
| <b>Tabla 20.</b> Porcentaje de superficie destinada a áreas agrícolas y de PyP en las UAE's de las Serranías para las tres fechas seleccionadas.....              | 107                                  |
| <b>Tabla 21.</b> Porcentaje de superficie destinada a áreas urbanas en las UAE's en las tres fechas seleccionadas .....                                           | 107                                  |
| <b>Tabla 22.</b> Porcentaje de superficie destinada a áreas de cuerpos de agua en las UAE's en las tres fechas seleccionadas. ....                                | 109                                  |
| <b>Tabla 23.</b> Intervalos de clases de agriculturización del período 1989 – 2004 y 2004 – 2019. ....                                                            | 125                                  |



|                                                                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 24.</b> Modificaciones en la superficie agrícola y de pastizales y pasturas en las UAE del partido de Tandil durante los períodos 1989 – 2004 y 2004 – 2019. ....             | 127 |
| <b>Tabla 25.</b> Principales características que definen las UA. ....                                                                                                                  | 135 |
| <b>Tabla 26.</b> Coeficientes utilizados para estimar el CB. ....                                                                                                                      | 148 |
| <b>Tabla 27.</b> Indicador CCSA para el partido de Tandil - 1989. ....                                                                                                                 | 155 |
| <b>Tabla 28.</b> Indicador CCSA para el partido de Tandil - 2004. ....                                                                                                                 | 156 |
| <b>Tabla 29.</b> Indicador CCSA para el partido de Tandil - 2019. ....                                                                                                                 | 157 |
| <b>Tabla 30.</b> Valores adoptados por el factor de uso del suelo. ....                                                                                                                | 179 |
| <b>Tabla 31.</b> Valores adoptados por el factor sistema de manejo. ....                                                                                                               | 180 |
| <b>Tabla 32.</b> Valores adoptados por el factor input. ....                                                                                                                           | 181 |
| <b>Tabla 33.</b> Factores de cambio empleados para el cálculo del COS inicial de 1989 asociado a áreas de Pastizales y Pasturas y áreas Agrícolas. ....                                | 182 |
| <b>Tabla 34.</b> Factores de cambio empleados para el cálculo del COSF de 2004 a partir del COSI de 1989 en sus respectivas modificaciones o continuidades en los usos del suelo. .... | 183 |
| <b>Tabla 35.</b> Factores de cambio empleados para el cálculo del COSF de 2019 a partir del COSI de 2004 en sus respectivas modificaciones o continuidades en los usos del suelo. .... | 184 |
| <b>Tabla 36.</b> Modificaciones en el stock de COS durante el período 1989 – 2004 por hectárea en tres situaciones de cambios o continuación de usos del suelo. ....                   | 187 |
| <b>Tabla 37.</b> Modificaciones en el stock de COS durante el período 2004 – 2019 por hectárea en tres situaciones de cambios o continuación de usos del suelo. ....                   | 187 |
| <b>Tabla 38.</b> Stock de COS en hectáreas de pastizales y pasturas y su variación entre períodos. ....                                                                                | 188 |
| <b>Tabla 39.</b> Stock de COS en hectáreas agrícolas “nuevas” y su variación entre períodos. ....                                                                                      | 189 |
| <b>Tabla 40.</b> Stock de COS en hectáreas agrícolas “antiguas” y su variación entre períodos. ....                                                                                    | 190 |
| <b>Tabla 41.</b> Stock de COS por hectárea y por superficie total de áreas de pastizales y pasturas y áreas agrícolas - Stock de COS total por UA (1989). ....                         | 192 |
| <b>Tabla 42.</b> Stock de COS por hectárea y por superficie total de áreas de pastizales y pasturas y áreas agrícolas - Stock de COS total por UA (2004). ....                         | 192 |
| <b>Tabla 43.</b> Stock de COS por hectárea y por superficie total de áreas de pastizales y pasturas y áreas agrícolas - Stock de COS total por UA (2019). ....                         | 193 |
| <b>Tabla 44.</b> Erosividad de las lluvias (R) por taxonomías principales. ....                                                                                                        | 208 |
| <b>Tabla 45.</b> Susceptibilidad de los suelos a la erosión hídrica (factor K) por taxonomías principales. ....                                                                        | 209 |
| <b>Tabla 46.</b> Longitud de la pendiente (L) y pendiente (S). ....                                                                                                                    | 210 |

|                                                                                                                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 47.</b> Rotaciones y sistemas de labranza dominantes en 1989, 2004 y 2019 para obtener el factor cultivo (C).....                                                                                | 211 |
| <b>Tabla 48.</b> Pérdida de suelo y erosión hídrica potencial (parcial y actual) por UA (1989, 2004 y 2019).....                                                                                          | 212 |
| <b>Tabla 49.</b> Pérdida de suelos por erosión hídrica evidenciada en la superficie agrícola de las UA del partido de Tandil ( $E_{\text{agrícola}}$ y $EP_{\text{agrícola}}$ ) (1989 – 2004 – 2019)..... | 213 |
| <b>Tabla 50.</b> Categorías de provisión de SER. ....                                                                                                                                                     | 223 |
| <b>Tabla 51.</b> Variación y categorización de los indicadores e IPSE en UA1. ....                                                                                                                        | 226 |
| <b>Tabla 52.</b> Variación y categorización de los indicadores e IPSE en UA2. ....                                                                                                                        | 228 |
| <b>Tabla 53.</b> Variación y categorización de los indicadores e IPSE en UA3. ....                                                                                                                        | 228 |
| <b>Tabla 54.</b> Variación y categorización de los indicadores e IPSE en UA4. ....                                                                                                                        | 230 |
| <b>Tabla 55.</b> Variación y categorización de los indicadores e IPSE en UA5. ....                                                                                                                        | 231 |
| <b>Tabla 56.</b> Variación y categorización de los indicadores e IPSE en UA6. ....                                                                                                                        | 232 |
| <b>Tabla 57.</b> Variación y categorización de los indicadores e IPSE en UA7. ....                                                                                                                        | 233 |
| <b>Tabla 58.</b> Variación y categorización de los indicadores e IPSE en UA8. ....                                                                                                                        | 234 |
| <b>Tabla 59.</b> Categorías de Índice de Provisión de SEC a partir de los IR y IPP. ....                                                                                                                  | 242 |
| <b>Tabla 60.</b> Número de establecimientos productivos y la distribución de su extensión en las fechas censales: 1988, 2002 y 2018. ....                                                                 | 243 |
| <b>Tabla 61.</b> Cambios en la cantidad de EAP's y su cantidad de hectáreas por período intercensal.....                                                                                                  | 245 |
| <b>Tabla 62.</b> Superficie correspondiente a distintos regímenes de tenencia de la tierra en los censos 1988, 2002 y 2018.....                                                                           | 246 |
| <b>Tabla 63.</b> Indicador de Ruralidad para el período intercensal 1988-2002 y 2002-2018. ....                                                                                                           | 247 |
| <b>Tabla 64.</b> Indicador de Presencia Productiva para el período intercensal 1988-2002 y 2002-2018.....                                                                                                 | 248 |
| <b>Tabla 65.</b> Valores de IR, IPP y categoría de IPSEC en los períodos intercensales 1988-2002 y 2002-2018 en el partido de Tandil.....                                                                 | 248 |
| <b>Tabla 66.</b> Unidades Ambientales y SE receptores de las estrategias a implementar particular y municipalmente. ....                                                                                  | 279 |
| <b>Tabla I.</b> Localización de las Regiones de Interés utilizadas para efectuar la clasificación supervisada (Capítulo II). ....                                                                         | 335 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

---

|                                                                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Gráfico 1.</b> Superficie (km <sup>2</sup> ) de áreas agrícolas en 1989, 2004 y 2019 en el partido de Tandil.....                                                | 103 |
| <b>Gráfico 2.</b> Superficie (km <sup>2</sup> ) de pastizales y pasturas en 1989, 2004 y 2019 en el partido de Tandil.....                                          | 103 |
| <b>Gráfico 3.</b> Superficie (km <sup>2</sup> ) de áreas agrícolas en 1989, 2004 y 2019 en las UAE's del partido de Tandil.....                                     | 104 |
| <b>Gráfico 4.</b> Superficie (km <sup>2</sup> ) de pastizales y pasturas en 1989, 2004 y 2019 en las UAE's del partido de Tandil.....                               | 105 |
| <b>Gráfico 5.</b> Superficie (km <sup>2</sup> ) de áreas urbanas en 1989, 2004 y 2019 a escala del partido de Tandil.....                                           | 108 |
| <b>Gráfico 6.</b> Superficie (km <sup>2</sup> ) de áreas urbanas en 1989, 2004 y 2019 en las UAE's del Partido.....                                                 | 108 |
| <b>Gráfico 7.</b> Superficie (km <sup>2</sup> ) ocupada por cuerpos de agua en 1989, 2004 y 2019 a escala del partido de Tandil.....                                | 109 |
| <b>Gráfico 8.</b> Superficie (km <sup>2</sup> ) ocupada por cuerpos de agua en 1989, 2004 y 2019 en las UAE's del Partido.....                                      | 110 |
| <b>Gráfico 9.</b> Evolución de la superficie sembrada con los principales cultivos en el Partido en el período de estudio. ....                                     | 113 |
| <b>Gráfico 10.</b> Evolución de las existencias bovinas en el Partido en el período 1989 - 2019. ....                                                               | 115 |
| <b>Gráfico 11.</b> Precipitaciones anuales registradas en el período de estudio en el Partido de Tandil en el período 1989 - 2019.....                              | 118 |
| <b>Gráfico 12.</b> Variación de superficie agrícola y de pastizales y pasturas en las UAE's de Tandil (1989 – 2004). ....                                           | 130 |
| <b>Gráfico 13.</b> Variación de superficie agrícola y de pastizales y pasturas en las UAE's de Tandil (1989 – 2004). ....                                           | 132 |
| <b>Gráfico 14.</b> Porcentaje del territorio correspondiente distintos niveles de intensidad del proceso de agriculturización en los dos períodos de análisis. .... | 133 |
| <b>Gráfico 15.</b> Indicador CB para las distintas clases de uso del suelo del partido de Tandil en los años 1989, 2004 y 2019. ....                                | 151 |
| <b>Gráfico 16.</b> Indicador CB para las UA del partido en 1989, 2004 y 2019. ....                                                                                  | 152 |
| <b>Gráfico 17.</b> Evolución del empleo de fitosanitarios en el partido de Tandil. ....                                                                             | 158 |
| <b>Gráfico 18.</b> Cantidad de productos fitosanitarios empleados por categoría toxicológica en 1989, 2004 y 2019. ....                                             | 160 |
| <b>Gráfico 19.</b> Indicador de CCSA para Tandil y sus UA (1989, 2004 y 2019).....                                                                                  | 160 |
| <b>Gráfico 20.</b> Modificaciones en el stock de COS en hectáreas de pastizales y pasturas. ....                                                                    | 188 |
| <b>Gráfico 21.</b> Modificaciones en el stock de COS en hectáreas agrícolas “nuevas”.....                                                                           | 190 |

|                                                                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Gráfico 22.</b> Modificaciones en el stock de COS en hectáreas agrícolas “antiguas”....                                                           | 191 |
| <b>Gráfico 23.</b> Modificaciones en el stock de COS en áreas de pastizales y pasturas en las UA del partido. ....                                   | 197 |
| <b>Gráfico 24.</b> Modificaciones en el stock de COS en áreas agrícolas en las diferentes UA del partido. ....                                       | 198 |
| <b>Gráfico 31.</b> Pérdida de suelo por erosión hídrica en las UA del partido de Tandil. ....                                                        | 213 |
| <b>Gráfico 32.</b> Pérdida de suelo por superficie agrícola ( $E_{agrícola}$ ) por UA del partido de Tandil (1989, 2004 y 2019). ....                | 214 |
| <b>Gráfico 33.</b> Distribución de la cantidad de EAP’s del partido de Tandil correspondiente a cada categoría de extensión en 1988, 2002, 2018..... | 243 |
| <b>Gráfico 34.</b> Distribución de hectáreas de las EAP’s del partido de Tandil en 1988, 2002, 2018. ....                                            | 243 |
| <b>Gráfico 35.</b> Variaciones intercensales en la cantidad de EAP’s. ....                                                                           | 246 |
| <b>Gráfico 36.</b> Variaciones intercensales en la distribución de superficie de EAP’s.....                                                          | 246 |
| <b>Gráfico 37.</b> Distribución porcentual de tenencia de la tierra en los censos 1988, 2002 y 2018. ....                                            | 247 |

## RESUMEN

La actividad agrícola aumenta la productividad y rentabilidad a la vez que incrementa los costos ambientales. Sin embargo, si la sustentabilidad de los agroecosistemas se ve alterada, a partir de la expansión e intensificación productiva, éstos se convertirán en sistemas degradados y dejarán progresivamente de proveer servicios ecosistémicos. Esta insuficiencia tiende a generar la reducción de la capacidad inherente a los ecosistemas de sostener no sólo la actividad económica sino también del resto de actividades humanas. El objetivo de esta investigación es evaluar la incidencia de las transformaciones agroproductivas temporalmente (1989 – 2004 - 2019) sobre la provisión de servicios ecosistémicos en las Unidades Ambientales de Tandil, a fin de detallar estrategias que contribuyan a la planificación ambiental de los recursos naturales de un área representativa de la Región Pampeana Austral.

Para ello, en primera instancia se definieron trece Unidades Agroecológicas, zonas homogéneas en cuanto a sus principales características ecológicas y agrarias. Las unidades pertenecientes al sistema de serranías resultan más vulnerables debido a la escasa profundidad de las formaciones superficiales. En áreas de Llanura periserrana y de Planicie distal los elementos más vulnerables son las lomas con pendientes que si bien en condiciones naturales presentan una susceptibilidad a la erosión relativamente baja la sustitución de la vegetación nativa por agroecosistemas ocasiona que la vulnerabilidad se incremente e intensifique con el proceso de agriculturización.

En segunda instancia las Unidades de Agriculturización, derivadas del análisis de clasificaciones supervisadas y relevamientos de campo, permitieron conocer cómo ha sido la dinámica del arraigo del modelo del agronegocio en el territorio y la adopción de paquetes devenidos de la Revolución Verde desde 1989 hasta 2019 de acuerdo a las particularidades agroecológicas de los distintos paisajes del Partido. La mayor parte del territorio exhibe una agriculturización de intensidad alta asociada en una segunda etapa a la expansión de la actividad a sectores de mayores riesgos productivos y ecológicos.

En tercera instancia la fusión de aspectos ecológicos, productivos y asociados a la dinámica e intensidad del proceso de agriculturización en Sistemas de Información Geográfica dio lugar a ocho Unidades Ambientales. El análisis integrado de distintos atributos permitió el reconocimiento de potencialidades y restricciones de las unidades territoriales para tender a la sustentabilidad agroproductiva. En la Llanura periserrana, las UA1, UA2 y, en menor medida la UA3, han sido el escenario donde las mutaciones

descriptas fueron radicales. La superficie correspondiente a dichas unidades ha sido convertida en más del 75% entre 1989 y 2019. Las UA4, UA5 y UA6, ubicadas en la Planicie distal, son áreas de PyP en la cuales la actividad ganadera aún persiste (no sólo intensivamente en sistemas de engorde a corral). En las Serranías, las UA 7 y UA8 poseen áreas de pastizales naturales en donde deberían enfocarse posibles actividades de conservación de vegetación nativa. Debido a sus peculiaridades ecológicas son las unidades de mayor vulnerabilidad ante el avance agrícola.

Luego, fueron empleados indicadores de sustentabilidad para determinar cuáles son las áreas de paisaje donde la aplicación de criterios referidos a la planificación y gestión ambiental es crucial. Particularmente, se evalúa el estado de provisión de servicios de conservación de la biodiversidad, de la calidad de suelo y agua, de conservación del stock de carbono orgánico del suelo y de control de la erosión hídrica. Los indicadores empleados fueron fusionados en un Índice de Provisión de Servicios Ecosistémicos de Regulación.

Por otro lado, considerando los agroecosistemas como sistemas ambientales resultó pertinente contemplar no sólo cuestiones biofísicas relacionadas a su desempeño ambiental sino también características sociales y culturales expresadas mediante el Índice de Provisión de Servicios Ecosistémicos Culturales que expone, durante los últimos 30 años, que las transformaciones en la estructura agraria han generado un deterioro en la provisión de éstos servicios y que son la traducción social de los impactos asociados a la adopción del modelo de agronegocio.

Finalmente, fueron listadas estrategias de planificación ambiental rural para la gestión que contribuyan particularmente al sostenimiento de las funciones y servicios de los ecosistemas del Partido y a la sustentabilidad agroecológica de la región. Se espera, a partir del diagnóstico ambiental agroecológico del área de estudio, favorecer e incentivar el desarrollo de esfuerzos conjuntos (por parte de productores individuales y de instituciones municipales y estatales) que motoricen cambios paulatinos, y no drásticos, tendientes a la adopción de prácticas de manejo que ayuden a preservar uno de los pilares de la producción agrícola de nuestra región que son los servicios ecosistémicos.

## **ABSTRACT**

## AGROECOLOGICAL ZONING OF THE TANDIL REGION AND IMPACT OF AGRICULTURAL TRANSFORMATIONS ON ECOSYSTEM SERVICES (1989 – 2004 – 2019).

Agricultural activity increases productivity and profitability while increasing environmental costs. However, if the sustainability of agroecosystems is altered, from the expansion and intensification of production, they will become degraded systems and will progressively stop providing ecosystem services. This insufficiency will generate the reduction of the inherent capacity of ecosystems to sustain not only economic activity but also other human activities. The objective is to evaluate the incidence of agro-productive transformations temporarily (1989 - 2004 - 2019) on the provision of ecosystem services in the Environmental Units of Tandil, in order to detail strategies that contribute to the environmental planning of the natural resources of a representative area. of the Austral Pampean Region.

For this, in the first instance, thirteen Agroecological Units were defined, homogeneous zones in terms of their main ecological and agrarian characteristics. The units belonging to the mountain range system are more vulnerable due to the shallow depth of the surface formations. In areas of Peri-mountain Plains and Distal Plains, the most vulnerable elements are hills with slopes, which although under natural conditions have a relatively low susceptibility to erosion, the replacement of native vegetation by agroecosystems causes vulnerability to increase and intensify with the agricultural process.

In the second instance, the Agriculturization Units, derived from the analysis of supervised classifications and field surveys, allowed us to know how the dynamics of the agribusiness model rooted in the territory and the adoption of packages that became the Green Revolution from 1989 to 2019. According to the agroecological particularities of the different landscapes of the Country. Most of the territory exhibits high-intensity farming associated, in a second stage, with the expansion of the activity to sectors with higher production and ecological risks.

Then, the fusion of ecological, productive aspects and the dynamics and intensity of the agriculturization process, in Geographic Information Systems, gave rise to eight Environmental Units. The integrated analysis of different attributes allows the recognition of potentialities and restrictions of the territorial units to tend to agro-productive sustainability. In the Periserrana Plain, UA1, UA2 and, to a lesser extent,

UA3, have been the scenario where the described mutations were radical. The area corresponding to these units has been converted by more than 75% between 1989 and 2019. UA4, UA5 and UA6, located in the Distal Plain, are P&P areas in which livestock activity still persists (not only intensively in systems feedlot). In the Serranías, UA 7 and UA 8 have natural grassland areas where possible native vegetation conservation activities should be focused. Due to their ecological peculiarities, they are the most vulnerable units in the face of agricultural advance.

Moreover, adapted sustainability indicators were used to determine which are the landscape areas where the application of criteria related to environmental management is crucial. In particular, the state of provision of biodiversity conservation services, soil and water quality, conservation of soil organic carbon stock and control of water erosion is evaluated. The indicators used were merged into an Index of Provision of Ecosystem Services of Regulation, which refers to the general state of provision of ecosystem services of regulation in the Environmental Units of the Country.

Particularly, in the UA1 the index evolves from a critical situation to a deficient one; in the case of UA2 it is critical throughout the study period; in UA3 it is acceptable between 1989 and 2004 and poor in the second study period; in UA4, UA5 and UA6 the value of the index deteriorates from the first to the second period (going from moderate to critical, from very good to acceptable, and from acceptable to poor, respectively); in the AU7 the index corresponds to a moderate category in both periods; the UA8 obtained index values that are positively modified from a poor condition to a very good one.

On the other hand, considering agroecosystems as environmental systems, it was pertinent to contemplate not only biophysical issues related to their environmental performance, but also social and cultural characteristics expressed through the Index of Provision of Cultural Ecosystem Services that exposes, during the last 30 years, that the transformations in the agrarian structure have generated a deterioration in the provision of these services and that are the social translation of the impacts associated with the adoption of the agribusiness model.

It is expected, based on the agroecological environmental diagnosis of the study area, to favor and encourage the development of joint efforts (by individual producers and municipal and state institutions) that promote gradual changes, and not drastic ones,



tending to the adoption of practices management that help preserve one of the pillars of agricultural production in our region, which are ecosystem services.

---

# INTRODUCCIÓN

---

## **PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA**

A finales de la década de 1960, en el marco de la expansión del capital en el mundo, se impulsó una forma de organización del capital en el espacio agrario cuya función sería reestructurar las relaciones de producción dominantes (Ceroni, 2018). El excedente tecnológico-militar que se produjo entonces reactivó el sector agroproductivo y agroindustrial aumentando la productividad con el fin de incrementar la acumulación de capital.

En este contexto se consolidó el avance de un nuevo modelo agropecuario, el agronegocio, impulsado por la Revolución Verde cuyo progreso, consolidación y pretensión hegemónica en la región es innegable (Gras y Hernández, 2016; Balsa, 2017; Balsa y Liaudat, 2020). Particularmente, dicho modelo introdujo la concepción del “ambiente al servicio del genotipo” en la cual el ambiente fue modificado para expresar el mayor potencial de rendimiento en lugar de conservar una alta variabilidad genética que pueda adaptarse a la diversidad del ambiente (Sarandón y Flores, 2014; Sarandón, 2020).

De esta manera, las transformaciones tecnológico-productivas respondieron a procesos económicos, financieros y culturales que orientaron a los sistemas agropecuarios a un proceso de transformación intensivo en los usos del suelo, a un campo basado en el fuerte predominio de la agricultura (desplazamiento de la ganadería y otros rubros agropecuarios) y a profundos impactos ambientales sin precedentes, es decir, ecológicos, económicos y sociales derivados de sus prácticas (Iermanó y Sarandón, 2016; Andrade et al., 2017; Pengue y Rodríguez, 2018; Maceira et al., 2020; Sarandón, 2020).

El sector agroindustrial argentino, y particularmente la Región Pampeana Argentina (RPArg), ha sido pionera en adopción e innovación tecnológica y organizacional de los modelos derivados del agronegocio (Andrade et al., 2017). Desde los años noventa, un importante proceso de cambio tecnológico se dio en el agro argentino generando cambios en el manejo, formas de producción, de apropiación de los recursos naturales, de intensificación en el uso de insumos, de manejo del capital económico y financiero de los recursos (Rositano, 2020). Desde entonces, los sistemas rurales han sido sometidos a un proceso de conversión creciente que ha provocado grandes cambios estructurales y funcionales en los agroecosistemas tal como reportan los trabajos de varios autores (Viglizzo et al., 2011; Sarandón, 2015; Piñeiro et al., 2017). De hecho, es

esta región una de las áreas que más se transformó acusando sus ecosistemas nativos la mayor degradación del país (Matteucci, 2012; Jobbágy et al., 2021). El reemplazo de pastizales naturales y bosques nativos por praderas artificiales y la posterior sustitución de estas praderas por cultivos anuales con la consecuente incorporación de tecnología permitieron elevar significativamente la productividad biológica y económica de las tierras. No obstante, al mismo tiempo se modificaron los flujos de energía, los ciclos minerales, el proceso hidrológico, la estabilidad y fertilidad de los suelos, el hábitat y la biodiversidad de las regiones intervenidas (Viglizzo et al., 2011).

Este contexto se expresa enfáticamente en la subregión denominada como Región Pampeana Austral (RPA) (Requesens, 2011; Vazquez y Zulaica, 2013; Sequeira y Vazquez, 2015; Sequeira y Vazquez, 2016; Vazquez et al., 2012; 2016; 2017; 2018). En dicha región la agricultura extensiva de principios del siglo XX fue acompañada por una ganadería extensiva de baja productividad y bajo impacto ambiental. A mediados de aquel siglo proliferó una agricultura más tecnificada en rotación con una ganadería semi-extensiva que consolidó el clásico y efectivo modelo de rotación de cultivos con pasturas y forrajeras anuales (Frank y Viglizzo, 2010). Sin embargo, a principios del XXI el sistema mixto agrícola-ganadero fue sustituido, la agricultura y la ganadería se desacoplaron y especializaron individualmente dentro de un planteo más intensivo. Los cambios tecnológicos introducidos se tradujeron en una expansión acelerada de la técnica de siembra directa en reemplazo de la labranza convencional; el aumento de escala; la simplificación del sistema de cultivo; una intensificación de la producción mediante un uso mayor de agroquímicos; propagación de monocultivos; incorporación de cultivos transgénicos; y en la difusión del manejo diferencial por ambientes (Satorre y Bert, 2014).

Los cambios en el uso del suelo y la consecuente alteración de la cobertura vegetal, producidos por la actividad agrícola forman parte de los principales factores de Cambio Global (Duarte, 2006; Newbold et al., 2015). En la agricultura llevada a cabo en la RPA las tres características principales del Cambio Global se encuentran representadas por el proceso de agriculturización (PA). Este proceso es definido como el uso creciente y continuo de las tierras para cultivos agrícolas en lugar de usos ganaderos o mixtos (Manuel Navarrete y Galopín, 2007; Manzanal, 2017). Dicho proceso impacta sobre los ecosistemas naturales y la biodiversidad mediante dos acciones: su expansión sobre ambientes naturales y su intensificación en la búsqueda de un incremento en los

rendimientos con la consecuente pérdida de los bienes y servicios ecosistémicos (SE) (Piquer Rodríguez et al., 2018; Baeza y Paruelo, 2020; Baldini, 2020).

En el escenario descrito uno de los mayores desafíos para la región es implementar un desarrollo agropecuario sostenible que permita el crecimiento económico del sector y mantenga las cualidades del ambiente (Papagno y Vitale, 2019). Es por ello que los impactos devenidos de ese modelo productivo, que no ha considerado las externalidades ambientales ocasionadas, han sido motivo de creciente atención y controversia.

La gestión de los ecosistemas agrícolas requiere entonces de un cambio de enfoque basado en la producción creciente de mercaderías y servicios a otro que privilegie el sostenimiento de la viabilidad de los sistemas ecológicos, sociales y económicos, en el corto y mediano plazo. Este proceso implica la asimilación de nuevas habilidades, la internalización de nuevos conocimientos, así como la posesión de los medios de producción y de los instrumentos de control que permitan generar nuevas alternativas en el proceso productivo, más acorde a la preservación y mantenimiento de los recursos (Sarandón y Flores, 2014; Sarandón, 2021).

En este sentido, para evaluar las consecuencias de los cambios en el uso de la tierra desde un enfoque ambiental, Paruelo et al. (2006) sostienen que resulta útil la noción de Servicios Ecosistémicos (SE) que surge de la conceptualización creciente de la naturaleza como conjuntos de sistemas integrados y cuyos efectos recaen principalmente sobre el bienestar humano (Volante et al., 2015; Auer y Maceira, 2017). Su existencia está supeditada a que previamente se den las condiciones ecológicas necesarias para su generación por lo que la relación de compromiso entre SE de abastecimiento y regulación no suele ser lineal sino que es mutua e interdependiente (Mastrangelo y Latera, 2015). Es decir, un mejor estado de los servicios implica un sistema productivo más estable y con mayor capacidad de resiliencia ante cambios inesperados (FAO, 2016). Se relegan, por un lado, las características de los ecosistemas como la composición de las especies, la cobertura de los árboles o las condiciones de crecimiento que modulan el tipo y la magnitud de los SE que pueden fluir a las sociedades (Balvanera et al. 2017). Por otro lado, se descuidan los regímenes de gestión, las tecnologías, los sistemas de tenencia, las tendencias de usos, las coberturas del terreno y acceso que armonizan las formas en que los SE producen y benefician a las sociedades (García, 2020). Por ello, determinar su estado de provisión es fundamental

para diseñar paisajes sustentables y marcos regulatorios que los garanticen, particularmente políticas de ordenamiento territorial (Andrade, 2020).

La alteración de los ecosistemas a gran escala, como la conversión de ecosistemas naturales en monocultivos agrícolas, ha conducido a un incremento en algunos servicios de abastecimiento (como alimentos) a expensas de servicios de regulación y servicios culturales. En este contexto, los impactos ambientales ocasionados por los cambios de uso del suelo sobre los SE no se observan con la misma intensidad en todas las áreas sino que dependen de características propias de los paisajes que las componen (Burel y Baudry, 2002). Los límites de la capacidad de producción de los recursos de tierras vienen determinados por el clima, las condiciones del suelo, la fisiografía, y por el uso y manejo aplicados a las tierras (Le Cœur et al., 2002). Por consiguiente, el manejo sostenible de los recursos de tierras requiere de políticas correctas y una planificación basada en el conocimiento de estos recursos, las demandas de los usos sobre los recursos, y las interacciones entre las tierras y los usos de las mismas (FAO, 1996).

El análisis de las transformaciones agroproductivas y la evaluación de la sustentabilidad en el medio rural, con la finalidad de su adecuada gestión, adquieren un reconocimiento cada vez mayor como una herramienta importante con enfoque sistémico para avanzar hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible previstos en la Agenda 2030 (Naciones Unidas, 2018):

- ~ la sostenibilidad de los sistemas de producción y la aplicación de prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático y mejoren progresivamente la calidad del suelo y la tierra (Objetivo número 2; Objetivo número 13).
- ~ una producción y consumo eficientes de los recursos (hacer más y mejores cosas con menos recursos) que procuren desvincular el crecimiento económico de la degradación del medio ambiente. Se trata de crear ganancias netas de las actividades económicas mediante la reducción de la utilización de los recursos, la degradación y la contaminación, logrando al mismo tiempo una mejor calidad de vida (Objetivo número 8; Objetivo número 12).
- ~ el logro de una gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida, de conformidad con los marcos internacionales convenidos, y reducir significativamente su liberación a la atmósfera,

el agua y el suelo a fin de minimizar sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente (Objetivo número 12).

- ~ la adopción de medidas urgentes y significativas para reducir la degradación de los hábitats naturales, detener la pérdida de biodiversidad, integrar los valores de los ecosistemas y la biodiversidad en la planificación, los procesos de desarrollo, y la contabilidad nacional y local (Objetivo número 15).

En este contexto, los sensores remotos e indicadores constituyen instrumentos útiles para estimar tendencias en la sustentabilidad de los paisajes caracterizados por una fuerte diversidad ecológica.

Los sensores remotos se han convertido en una herramienta ideal para caracterizar y mapear el uso/cobertura del suelo y la estructura del paisaje en el estudio del proceso de agriculturización debido a su utilidad para relevar áreas extensas con cierta regularidad y extensión temporal y espacial (Baeza y Paruelo, 2020). Ante la intención de coleccionar, generar e interpretar información de aquellos recursos que permitan evaluar el uso de la tierra y su deterioro el uso combinado de sistemas de información geográfica (SIG) y sensores remotos o teledetección juega un rol destacado para el mapeado, interpretación, cálculo de áreas y monitoreo (Vargas et al., 2019).

Por su parte, los indicadores de sustentabilidad definidos como variables que hacen claramente perceptible una tendencia que no es inmediatamente perceptible ni fácilmente detectable (Sarandón y Flores, 2014) permiten evaluar en qué medida las actividades productivas se acercan o alejan de los objetivos implícitos en el concepto de sustentabilidad (Blandi et al., 2017). Conforman una herramienta práctica para volcar aspectos de naturaleza compleja y multidimensional en valores claros, objetivos y generales (Zhang et al., 2020; Zhang et al., 2021)

A su vez, la planificación en el uso de la tierra resulta necesaria para la sustentabilidad ecológica, económica y social del territorio. En este sentido, la zonificación y delimitación de unidades de análisis constituye una de las principales herramientas para disminuir los riesgos ambientales generados por transformaciones en los usos del suelo que no responden a las aptitudes agroecológicas de los paisajes (Vazquez, 2019).

La actividad agrícola se beneficiará en la medida que se logre un uso más racional de los recursos naturales por medio de la planificación y el ordenamiento del territorio, además del aumento de la compatibilidad entre las exigencias de los cultivos y las condiciones agroecológicas de los ecosistemas (Suárez Venero, 2014). Sin embargo,

para que dicha planificación y ordenamiento ambiental resulten factibles es preciso conocer la evolución de las transformaciones en los usos del suelo acontecidas en el territorio.

En el partido de Tandil, perteneciente a la RPA y no ajeno al contexto descripto, se observa cómo el contexto de transformaciones agroproductivas resulta propicio para la provisión de servicios de abastecimiento movilizados por mercados externos. Las problemáticas identificadas en estudios previos (Vazquez y Zulaica, 2011; 2012b; Vazquez et al., 2014; 2019) demuestran la existencia de impactos sobre la sustentabilidad ecológica del Partido y por ende sobre la capacidad productiva de los agroecosistemas. Dicho Partido se ha seleccionado como área de estudio debido a su representatividad con respecto a las transformaciones evidenciadas a nivel regional en el ámbito rural y por su carácter pionero en la adopción de tecnologías agroproductivas.

En el escenario planteado esta investigación posee como objetivo, por un lado, definir Unidades Ambientales del partido de Tandil en base a propiedades ecológicas, productivas y a la dinámica del proceso de agriculturización imperante en cada una de ellas. Por otro lado, evaluar la incidencia de las transformaciones agroproductivas temporalmente (1989-2004-2019) sobre los servicios ecosistémicos (SE) de las unidades delimitadas a fin de detallar estrategias que contribuyan a la gestión ambiental de los recursos naturales de un área representativa de la Región Pampeana Austral.

Su propósito radica en tender a una planificación y gestión ambiental del territorio capaz de mantener la productividad, o tener niveles de productividad compatibles, sin deteriorar la capacidad productiva del ecosistema ni agotar los recursos que sustentan las actividades.

## **HIPÓTESIS**

- ~ El partido de Tandil, no ajeno al contexto regional, evidencia un cambio sustancial en los usos del suelo y en el destino productivo de las áreas agropecuarias.
- ~ Las transformaciones agroproductivas privilegian la provisión de servicios ecosistémicos de abastecimiento por sobre los de regulación afectando la sustentabilidad ecológica del partido de Tandil.
- ~ El análisis integrado de distintos atributos, partiendo del uso de sistemas de información geográfica, sensores remotos e indicadores permite reconocer



potencialidades y restricciones de las unidades territoriales y definir modalidades de uso y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

### **OBJETIVOS GENERALES**

- ~ Definir Unidades Ambientales del partido de Tandil en base a propiedades ecológicas, productivas y a la dinámica del proceso de agriculturización imperante en cada una de ellas.
- ~ Evaluar la incidencia de las transformaciones agroproductivas temporalmente (1989 – 2004 - 2019) sobre la provisión de servicios ecosistémicos de regulación en las unidades delimitadas a fin de detallar estrategias que contribuyan a la planificación ambiental de los recursos naturales de un área representativa de la Región Pampeana Austral.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- I. Definir Unidades Agroecológicas (UAE's) en función de factores físicos, biológicos y agronómicos, considerando el potencial de cada unidad para proveer SE de abastecimiento que permiten caracterizar unidades homogéneas dentro de la heterogeneidad paisajística presente en el partido de Tandil.
- II. Identificar y analizar comparativamente las transformaciones en los usos del suelo en cada UAE del Partido para 1989 – 2004 – 2019 a partir del uso de sensores remotos.
- III. Definir Unidades de Agriculturización (UAG) y determinar Unidades Ambientales (UA) considerando la fusión de aspectos ecológicos y relacionados a la aptitud para fines rurales (UAE) y aspectos asociados a la agriculturización (UAG) como proceso ligado a una forma de apropiación de los recursos naturales con fines productivos.
- IV. Evaluar la incidencia de la agriculturización sobre los SE de regulación en las diversas UA del Partido, en las tres fechas determinadas, analizando los problemas que afectan la sustentabilidad ecológica de las unidades empleando indicadores de sustentabilidad.
- V. Desarrollar un índice que dé cuenta del estado de provisión general de SE de regulación a partir de la fusión de los indicadores previos
- VI. Evaluar las consecuencias en la provisión de SE culturales vitales para la valorización del espacio productivo en el partido de Tandil.

- VII. Definir estrategias de gestión para la planificación ambiental rural de las UA que contribuyan particularmente al sostenimiento de las funciones y servicios de los ecosistemas del Partido y a la sustentabilidad agroecológica de la región.

Cabe destacar que la presente investigación se desarrolló en el contexto de una beca interna doctoral estratégica del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), radicada en el Centro de estudios Sociales de América Latina (CESAL), dirigida por la Dra. Patricia Vazquez y codirigida por la Dra. Mónica Sacido, perteneciente a la Facultad de Cs. Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario.

### **ORGANIZACIÓN DE LA TESIS**

En primera instancia, la presentación del problema se expone en la Introducción seguida del planteo de principales hipótesis y objetivos generales y específicos. Luego, se detallan en el Marco Teórico las consideraciones teóricas en las que se sustenta esta investigación y se describe el Área de estudio seleccionada para la misma.

A continuación, se presentan nueve capítulos, dentro de los cuales se proponen diferentes objetivos específicos. Esta investigación propone un diseño exploratorio (problema escasamente estudiado) – descriptivo (indaga y describe las características que identifican a los componentes del problema) de un problema complejo. Su desarrollo requiere la combinación de metodologías en la triangulación metodológica, es decir el uso de múltiples métodos en el estudio de un mismo objeto. El análisis cuali-cuantitativo permite sistematizar e integrar la información obtenida a partir de fuentes primarias y secundarias mediante observación directa, registros orales y fuentes escritas para lograr el acercamiento a un problema complejo como el aquí presentado (planillas de campo, obtención de imágenes, fotografías, planos, mapas, obtención de datos de GPS, análisis de registros documentales de las actividades realizadas en el establecimiento) con la finalidad de superar los sesgos y las limitaciones derivados del empleo de una herramienta metodológica única, a través de la integración-complementación de métodos cuantitativos y cualitativos, de acuerdo con las necesidades y los momentos de indagación sobre la realidad.

De todas maneras se reconoce que esta metodología presenta ciertos inconvenientes como la dificultad para combinar datos textuales y numéricos; la interpretación de resultados divergentes obtenidos del uso de métodos cualitativos; el éxito o no en la delineación y la mezcla de conceptos; el peso de la información procedente de

diferentes fuentes de datos; y la dificultad de acertar en la contribución de cada método cuando se asimilan los resultados.

Particularmente, en el Capítulo I se delimitan y caracterizan las diversas Unidades Agroecológicas (UAE's) que conforman el Partido de Tandil. El Capítulo II expone las transformaciones en los usos del suelo del partido y en cada UAE, haciendo hincapié en la variación de la superficie agrícola, en 1989, 2004 y 2019. En el Capítulo III, por un lado, a partir de los resultados obtenidos en relación con las variaciones de la superficie destinada a agricultura, se definen Unidades de Agriculturización (UAG) para los períodos comprendidos por 1989 – 2004 (UAG1) y 2004 – 2019 (UAG2). Por otro lado, se definen Unidades Ambientales (UA) derivadas de la fusión de aspectos agroecológicos y aspectos asociados a la agriculturización como proceso ligado a una forma de ocupación y apropiación de los recursos naturales con fines productivos.

En el Capítulo IV, V y VI se calculan diversos indicadores de sustentabilidad que dan cuenta del estado de provisión de diversos servicios ecosistémicos de regulación en las UA del partido; analizando los resultados espacial y temporalmente. Específicamente, en el Capítulo IV se desarrollan indicadores asociados al servicio de Conservación de la Biodiversidad y Conservación de la Calidad de Suelo y Agua. En el Capítulo V el indicador refiere al servicio de Conservación del Stock de Carbono Orgánico del Suelo mientras que en el Capítulo VI se plantea el indicador asociado al servicio de Control de la Erosión Hídrica. Luego, en el Capítulo VII los descriptos indicadores son conjugados en un Índice que permite evaluar el estado general de provisión de servicios ecosistémicos de regulación en las Unidades Ambientales considerando su variación entre 1989-2004 y 2004-2019.

Por otra parte, en el Capítulo VIII se analiza la incidencia de la agriculturización sobre la provisión de servicios culturales en el partido de Tandil, identificando las transformaciones en las características de la estructura agraria en los períodos 1988-2002 y 2002-2018, empleando indicadores e índices de sustentabilidad.

Finalmente, en el Capítulo IX se definen estrategias de gestión para la planificación ambiental rural de las Unidades Ambientales que contribuyan particularmente al sostenimiento de las funciones y servicios de los ecosistemas del Partido y a la sustentabilidad agroecológica de la región. En última instancia, se exponen las conclusiones finales a las que se arribó una vez finalizado el trabajo.

---

## MARCO TEÓRICO

---

## **ADOPCIÓN DEL AGRONEGOCIO, PROPULSOR DEL CAMBIO GLOBAL**

El proceso de cambio tecnológico que transformó al sector agrícola argentino luego de la segunda mitad del siglo XX es indisoluble de los cambios ocurridos a nivel mundial. Entre ellos dos fenómenos adquieren particular relevancia (Gras y Hernández, 2016b). En primer lugar, la Revolución Verde que implicó la aparición de nuevas variedades de alto rendimiento que permitieron el desarrollo del doble cultivo que implica dos cosechas agrícolas en el mismo año combinando la producción de trigo y de soja, el impulso de la siembra directa, el uso intensivo de fertilizantes y fitosanitarios<sup>1</sup>, y un aumento de la mecanización (Solbrig, 2004; Teubal, 2006).

En segundo término, la denominada Revolución Biotecnológica cuyo eje central fue la introducción de organismos genéticamente modificados siendo el cultivo de soja RR (Roundup Ready) como el principal traccionador y articulador del “paquete tecnológico” a partir de 1996 (Bisang et al, 2008). Otras características de esta segunda fase de la Revolución Verde han sido la reorganización de las formas de trabajo, la aparición de nuevos actores (*pools* de siembra, fondos de inversión), el crecimiento exponencial del peso de las empresas multinacionales que se articulan al mercado mundial como complejos agroindustriales, el uso de nuevas tecnologías de información, y la agricultura de precisión (Anlló et al., 2015; Sztulwark y Girard, 2017; Tamagno et al., 2018).

De esta manera la agricultura industrial, el modo de producción agropecuario generalizado, se consolidó como la artificialización creciente de la producción agraria, la utilización de mayores cantidades de insumos externos a la unidad de producción y la promoción del concepto de empresa en la toma de decisiones sobre la utilización de los recursos tierra, capital y trabajo (Fernández et al., 2019).

Como consecuencia del aumento de la población humana, el incremento del consumo per cápita medio y, derivado de ello, la adopción de los cambios tecnológicos agropecuarios desde el comienzo de este siglo el planeta ha experimentado una aceleración sin precedentes en la producción, consumo e intercambio de granos (FAO,

---

<sup>1</sup> Se emplea el término fitosanitario como sinónimo del término plaguicidas. Sin embargo, se reconoce que el término plaguicida es un término más amplio que incluye no solo productos fitosanitarios sino también productos como los biocidas, destinados a usos no vegetales para controlar plagas y portadores de enfermedades. Particularmente, los fitosanitarios son definidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como aquella “sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir la acción de, o destruir directamente, insectos, ácaros, moluscos, roedores, hongos, malas hierbas, bacterias y otras formas de vida animal o vegetal perjudiciales para la salud pública y también para la agricultura”.

2018; Jobbágy et al., 2021). Para satisfacer la demanda mundial en el mercado de alimentos, fibras y forrajes, se ha promovido la intensificación de los sistemas productivos y la expansión de la frontera agrícola, convirtiendo a la obtención de alimentos en el principal factor de presión sobre el suelo (FAO, 2011; Kopittke et al., 2019).

Estos aumentos de producción estuvieron asociados a la consecuente transformación e intensificación en los usos y coberturas del suelo. Las transformaciones de los sistemas naturales derivadas del accionar antrópico y la excesiva explotación de los recursos presentes en la naturaleza generaron que actualmente numerosos ecosistemas se encuentren amenazados (Modernel et al., 2016). Globalmente los cambios de uso del suelo son considerados como una de las mayores amenazas hacia la biodiversidad y generadores de procesos de degradación del suelo y de contaminación por la elevada utilización de insumos (Sala, 2000; Powers y Jetz, 2019).

Estas transformaciones son uno de los mayores motores del denominado “cambio global” que pueden apreciarse a diferentes niveles de estudio ya que generan efectos importantes a nivel local con consecuencias a escala regional y global. Duarte (2006) y Newbold et al. (2015) definen dicho término como el conjunto de cambios ambientales afectados por la actividad humana con especial referencia a cambios en los procesos que determinan el funcionamiento del sistema Tierra. Se encuentra asociado a tres características que provocan que los cambios generados sean singulares. Por un lado, la rapidez con la que los cambios tienen lugar con consecuencias notables en espacios de tiempo tan cortos como décadas; por otro lado, el ser humano como única especie motora del cambio; y por último el incremento apoyado en el desarrollo tecnológico en el consumo de recursos per cápita por la humanidad (Duarte et al., 2006).

Una manifestación leal de este fenómeno y sus características es el proceso de agriculturización, un caso particular y frecuente de cambio de cobertura de la tierra (Paruelo et al., 2006) que describe la dinámica de las prácticas de apropiación del territorio. Este proceso es definido como el uso creciente y continuo de las tierras para cultivos agrícolas en lugar de usos ganaderos o mixtos y es asociado en la región pampeana con cambios tecnológicos, intensificación ganadera, expansión de la frontera agropecuaria, el desarrollo de producciones orientadas al monocultivo, el fortalecimiento de la alternativa de producción cereal-oleaginosa en un mismo año

agrícola y una baja agrobiodiversidad (Manuel Navarrete et al., 2005; Viglizzo y Jobágy, 2010).

Vale remarcar diferencias planteadas entre los conceptos de uso y cobertura. La cobertura ha sido definida como aquella cobertura (bio) física observada sobre la superficie de la tierra y sub-superficie inmediata conformada por biota, suelo, topografía, agua superficial y subterránea y estructuras construidas por el ser humano (IPCC, 2000; Lambin et al, 2003). En cambio, el uso de la superficie terrestre se reconoce como aquellos propósitos por los cuales los humanos explotan la cobertura; lo que implica la manera como los atributos biofísicos de la tierra son manipulados y la intención que subyace a dicha manipulación (Lambin et al., 2003). Por lo tanto, cuando se habla del uso de la superficie se hace referencia a aspectos sociales, culturales, económicos y políticos que inciden sobre las decisiones que toma la sociedad en relación con el manejo y la utilidad que le da a ciertos tipos de cobertura (Meyfroidt et al., 2018).

## **PRODUCTIVIDAD Y RENTABILIDAD VS. EXTERNALIDADES AMBIENTALES**

Evidentemente la agricultura industrial lleva en su esencia la modificación intensiva de los ecosistemas. Como resultado de ello los procesos y estructuras ecológicas de la naturaleza han sido remplazados por procesos industriales que han roto los ciclos de la biosfera. Esta manera de manejar los recursos naturales implica la simplificación de los ecosistemas, reducir su diversidad propia y sustituir los procesos energéticos internos. Así el objetivo de la agricultura actual, basada en limitados criterios de productividad y rentabilidad, es la artificialización intensiva de los sistemas naturales a través de la sustitución de procesos naturales por industriales desconociendo los procesos inherentes a cada sistema e ignorando los posibles efectos negativos sobre el ambiente (Casadinho, 2018; IPCC, 2019).

Los efectos de la actividad agrícola, aunque ejercida localmente, trascienden el ámbito local o regional para afectar el funcionamiento de los ecosistemas a escala planetaria. En la escala global los sistemas rurales han sido sometidos a un proceso de conversión creciente que ha provocado grandes cambios estructurales y funcionales en los agroecosistemas (Viglizzo, 2008; Rosset y Altieri, 2018) que generaron impactos ambientales.

En síntesis, los cambios producidos en las técnicas agropecuarias de las últimas décadas han modificado la intensidad y la calidad de los impactos generados por las actividades agropecuarias sobre el ambiente y la sustentabilidad (Pengue, 2009). Entre las externalidades ambientales negativas derivadas del proceso de agriculturización que no poseen su traducción en el comercio tradicional se destacan la degradación de los suelos, la deforestación, la contaminación con agroquímicos, la pérdida de biodiversidad, y las emisiones de gases de efecto invernadero (Andrade, 2020).

Algunas características de los sistemas modernos de producción de alimentos y sus consecuencias permiten dudar de que la agricultura pueda ser considerada sustentable. Por ejemplo, los cambios en el uso del suelo promovidos por la agricultura involucraron no sólo la expansión de la superficie agrícola, sino también, modificaciones en la composición de los cultivos y la consecuente erosión genética (y específica) (Defacio, 2021). Una de las consecuencias negativas asociadas a la Revolución Verde ha sido la disminución de la diversidad de especies cultivadas (Ramankutty et al. 2018). En esta línea la FAO al 2018 reporta que de las 6000 especies de plantas que se cultivan para obtener alimentos menos de 200 constituyen la base alimentaria mundial, nueve representan el 66 % del total de la producción agrícola y 15 proveen al 90 % de la humanidad de la energía que necesitan para funcionar diariamente. No obstante, no solo las especies cultivadas están desapareciendo rápidamente sino también las silvestres esenciales para actividad productiva ya que actúan como polinizadores y enemigos naturales de las plagas. A escala nacional se comprueba que la superficie sembrada de los cuatro principales cultivos (soja, maíz, trigo, girasol) pasó de 14 millones de hectáreas en la campaña 1981-1982 a 34,88 millones de hectáreas en 2019-2020, es decir un 149% de aumento de tierra agrícola. Con respecto a la composición de cultivos, el trigo (46,78% de la superficie agrícola sembrada con los principales cultivos) cedió su dominancia de 1981-1982 al cultivo de soja (48,38%) en la campaña 2019-2020 (Ministerio de Agroindustria, 2020).

Diferentes autores (Casas y Albarracin, 2015; Martínez et al., 2013; Alvarez et al., 2014; Viglizzo et al., 2011) señalan como otra de las particularidades del modelo productivo a la pérdida de la capacidad productiva de los suelos debido a la erosión, degradación, salinización y desertificación de los mismos. El proceso de degradación del recurso está asociado con la intensidad de las labranzas, la duración de los ciclos agrícolas, la tendencia al monocultivo y la ausencia de la reposición de nutrientes, entre



otros factores (Villarino et al., 2014). Otra externalidad que impacta directamente en el deterioro de la calidad de los suelos es la merma de nutrientes debidas al desbalance entre la exportación y la reposición junto con lixiviación y baja eficiencia en el uso de fertilizantes a pesar de que en los últimos 25 años el consumo de fertilizantes aumentó aproximadamente seis veces.

A su vez, debido a la importancia que tienen los suelos en el ciclo del carbono su manejo representa tanto una amenaza como una oportunidad en lo que respecta al cambio climático y a la conservación de la calidad y la salud del suelo determinada por el stock de carbono orgánico del suelo (Powlson et al., 2011). Por un lado, la amenaza se debe a su potencialidad para liberar grandes cantidades de CO<sub>2</sub> a la atmosfera principalmente por la conversión de bosques y pastizales a tierras de cultivo (que representa hasta el 24% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero). Por otro lado, la oportunidad está representada por su capacidad de secuestrar CO<sub>2</sub> (Stockman et al., 2013). El último inventario estima que el sector agropecuario contribuye con 144 Mt de equivalentes CO<sub>2</sub> por año, lo que representa el 39 % de las emisiones totales de equivalentes CO<sub>2</sub> del país (MAyDS, 2017).

Por otro lado, la dependencia creciente de fitosanitarios es una de las principales características asociadas a la agricultura (Andrade, 2017; CASAFE, 2021). Usar cada vez más cantidad en cada tratamiento no solo aumenta los costos sino también acelera la acumulación del ingrediente activo en el agua, el suelo, el aire y los alimentos. Debido a su amplia presencia en matrices ambientales constituyen no sólo un riesgo de contaminación química y de exposición tóxica para la salud humana, sino también un riesgo al desarrollo de resistencia a los plaguicidas de ciertas plagas y patógenos (Wolansky, 2011).

La pérdida de biodiversidad es otra de las externalidades ambientales derivadas del proceso de agriculturización que obedece al menos a cuatro componentes: la extensión o magnitud del proceso, su homogeneidad, la falta de diseño a escala de paisaje y predio para proteger áreas críticas y la aplicación de un paquete tecnológico basado excesivamente en tecnologías de insumos. En el caso de la región Pampeana varios estudios muestran evidencias de consecuencias negativas de este proceso sobre la calidad del agua subterránea y superficial (Gianelli et al., 2010; Aparicio et al., 2018), la degradación y pérdida de fragmentos de pastizales, ecosistemas ribereños y humedales (Orue et al., 2011).

Como lo describe el término ambiental las externalidades vinculadas al avance e intensificación agrícola no solo representan impactos biofísicos en los ecosistemas sino también impactos sociales y culturales. Las tendencias de usos del suelo materializan un modelo productivo altamente tecnificado y capitalizado en el cual las reglas de juego, direccionadas por el libre mercado, favorecen, por ejemplo, la concentración productiva y la marginación agraria con implicancias socio-territoriales significativas (RIMISP, 2017). A su vez, a medida que el modelo se arraiga se modifica la racionalidad de los agricultores junto con sus formas de organización y gestión ambiental, los sistemas de tenencia y conocimientos ecológicos locales (García, 2020) esenciales para el desarrollo de sistemas socioecológicos resilientes, diversificados y sostenibles. El sector se convierte progresivamente en una “agricultura sin agricultores”, creciendo la agricultura de contrato y dejando de ser esta actividad el medio de vida para muchos productores, especialmente familiares (Teubal, 2009). Se transforma también el mercado laboral rural, resultando en el desplazamiento de los trabajadores menos calificados (asociados directamente a la producción), predominando empleos especializados en toda la actividad (Teubal, 2009). A su vez, se evidencia una reducción considerable de la población rural y un crecimiento de las ciudades cabeceras, principalmente en las áreas más afectadas por la expansión de la soja (Reboratti, 2006).

### **CAMBIO DE ENFOQUE EN LA GESTIÓN DE LOS AGROECOSISTEMAS**

No hay dudas de que el mantenimiento de niveles adecuados de producción agrícola y la reducción de los efectos ambientales adversos de la actividad agropecuaria es el mayor desafío de la actividad. Esto concuerda con el avance del concepto “oficial” y generalmente aceptado (aunque discutido) de Desarrollo Sustentable acuñado por la Comisión Brundtland como “aquél que permite la satisfacción de las necesidades de esta generación sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras” (CMMAD, 1988).

Si bien esta definición ha desatado polémicas y ha sido duramente cuestionada debido a su concepción de desarrollo su planteo resulta favorable porque introduce un nuevo compromiso para el cual se requiere desarrollar una agricultura económicamente viable, socialmente aceptable, suficientemente productiva, que conserve la base de recursos naturales y preserve la integridad del ambiente en el ámbito local, regional y global (Sarandón, 2020). A partir de estos pilares se han construido y fomentado un nuevo

concepto de agricultura, una agricultura sustentable definida Sarandón et al. (2006) como:

*“aquella que mantiene en el tiempo un flujo de bienes y servicios que satisfagan las necesidades alimenticias, socioeconómicas y culturales de la población, dentro de los límites biofísicos que establece el correcto funcionamiento de los sistemas naturales (agroecosistemas) que lo soportan”.*

Sin embargo, al igual que la noción misma de desarrollo sostenible, el concepto de agricultura sostenible es ambicioso en su significado. Esta característica ha llevado al surgimiento de una gran variedad de diferentes discursos, puntos de vista o paradigmas de la agricultura sostenible y ha hecho extremadamente difícil la implementación de esta idea (Tait y Morris, 2000; Thompson y Scoones, 2009).

El verdadero desafío es entonces reunir y fusionar los diferentes puntos de vista sobre la agricultura sostenible en la práctica cuando se trabaja en soluciones para problemas concretos. Una forma importante de abordar este desafío es la investigación, el trabajo interdisciplinario y transdisciplinario (Velten et al., 2015).

El “éxito” del proceso agrícola industrial ha sido medido históricamente a través de la productividad cosechada en el campo ignorando otros bienes y servicios intangibles que quedan fuera de las transacciones del mercado (p. ej., protección del suelo, regulación del clima, control de perturbaciones, provisión de hábitat) (Viglizzo et al., 2012). Un concepto que integra dichos bienes y servicios, productos del regular funcionamiento del ecosistema con incidencia potencial o real en el bienestar humano, es el de servicios ecosistémicos (SE). La perspectiva de los servicios ecosistémicos puede contribuir, por un lado, al entendimiento de la estrecha relación que existe entre el funcionamiento de los ecosistemas del planeta, las decisiones de las poblaciones humanas que afectan a sistemas ambientales en diferentes escalas y sus consecuencias sobre nuestro bienestar (Balvanera y Cotler, 2007). En este sentido, cubre la necesidad de superar versiones reduccionistas de la actividad productiva (en cualquier extremo). Por otro lado, aporta al desarrollo de políticas de uso de la tierra y acciones de planificación sólidas (Viglizzo et al., 2012).

Según Daily (1997) los SE son las condiciones y procesos mediante los cuales los ecosistemas naturales y las especies que los conforman sostienen y nutren a la vida humana poniendo el énfasis tanto en las condiciones biofísicas cambiantes dentro del ecosistema como en los procesos. En líneas similares, Quijas et al. (2010) sustentan que

estos servicios son los componentes de los ecosistemas consumidos directamente, que se disfrutan; o que contribuyen, a través de interacciones entre ellos, a forjar condiciones adecuadas para el bienestar humano. La importancia de los SE para el bienestar humano y la necesidad de detener la pérdida alarmante de la biodiversidad que los sostienen han convocado grandes esfuerzos internacionales para su difusión como, por ejemplo, la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA) o la Plataforma Intergubernamental de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (IPBES).

Los servicios de los ecosistemas pueden ser clasificados en (MEA, 2003; Gómez y R. de Groot., 2008; Martín-Lopez y Montes, 2010):

- ~ Servicios de abastecimiento: relacionados a un uso extractivo. Son bienes o recursos naturales tangibles que son combinados con capital construido, capital humano y social para producir alimentos, madera, fibra, u otros beneficios de "aprovisionamiento" que, generalmente, poseen un valor de mercado.
- ~ Servicios de regulación: asociados a un uso indirecto como el control de erosión, ciclado de nutrientes, purificación de agua, control de disturbios, regulación del clima y de las aguas. Poseen un valor funcional que es invisible al ojo humano y no cotiza por tanto en el mercado. Su deterioro o escasez se manifiesta en problemas que en general se perciben tardíamente.
- ~ Servicios culturales: relacionados con experiencias brindadas por los ecosistemas y que benefician directa o indirectamente a las sociedades y dependen de las percepciones colectivas de la sociedad acerca de los ecosistemas y de sus componentes. Pueden ser materiales tangibles o intangibles, por ejemplo, patrimonio histórico, costumbres, relaciones sociales, sentido de pertenencia, beneficios espirituales, recreativos o educativos. Estos servicios comienzan a ser valorados crecientemente en las sociedades organizadas y valorizados en términos económico-comerciales a través de actividades como el agroturismo, el eco-turismo, los servicios de recreación.

Es importante plantear en este punto que la relación entre los servicios ecosistémicos, y la producción primaria es mutua e interdependiente. Como lo exponen Balvanera et al. (2017) las sociedades están integradas en los ecosistemas dependiendo e influenciando los SE que producen. Las características de los ecosistemas como la composición de las especies o las condiciones de crecimiento modulan el tipo y la magnitud de los SE que pueden fluir a las sociedades. Los regímenes de gestión, las tecnologías, los sistemas de

tenencia, las tendencias de usos, las coberturas del terreno y acceso, armonizan las formas en que los SE producen y benefician a las sociedades. En otras palabras, los SE son el resultado de las interacciones entre los ecosistemas y las sociedades que en conjunto forman un sistema socio-ecológico (Binder et al., 2013).

El problema, como se describió en las secciones anteriores, es que el modelo actual de producción impacta directa e indirectamente sobre los ecosistemas y los servicios que proveen. La alteración de los ecosistemas a gran escala, como la conversión de ecosistemas naturales en monocultivos agrícolas, ha conducido a un incremento en algunos servicios de abastecimiento (como la provisión de alimento) a expensas de servicios de regulación y servicios culturales de los ecosistemas. Los límites de la capacidad de producción de los recursos de tierras vienen determinados por el clima, las condiciones del suelo, la fisiografía, y por el uso y manejo aplicados a las tierras. El manejo sostenible de los recursos de tierras requiere de políticas correctas y una planificación basada en el conocimiento de estos recursos, las demandas de los usos sobre los recursos y las interacciones entre las tierras y los usos de las mismas (FAO, 2016).

El gran alcance de la agricultura, como ecosistema gestionado dentro de una amplia red de intercambio de SE, ofrece un desafío y una oportunidad para optimizar el flujo relativo de SE hacia y desde la agricultura (Zhang et al., 2007; De Groot et al., 2010). La naturaleza de las amenazas que enfrentan los ecosistemas hace que las aproximaciones tradicionales agronómicas, si bien necesarias e imprescindibles, sean hoy insuficientes. El reto de conservar el funcionamiento, los servicios ambientales derivados y con ellos la productividad exige aproximaciones novedosas tanto para conocer mejor (plano conceptual) como para gestionar mejor (plano aplicado) los sistemas ecológicos (Cabello y Paruelo, 2008).

## **HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS DE LAS TRANSFORMACIONES EN LOS USOS DEL SUELO, SUS IMPACTOS Y GESTIÓN**

### **Sensores remotos, teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

Los estudios sobre el cambio en los usos de suelo proporcionan la base para conocer las tendencias de diversas problemáticas ambientales asociadas a una región determinada (Meyfroidt et al., 2022). Particularmente en este estudio el análisis de los cambios de uso del suelo constituye una herramienta útil para tomar dimensión del proceso de

agriculturización y sus impactos asociados. En este contexto, los datos provistos por sensores remotos han demostrado su utilidad para caracterizar grandes territorios por su capacidad de relevar áreas extensas con cierta regularidad permitiendo contribuir sustancialmente al entendimiento acerca de los cambios en las coberturas y usos del suelo (Volante et al., 2015). En adición, las aproximaciones basadas en el análisis del uso del suelo para estimar la provisión u oferta de SE han sido las más utilizadas puesto que conectan el suministro de SE con los patrones de cobertura del suelo (mapeados a partir de datos espectrales (Paruelo et al., 2016).

En líneas generales la utilización de este tipo de herramientas puede dividirse en dos procesos básicos: la adquisición de datos y el análisis de datos. El primer proceso refiere a la técnica que hace posible la obtención de estos productos, la teledetección o percepción remota que constituye un conjunto de técnicas dentro de las cuales se encuentra el uso de sensores a bordo de satélites que registran energía electromagnética emitida o reflejada por un objeto o superficie en distintas porciones del espectro electromagnético (Paruelo et al., 2008).

Desde el punto de vista de su aplicación la teledetección tiene como objetivo el reconocimiento de las características de la superficie terrestre y de los fenómenos que en ella se producen a partir de los datos registrados por el sensor, basándose en que los rasgos de la superficie terrestre tienen una respuesta espectral propia. Diversos autores como Fernández et al (1996), Mather y Koch (2011) y Lillesand et al. (2014) plantean una serie de leyes y principios físicos fundamentales que subyacen al uso de datos detectados a distancia básicos pueden resumirse en los siguientes puntos:

- ~ La radiación electromagnética como fuente de energía,
- ~ La interacción de la energía electromagnética con la atmósfera,
- ~ La interacción de la energía electromagnética con los objetos de la superficie de la tierra
- ~ La recogida de la información mediante sensores.

La discriminación de tipos de cobertura (cultivos de verano, de invierno, montes forestales, cuerpos de agua, pasturas, etc.) se basa en que los diferentes objetos hallados en la superficie de la Tierra y en la atmósfera, reflejan, absorben, transmiten o emiten energía electromagnética en diversas proporciones en el rango de longitudes de onda

conocido como espectro electromagnético<sup>2</sup>. De esta manera, presentan una firma específica, denominada firma espectral, que resulta distinguible de otras a lo largo del espectro (Guerschman et al., 2003).

Para que la teledetección pueda llevarse a cabo es necesario contar con instrumentos capaces de registrar la radiación, los sensores remotos. Éstos pueden definirse como aquellos instrumentos susceptibles de detectar la señal electromagnética (radiación reflejada o emitida) que les llega de la Tierra y la atmósfera en un determinado intervalo de longitud de onda y convertirla en una magnitud física que pueda ser tratada y grabada (Fernández et al., 1996).

En la actualidad una gran cantidad de productos derivados de satélites se encuentran en el dominio público o pronto a ser liberados lo cual los convierte en recursos valiosos y accesibles para ser utilizados por investigadores y tomadores de decisión. Entre ellos se destacan los productos Landsat que han sido y continúan siendo de gran aplicación en diferentes análisis temporales de cambios en las coberturas y usos del suelo (Lara y Gandini, 2014; Sequeira et al., 2016; Jaramillo y Antunes, 2018; Pflugmacher et al., 2019; Vazquez et al., 2019; Chen et al., 2021).

El segundo proceso consta de la colecta, generación e interpretación de la información que permita conocer la dinámica del uso de la tierra. En esta instancia el uso combinado de teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG) que posibilitan la vinculación espacial de distintas fuentes de información juega un rol destacado para el mapeado, interpretación, cálculo de áreas, monitoreo y evaluación de la dinámica espacio- temporal del uso y cobertura de la tierra a escala de paisaje (Chuvieco, 2007; Shi et al., 2012; Fandos et al., 2019). Particularmente, un SIG es definido por el National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA, 1989) de los Estados Unidos como un “sistema de información compuesto por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelizar y representar datos georreferenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación”.

La información compilada por los SIG en forma de mapas y tablas o como archivos digitales que pueden combinarse con otras capas de información y, en última instancia,

---

<sup>2</sup> La radiación total emitida por el Sol está compuesta de radiaciones con longitudes de onda que van desde  $10^{-14}$  a  $10^{10}$  m. El conjunto de todas las longitudes de ondas emitidas recibe el nombre de espectro electromagnético (NASA, 2014).

presentarse ante usuarios quienes, por ejemplo, pueden aplicarlas a procesos de toma de decisiones (Lillesand et al., 2014). En este sentido, se ha transformado en una alternativa esencial para la integración espacial de los datos multidisciplinarios a ser considerados claves para el análisis temporal (dinámica de los usos del suelo) y espacial (caracterización según variables descriptivas y explicativas) a la cual los procesos operan (Landau et al., 2014).

### **Zonificación agroecológica**

La planificación en el uso de la tierra resulta necesaria para la sustentabilidad ecológica, económica y social del territorio. En este sentido la Zonificación agroecológica (ZAE) constituye una herramienta útil para la planificación ambiental y, en consecuencia, para darle respuesta a los problemas derivados de los cambios en los usos de la tierra que no han considerado la aptitud agroecológica de la misma. En esta línea, esta herramienta busca evitar problemas generalizados de sub-uso y sobreuso de la tierra puesto que considera su aptitud agroecológica para lo cual requiere de una cuidadosa evaluación de los recursos agroclimáticos (Suárez Venero, 2014).

La zonificación es definida por la FAO como la división de un área en unidades más pequeñas con similares características (factores medibles tales como pendiente, suelo, textura, lluvia, disponibilidad de humedad, accidentes geográficos, entre otras) y su resultado consiste en identificar usos de la tierra idóneos y acordes a la capacidad productiva (aptitud de tierras y producción potencial) de los recursos naturales procurando la conservación del ecosistema (FAO, 1996; IIASA/FAO 2012). A su vez, conforma un resultado geográfico derivado del análisis integrado de atributos bióticos y abióticos de unidades espaciales diferenciadas a través de interpretaciones basadas en la apreciación de la variación de esos atributos.

En consecuencia, cada zona tiene una combinación similar de limitaciones y potencial para el uso de la tierra que sirve como foco de recomendaciones diseñadas para mejorar el uso de la tierra existente ya sea mediante el aumento de la producción o limitando la degradación de la tierra. Los principales objetivos son el inventario de datos de recursos ambientales, identificación de ambientes homólogos, determinación del potencial agrícola de una región, planificación para el desarrollo regional e identificación de las prioridades de investigación (Fischer et al., 2000).



De esta manera, el proceso de zonificación permite establecer unidades territoriales operativas de manejo y gestión y permite realizar una lectura de los distintos escenarios productivos. Por lo tanto, se debe buscar que no sea un proyecto coyuntural, a corto plazo que responda únicamente al momento y a los cambios de planes y estrategias de las políticas de un territorio, sino que sea lo suficientemente elástico como para adaptarse al contexto ambiental (es decir, ecológico, social, económico y político). Por otra parte, los estudios de zonificación tienen gran importancia porque ponen a disposición de los organismos responsables, decisores y productores, las alternativas para el uso sostenible y la gestión ambiental de los recursos en áreas específicas (Suárez Venero, 2014). Como resultado del proceso de zonificación se identifican los tipos de uso de la tierra que son más acordes con la capacidad productiva de los recursos naturales, procurando a la vez el equilibrio y conservación de los agroecosistemas. En otras palabras, el propósito es gestionar una armonía entre la provisión de SE de abastecimiento y SE de regulación y culturales.

### **Indicadores de sustentabilidad**

Según Cowling et al. (2008) la cuantificación biofísica de los SE es un paso esencial hacia la implementación exitosa de acciones para salvaguardarlos. Desafortunadamente, muchos SE no pueden cuantificarse directamente por lo que el uso de indicadores es indispensable. La complejidad y multidimensionalidad de las problemáticas abordadas hacen necesario volcar aspectos de naturaleza compleja en valores claros, objetivos y generales mediante la utilización de indicadores de sustentabilidad. En otras palabras, los indicadores son una forma sencilla de respuesta "¿Cómo puedo saber objetivamente si las cosas están mejorando o empeorando? (Dong y Hauschild, 2017). De hecho, los indicadores e índices son cada vez más reconocidos como una herramienta útil para la formulación de políticas y comunicaciones públicas como medio de transmitir información sobre el comportamiento de los países en ámbitos como el medio ambiente, la economía, la sociedad o el desarrollo tecnológico (Singh et al., 2009).

Pueden ser definidos como variables que hacen claramente visible una tendencia que no es inmediatamente perceptible ni fácilmente detectable (Latruffe et al., 2016).

En este contexto, el análisis temporal propuesto y la evaluación de los impactos a partir de la aplicación de indicadores de sustentabilidad permiten comprender la complejidad

inherente al vínculo sociedad-naturaleza que se traslada, por ejemplo, a variables biofísicas.

### **Planificación ambiental y gestión del territorio rural**

Frente a ese panorama la planificación aparece como una herramienta necesaria para otorgar sustentabilidad a los procesos de desarrollo que procuran un equilibrio entre la competitividad económica, la salud ambiental y la equidad social (Barral y Maceira, 2011). Este instrumento puede interpretarse como una expresión espacial de la política económica, social, cultural y ecológica y, de manera simultánea, como un instrumento de planificación y gestión que enfatiza la existencia de un componente técnico, uno político y uno administrativo (Paruelo et al. 2015). Es de carácter transversal y afecta a las normas de carácter básico o general relacionadas con el funcionamiento y la administración del territorio (Gómez Orea 2002). Montico (2004) señala que la gestión está orientada a determinar el cómo hacer, a vincular sistemáticamente los criterios naturales, tecnológicos y socioeconómicos, para darle una dimensión espacio temporal a las decisiones que mejor contribuyan a definir las estrategias y políticas. Su característica más común, además de ser un ciclo de mejoramiento continuo, es que vincula la gestión ambiental con la competitividad comercial y permite la adopción de acciones encaminadas a lograr la máxima racionalidad en el proceso de decisión relativo a la conservación, defensa, protección y mejora del ambiente (Conesa Fernández Vítora, 2010).

En este contexto, el enfoque de servicios ecosistémicos (SE) brinda una base nueva y promisoría para encarar un plan a través del análisis de aquellos SE que se pierden o que son afectados por la intervención humana. Intervenciones adecuadas en materia de planificación y manejo de recursos pueden permitir revertir la degradación de los ecosistemas y aumentar su aporte al bienestar humano (MEA, 2005).

Resulta relevante entonces, destacar lo planteado por Viglizzo (2004) quien expone que las técnicas para evaluar el grado de riesgo de acuerdo a la vulnerabilidad de los sistemas se introducirán poco a poco en la gestión del ambiente y los recursos naturales, donde: a) las presiones sobre los países para que mejoren sus sistemas de gestión ambiental aumentarán en las próximas décadas bajo la forma de sanciones comerciales (barreras arancelarias, boicot comercial, regulaciones orientadas) y premios (apertura de mercados específicos, pago de servicios ambientales, tratamiento comercial

preferencial); b) los controles de calidad ambiental en productos y procesos productivos se globalizarán (ejemplo, Normas ISO 14000, códigos EUREP) tendiendo a la aplicación de metodologías de evaluación, códigos de buena práctica y protocolos de producción unificados internacionalmente; c) los sistemas de control de calidad ambiental en productos y procesos productivos se tornarán más rigurosos. Su aceptación por parte de los países será “voluntaria” pero aquellos que no adhieran al sistema o lo dificulten, sufrirán restricciones en el acceso a los mercados mundiales.

---

## ÁREA DE ESTUDIO

---

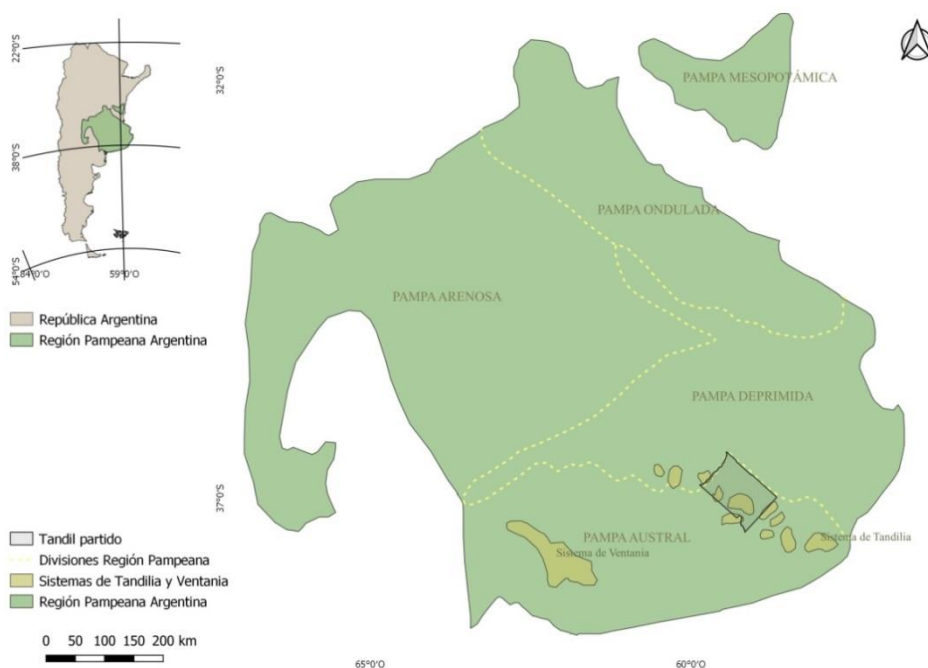
## REGIÓN PAMPEANA Y SUBREGIÓN PAMPEANA AUSTRAL

La Región Pampeana forma parte de un gran sistema de pastizales templados conocidos como los Pastizales del Río de la Plata. Su riqueza y potencialidad productiva la convierten a nivel internacional en una región con ventajas competitivas para la producción agropecuaria dentro de las cuales los granos y carnes son los más requeridos por la demanda externa.

Si bien los pastizales del Río de la Plata de acuerdo a Soriano et al. (1991) suelen ser considerados por su uniformidad topográfica y fisonómica como una vasta y homogénea región, Viglizzo et al. (2003) distinguen en ellos una serie de unidades o áreas ecológicas que se diferencian entre sí sobre la base de características geológicas, geomorfológicas, edáficas y de vegetación: 1) la Pampa Ondulada; 2) la Pampa Interior Plana; 3) La Pampa Interior Occidental o Arenosa; 4) La Pampa Inundable o Pampa Deprimida; 5) la Pampa Austral; 6) la Pampa Mesopotámica; 7) los Campos del Sur y 8) los Campos del Norte (**Figura 1**).

Dentro de la Región Pampeana Argentina, el partido de Tandil (latitud: 37° 13' 25'' Sur; longitud 59° 34' 33.2'' Oeste), localizado en el sector sudeste de la provincia de Buenos Aires, ocupa una superficie de 4935 km<sup>2</sup> y pertenece a la denominada Región Pampeana Austral (RPA) (**Figura 1**).

**Figura 1.** Región Pampeana Argentina y sus subregiones: Pampa Ondulada; Pampa Arenosa; Pampa Austral; Pampa Deprimida; Pampa Mesopotámica.



El relieve marcado que presentan las Sierras Australes (Sistema de Tandilia y Ventania) le confiere a la Pampa Austral una biodiversidad distintiva con más de 400 especies de plantas vasculares nativas y una gran riqueza en endemismos como las gramíneas *Festuca ventanicola*, *Festuca pampeana*, *Stipa juncoides*, *Bromus bonariensis* y *Poa iridifolia*, y las latifoliadas *Senecio ventanensis* y *Plantago bismarckii*, entre otras, que afloran en las estepas y sitios rocosos ubicados a más de 500m. De hecho algunos autores consideran que la vegetación de estas zonas montañosas y rocosas constituyen un distrito fitogeográfico *per se* (Soriano *et al.* 1991). Para Villamil *et al.* (1996) los sistemas serranos de Tandilia y Ventania concentran el 67% de las especies de plantas vasculares con mayor prioridad de conservación en la provincia de Buenos Aires.

No obstante, las actividades agropecuarias desarrolladas activamente durante los últimos 100-130 años han modificado profundamente las características florísticas y estructurales del paisaje original (León *et al.* 1984, Burkart *et al.* 1999). Actualmente el paisaje está caracterizado por los cultivos comunes a cualquier región templada del mundo (trigo, girasol, maíz, soja) y por forestaciones, generalmente pequeñas, que señalan los asentamientos humanos (Codesio, 2010). Por otro lado, Zalba y Villamil (2002) han señalado que la invasión de especies leñosas es una de las principales amenazas para el mantenimiento de la biodiversidad que se encuentra en los pastizales de la Pampa Austral.

## **SISTEMA DE TANDILIA**

El Partido de Tandil, se halla emplazado entonces dentro de la RPA y más precisamente en el sistema serrano de Tandilia (o “Sierras septentrionales de la provincia de Buenos Aires”) (**Figura 1 – Figura 2**) que lo atraviesa de manera de columna vertebral en el sentido noroeste – sudeste. El sistema presenta en el Partido su mayor ancho, 60 km, y las mayores alturas que alcanzan unos modestos 500 msnm (Sánchez y Nuñez, 2004). Está formado por una cadena de cerros aislados, que se presentan en forma tabular o cómica, y en cuyas cúspides afloran rocas consolidadas de edad antigua (Precámbrico y Paleozoico) (Atlas de suelos de la República Argentina, 1990).

El área del mencionado sistema localizada dentro del Partido se caracteriza por la presencia de rocas graníticas con flancos empinados por lo cual aflora la roca desnuda. Los sectores rocosos descriptos ocupan áreas muy reducidas respecto de los pedemontes serranos que constituyen la parte más importante desde el punto de vista del desarrollo

de los suelos. Dichos pedemontes están formados por suelos desarrollados sobre loess, de un espesor que oscila entre uno y dos metros, depositado sobre una costra calcárea conocida comúnmente como “tosca” que suele aflorar en las lomas. El relieve de los pedemontes es más ondulado en las adyacencias de las partes cuspidales de las sierras y se acentúa su grado de pendiente a medida que se acercan a la llanura circundante. Las pendientes oscilan entre 0,3 y 0,4% y sólo en algunos sitios lo superan. Prácticamente, no se observan cuerpos de aguas lénticos dado que los arroyos que nacen en la Sierras de Tandil se encuentran encajonados en los sedimentos y los terrenos son altos, planos o suavemente ondulados (Teruggi y Kilmurray, 1980; Gabellone et al., 2003).

### **CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FÍSICO NATURAL DEL PARTIDO**

El clima de la ciudad de Tandil puede ser tipificado como subhúmedo húmedo, mesotermal, con un déficit de agua poco significativo, en base al balance hídrico de Thornthwaite y Mather (1957). La temperatura anual promedio ronda los 14° C, con máximas promedio de 20° C, con mayores registros en el mes de Enero; y mínimas promedio cercanas a los 8° C, y los meses más fríos son: Junio, Julio y Agosto.

Los datos del balance hídrico para el período 1900-2000 muestran un valor promedio anual de precipitación de 838 mm, una evapotranspiración real y potencial de 649 mm y 712 mm, respectivamente, un déficit poco significativo de 18 mm en total en los meses de diciembre, enero y febrero y, excesos hídricos de 144 mm distribuidos de mayo a noviembre (Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2010). Fuera del período estival hay un claro predominio de excesos hídricos que, asociados a la energía de los relieves serranos, inducen el desarrollo de flujos de escurrimiento superficial y subsuperficial, responsables de una red hídrica considerable. La frecuencia anual de días con heladas es de 30 a 60, y son más abundantes en las zonas de sierras, ya que se asientan en las partes deprimidas.

En Tandil, la red de drenaje superficial depende totalmente de las lluvias locales. En las serranías del Partido de Tandil se localizan varias cabeceras de una red hidrológica que tienen un alcance regional de gran importancia ambiental y con escasa representatividad en áreas protegidas. Los arroyos serranos con nacientes en este sistema presentan la singularidad biológica de ser únicos relictos de ciertas especies acuáticas en la provincia de Buenos Aires (Bilenca y Miñarro, 2004; Barranquero *et al.*, 2019).

De acuerdo con el análisis efectuado por Ruiz de Galarreta y Banda Noriega (2010) hidrológicamente se pueden diferenciar dos tipos de ambientes: el serrano, con concentración del drenaje y el pedemontano donde se verifica la dispersión de aguas.

Los arroyos que atraviesan el área de estudio son el arroyo Los Huesos, Laura Leofú, Chapaleofú, Languyú, Tandileofú, Las Chilcas, Napaleofú y Quequén Chico. Las nacientes de los cinco primeros drenan en dirección noreste; luego de atravesar tierras periserranas. Dichos arroyos ingresan en la Pampa Deprimida donde generan derrames parcialmente controlados por canalizaciones hacia la Bahía de Samborombón. Los arroyos Las Chilcas y Napaleofú presentan cursos orientados hacia el Este, descargando parte de sus aguas en la laguna Mar Chiquita. Las condiciones restringidas del drenaje en las tierras de la Planicie distal (PD) contrastan con las mejores condiciones de drenaje de las tierras de los compartimentos de Serranías (S) y Llanuras Periserranas (LLP) (Verellen *et al.*, 2009). El arroyo Quequén Chico es el único cuyo flujo es hacia el Sur.

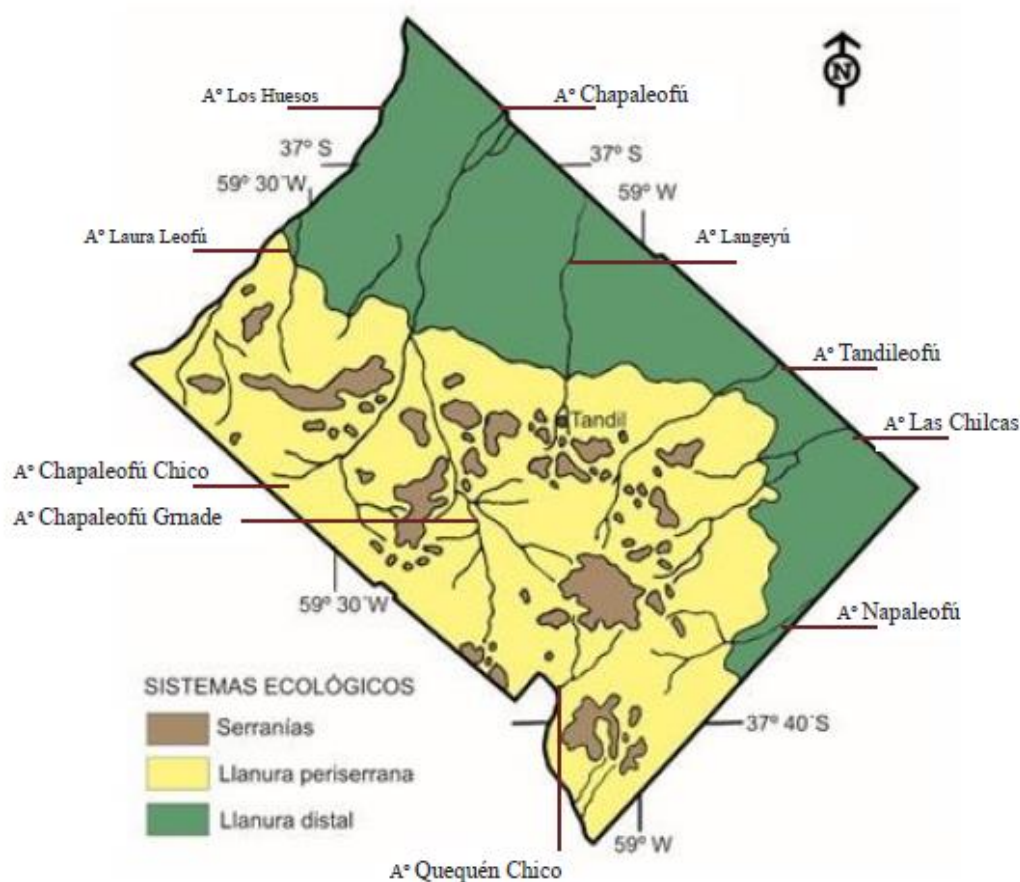
Las condiciones climáticas, el aporte de materia orgánica y las características geoquímicas de los materiales sedimentarios, propiciaron el desarrollo de suelos con alto contenido de materia orgánica y nutrientes y horizontes subsuperficiales arcillosos (Burkart *et al.*, 1999). Estos rasgos, asociados a tierras bien drenadas, le proporcionan a los suelos de esta región excelente aptitud agrícola siendo el Subgrupo de los Argiudoles típicos el que presenta frecuentemente estas condiciones. El análisis de los mapas de suelos de la provincia de Buenos Aires (SAGyP/INTA; 1989) permite inferir que, en general, en los ecosistemas con restricciones severas en el drenaje, ocurren Natracuoles y Natracualfes típicos.

### **Particularidades del partido de Tandil: sus Sistemas Ecológicos Paisajísticos**

El partido de Tandil, particularmente, asocia sistemas ecológicos con características diferenciales ya sea en su estructura ecológica y/o aspectos ecodinámicos: Serranías, Llanura periserrana y Llanura o Planicie distal (Sánchez *et al.*, 1999; Sánchez y Zulaica, 2002; Zulaica, 2008) (**Figura 2**).

**Figura 2.** Sistemas Ecológicos Paisajísticos del partido de Tandil.





Fuente: Elaboración personal sobre la base de Sánchez y Zulaica (2002) y Zulaica (2008).

Las Serranías asocian diferentes elementos del sistema orográfico del Sistema de Tandilia. Presenta un relieve serrano conformado por agrupaciones de cerros cuyas geoformas predominantes son cumbres, laderas empinadas y amplias lomadas longitudinales que se interconectan a través de depresiones en las que ocurren valles y llanuras. Los afloramientos rocosos se extienden en un 13% del área. Los suelos dominantes son poco a muy poco profundos debido a la presencia de contactos líticos cercanos a la superficie. Esta constituye una de sus principales limitaciones productivas junto con una baja capacidad de retención de la humedad, la pendiente y a su elevada susceptibilidad a la erosión. Al paisaje serrano le suceden las Llanuras periserranas donde se integran lomadas relativamente bajas y sectores inferiores de faldeos que poseen buena aptitud para el desarrollo agrícola. El sistema de la Planicie distal sucede altimétricamente a la Llanuras periserranas. Está conformado por paisajes de relieve plano, a veces muy achatados y otras veces ligera y uniformemente inclinados. Sobre

todo en las planicies más deprimidas suelen ocurrir concavidades internas que presentan cuerpos de agua más o menos permanentes. Las capacidades de uso van desde una aptitud agrícola - ganadera a ganadera exclusivamente debido a la posibilidad de anegamientos frecuentes (**Figura 2**).

### **CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO SOCIOECONÓMICO DEL PARTIDO**

Su superficie se encuentra organizada administrativamente en doce cuarteles de los cuales once de ellos corresponden al espacio rural por lo que las actividades primarias son predominantes en la zona bajo estudio. Se destaca particularmente la agricultura intensiva de trigo, soja, maíz y girasol, entre otros productos primarios (MAGyP, 2022). En el Partido los sistemas productivos presentes hasta mediados del siglo XX definieron usos del suelo rural, configurando un espacio mixto agroganadero, que fue modificándose en función de las demandas de los mercados nacional e internacional. Las características de las actividades y las formas de organización de la producción determinaron el patrón de incorporación de mano de obra, la estructura social rural y el esquema de distribución poblacional. Hasta la década de los 80 los espacios productivos se apoyaron en sistemas mixtos y la expansión horizontal (extensiva) de la frontera agrícola. Cuando el crecimiento se detuvo se fomentó la incorporación de tecnologías (siembra directa, doble cultivo anual, fitosanitarios, organismos genéticamente modificados, fertilizantes) para estimular la productividad con el consecuente avance de la frontera vertical (intensificación) (Vazquez, 2004). Se ingresó en una fase de reestructuración, con énfasis en la valorización financiera y con fuerte impacto en la organización de los territorios productivos, donde los activos disponibles ocupan un lugar central en las estrategias empresariales (Nogar et al., 2017).

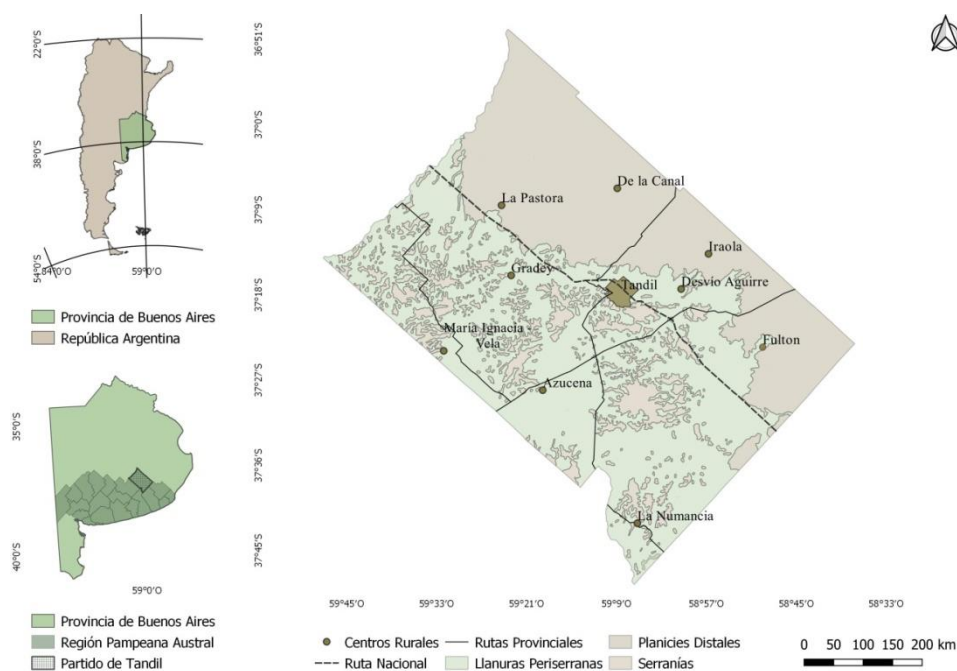
Respecto a la actividad ganadera en el partido de Tandil los tambos constituyen un rubro característico dentro del área de estudio. El partido de Tandil forma parte de la Cuenca lechera Mar y Sierras junto a otros 22 distritos del SE de la provincia de Buenos Aires, y es uno de los principales productores junto a General Pueyrredón y Balcarce (Barranquero et al., 2019). Por su parte, el engorde de ganado también se ha intensificado en nuestro país a partir de la década del 90' (Nogar y Jacinto, 2010); los datos más actualizados a nivel de partido indican que se registran en Tandil 35 establecimientos dedicados a feed-lot en su mayoría con cría de entre 500 y 1000 cabezas de animales (Basla et al., 2017).

A medida que el área de estudio fue creciendo comenzaron a surgir otras actividades productivas como la minería, el turismo y la actividad metalúrgica. La producción de autopartes y maquinaria agrícola ocupa un lugar de relevancia en la actividad económica local. A su vez, la creación del Parque Científico Tecnológico en el año 2003, localizado en el NO de la ciudad en la intersección de la Ruta Nacional 226 y la Ruta Provincial 30, implicó la radicación de varias empresas dedicadas al desarrollo de la industria con base en las Tecnologías de la información y la comunicación (Finquelievich et al., 2017). El desarrollo de las ramas alimenticia y metalmecánica son las responsables de la importancia de la industria manufacturera en Tandil, y su región, con predominio de capitales locales. Según el último relevamiento de la actividad industrial realizado por el Municipio de Tandil en 2013, del total de 670 establecimientos industriales predominaban las alimenticias y de bebidas con el 38,4%, y la fabricación de productos metálicos y maquinarias con el 26,6%. En menor medida, existen industrias metal básicas (8,75%), producción de minerales no metálicos (8,58%), industrias madereras (6,56%), textiles (4,88%), y el resto se distribuye entre papeleras y fabricación de productos químicos (Lan, 2018).

Por su parte, las actividades terciarias de servicios han crecido notablemente en los últimos años. En especial el turismo es un rubro de gran importancia debido al atractivo paisajístico ofrecido por las serranías de Tandilia sumado a la amplia y creciente oferta hotelera, gastronómica y recreativa (Nogar y Capristo, 2012).

El Partido posee como ciudad cabecera la ciudad homónima, fundada en 1823, y a su vez se encuentra conformado por centros de menor rango que albergan a la población rural como María Ignacia (Estación Vela) y Gardey. Un conjunto de núcleos comarcales completan el sistema de asentamientos del territorio del Partido: De la Canal, Desvío Aguirre, Fulton, La Pastora, Iraola, Azucena y La Numancia (**Figura 3**).

**Figura 3.** Localización del partido de Tandil en la RPA y centros rurales en los distintos Sistemas Ecológicos Paisajísticos.



De acuerdo a los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) a partir del último Censo Nacional de Población y Vivienda (2010) la población total del partido es de 123.871 habitantes. De acuerdo a las proyecciones por departamento de INDEC (2020)<sup>3</sup> la población era para el año 2020 de 139.300 habitantes lo cual representa un aumento poblacional del 37,61%.

Como se desprende de los datos censales el Partido ha sufrido en los últimos años un crecimiento demográfico rápido que no ha sido acompañado por una adecuada planificación y ordenamiento del uso del territorio. Sin embargo, mientras en las áreas urbanas tenía lugar un proceso de importante crecimiento demográfico, en las áreas rurales se producía el fenómeno de concentración de la tierra. Los cambios tecnológicos productivos acontecidos en la Región Pampeana no fueron neutros a la estructura agraria. A través de los relevamientos censales nacionales y locales podemos observar que, durante los últimos 30 años, las transformaciones en la estructura agraria productiva son la traducción social de los impactos asociados a la adopción del modelo de agronegocio (García, 2020). Los CNA 1988, 2002 y 2018 dieron cuenta de esta transformación y disminución: el número total de establecimientos agroproductivos (EAP's) nacionales que cada uno de ellos relevó fue de 421.221, 333.533 y 250.881, respectivamente. En sintonía a escala local los censos indican que el partido también

<sup>3</sup> <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-24-119>

presenta una estructura agrícola caracterizada por la pérdida de establecimientos (1095 EAP's en 1988, 659 EAP's en 2002 y 479 EAP's en 2018).

# CAPÍTULO I - UNIDADES AGROECOLÓGICAS DEL PARTIDO DE TANDIL

---

### **OBJETIVO ESPECÍFICO**

- I. Definir Unidades Agroecológicas en función de factores físicos, biológicos y agronómicos, considerando el potencial de cada unidad para proveer servicios ecosistémicos de abastecimiento, que permiten caracterizar unidades homogéneas dentro de la heterogeneidad paisajística del partido de Tandil.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El uso racional y sostenible de la tierra es un tema de gran preocupación para los gobiernos y para usuarios de la tierra que enfrentan dos desafíos básicos. Un enfoque integrado para la planificación y gestión de los recursos de la tierra es un factor clave para implementar soluciones ya que garantizará la asignación de usos que proporcionen el mayor beneficio sostenible (Fischer et al., 2000).

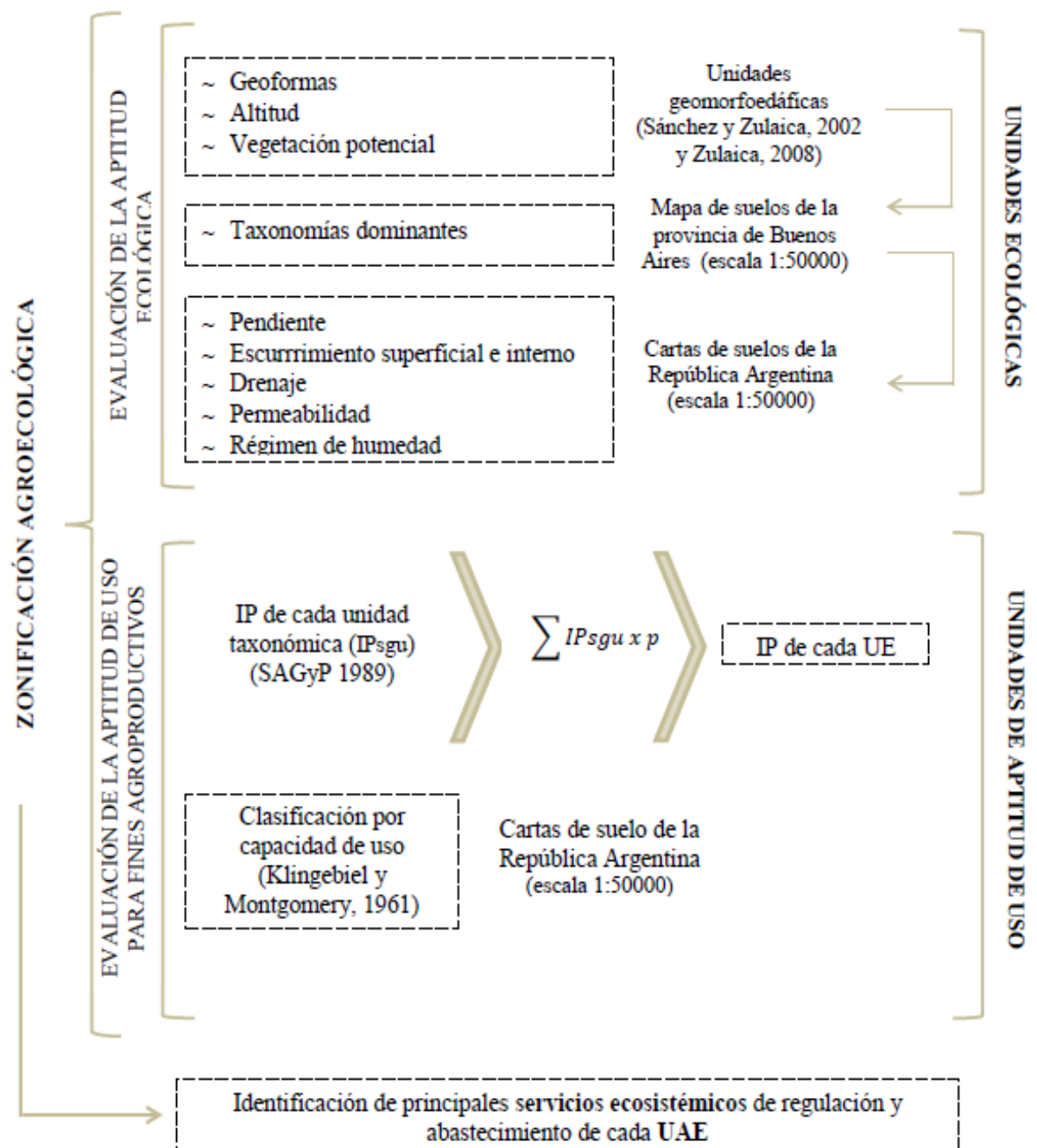
Enfoques sectoriales y de objetivo único para aliviar esta situación con frecuencia no han sido efectivos por lo que es necesario un enfoque integrado que involucre cualidades y limitaciones de cada unidad de tierra y produzca opciones viables de uso de la tierra (FAO, 1996). Para permitir la planificación racional del uso de la tierra es pertinente contar con un inventario de los recursos de la tierra y la evaluación de sus limitaciones y restricciones biofísicas.

En este sentido la metodología de la ZAE puede considerarse como un conjunto de aplicaciones básicas que conducen a una evaluación de la aptitud y productividad potencial de tierras. De esta manera, la comprensión de las interdependencias entre componentes del paisaje permite interpretar la vulnerabilidad de los mismos en un área determinada y facilita la identificación de modalidades de desarrollo que compatibilicen los requerimientos sociales con la conservación de la oferta ecológica (Santé Rivera y Crecente Maseda, 2005).

Con el propósito de enfatizar la heterogeneidad de ambientes presentes en el partido de Tandil y considerando el potencial de cada unidad para proveer servicios ecosistémicos de abastecimiento se definieron y caracterizaron, mediante dicha metodología, Unidades Agroecológicas (UAE's). El término de UAE pretende identificar, en el área de estudio, aquellas zonas homogéneas que conjugan similares características con respecto a dos dimensiones que hacen a su potencial agroproductivo ecológicas y agrarias. La primera dimensión empleada fue la aptitud ecológica y la segunda dimensión fue la aptitud de uso de las tierras para fines agroproductivos. **La Figura 4** esquematiza el procedimiento metodológico llevado a cabo para la definición de las mismas.

**Figura 4.** Diagrama esquemático de la metodología utilizada.





### Primera etapa: Evaluación de la aptitud ecológica

La dimensión ecológica permite identificar las potencialidades, vulnerabilidades y restricciones de las distintas unidades territoriales y su patrón de distribución espacial dando lugar a Unidades Ecológicas (UE).

Los atributos requeridos para el reconocimiento de cada UE han sido:

- Geoformas
- Altitud
- Vegetación potencial

- Taxonomías dominantes
- Pendiente
- Escurrimiento superficial e interno
- Drenaje
- Permeabilidad
- Régimen de humedad

Si se considera al suelo como un sistema complejo y dinámico que progresivamente adquiere sus propiedades por la acción combinada de los factores del medio (una economía particular del agua, una flora y fauna determinada y elementos minerales) es posible asociar a las geoformas del paisaje con los determinados perfiles de suelo.

Por consiguiente, y en primera instancia, trabajos antecedentes de Sánchez y Zulaica (2002) y Zulaica (2008) fueron empleados como fuentes primarias para la delimitación de las UE. En estos trabajos los autores describen unidades geomorfológicas para los tres sistemas ecológicos paisajísticos de Tandil (Serranías, Llanuras periserranas y Planicies distales) y permitieron el reconocimiento de los atributos geoformas, altitud y vegetación potencial.

En segunda instancia, los restantes atributos listados (taxonomía dominante, pendiente, escurrimiento superficial e interno, drenaje, permeabilidad y régimen de humedad) fueron definidos a partir de la digitalización de los suelos presentes en el Partido. Para ello se vinculó el mapa taxonómico del área de estudio con las unidades geomorfológicas definidas previamente (Sánchez y Zulaica, 2002; Zulaica, 2008).

La obtención del mapa taxonómico requirió de un pre-procesamiento de datos para lo cual se utilizó el vector del Partido, obtenido del Instituto Geográfico Nacional (IGN), como límite para el mapeo de las Series de suelos en el software QGIS (3.8.1 Zanzibar). Se empleó el servicio de vectores en web (WFS) Carta de Suelos de la provincia de Buenos Aires (escala 1:50.000) del GeoINTA<sup>4</sup> a partir del cual se desplegaron todas las series de suelos presentes en el área de estudio que fueron digitalizadas. Posteriormente, las Series de suelos fueron redefinidas a Subgrupos considerando la taxonomía de la serie principal (USDA, 2014). La unidad cartográfica (unidad básica de un mapa de suelos) en este estudio no comprende suelos individuales sino que consiste en una combinación de un suelo dominante con suelos asociados o complejos. Este dato, junto

---

<sup>4</sup> <http://geointa.inta.gov.ar/geoserver/wfs>

con otros atributos no espaciales, fue codificado en bases de datos o tablas de atributos en el mencionado *software*.

Finalmente, la conjunción de los mencionados atributos ha dado lugar a la caracterización de trece UE.

### **Segunda etapa: Evaluación de la aptitud de uso para fines agroproductivos**

La dimensión asociada a la aptitud de uso para fines agroproductivos considera el potencial de cada unidad para proveer servicios ecosistémicos de abastecimiento. Las herramientas empleadas para caracterizar y plasmar en el territorio dicha aptitud fueron el Índice de Productividad (IP) y la Clasificación por Capacidad de Uso (CU) obteniendo como resultado trece Unidades de Aptitud de Uso (UAU).

#### ***Índice de Productividad***

El IP establece una valoración numérica relativa de la capacidad productiva de las tierras en una región interpretándose como una proporción del rendimiento máximo potencial de los cultivos más comunes para la zona adaptados al clima local y bajo el nivel tecnológico predominante en el área. El IP (por unida taxonómica de suelo) es determinado por SAGyP-INTA (1989) a partir de una fórmula que considera diversos parámetros surgidos de la consulta con especialistas: condición climática, drenaje, profundidad efectiva, textura superficial, textura subsuperficial, salinidad, alcalinidad, materia orgánica, pendiente y pedregosidad (Morales Poclava et al., 2015). Para el cálculo del IP de la UE se utilizó la fórmula adaptada de Zulaica (2008):

$$IP_{ue} = \sum IP_{sgu} \times p$$

Dónde:

- $IP_{ue}$ : índice de productividad de la UE.
- $IP_{sgu}$ : índice de productividad de los Subgrupos de suelos presentes en cada UE.
- $p$ : superficie (porcentaje) que ocupa el Subgrupo en la UE.

El  $IP_{sgu}$  fue obtenido a partir del Visor GeoINTA<sup>5</sup> y la información de las Cartas de Suelos de la República Argentina. La superficie ocupada por cada Subgrupo de suelos dentro de la UE se conoció a partir del procedimiento descripto anteriormente para la identificación de los suelos presentes en el Partido.

---

<sup>5</sup> <http://visor.geointa.inta.gob.ar/>

Tanto para definir IP, CU, y SubCu de la UE se consideraron solo aquellos Subgrupos cuya superficie digitalizada resultó superior al 1% de la superficie total de la UE.

Para los valores obtenidos se estableció una escala con rangos que identifican al IP como se exhibe en la **Tabla 1**.

**Tabla 1.** Categorías asignadas al Índice de Productividad

|          |                         |
|----------|-------------------------|
| 0 - 20   | Muy baja productividad  |
| 21 - 40  | Baja productividad      |
| 41 - 60  | Moderada productividad  |
| 61 - 80  | Buena productividad     |
| 81 - 100 | Muy buena productividad |

### ***Clasificación por Capacidad de Uso***

Se empleó como método de evaluación de tierras cualitativo el diseñado por Klingebiel y Montgomery (1961) del Departamento de Agricultura de Estados Unidos – USDA para valorar diferentes alternativas de uso en coincidencia con las potencialidades y limitaciones ecológicas del sitio para la producción de biomasa.

En el sistema de evaluación de suelos USDA – LCC (Land Capability Classification) el uso agrícola es reservado para las mejores tierras dándose especial importancia a los riesgos de erosión y a la necesidad de conservar la potencialidad del suelo (de la Rosa, 2008). Se definen ocho clases de capacidad de uso iniciando por una primera clase óptima (Clase I) sin limitaciones para usos agrícolas intensivos. Clases subsecuentes incorporan progresivamente la intensidad de las limitaciones que presentan los suelos para el desarrollo de los cultivos u otros tipos de uso rural y el riesgo del deterioro del suelo hasta llegar a las clase VIII que presenta serias limitantes que restringen su uso a reserva natural, recreación o paisajístico (Morales Poclava et al., 2015):

- ~ Las clases I a IV indican suelos aptos para uso rural.
- ~ Las clases V a VII suelos aptos para el desarrollo de actividades pecuarias y/o forestales.
- ~ La clase VIII indica suelos sin aplicación agrícola y ganadera, sirven para recreación, conservación de la flora y fauna silvestres, etc.

Por otro lado, también se identificó en cada UE la Subclase de capacidad de uso (SubCU) que da cuenta de las principales limitaciones de los suelos:

- ~ “e”: representa suelos susceptibles a la erosión.

- ~ “w”: suelos cuya principal limitación es el exceso de agua.
- ~ “s”: suelos con limitaciones localizadas dentro de la zona de desarrollo radicular, tales como, escasa profundidad, baja capacidad de retención de humedad, salinidad y/o alcalinidad.
- ~ “c”: clima.

Los datos de CU y SubCU de cada UE se obtuvieron de las Cartas de Suelo de la República Argentina (INTA) ya que se presenta como un atributo de cada una de las unidades cartográficas delimitadas. Se consideró como CU y SubCU representativa de cada UE aquellas correspondientes al Subgrupo de suelos con mayor extensión superficial en la unidad (taxonomía dominante).

La conjunción del IP y CU ha dado lugar a la caracterización de trece Unidades de Aptitud de Uso (UAU).

### **Combinación de aptitudes: Zonificación agroecológica**

La integración de aptitud ecológica y aptitud de uso para fines agroproductivos dio lugar a trece UAE's que fueron identificadas individualmente en función de la combinación de atributos indicados previamente. Se dimensionan entonces la diversidad de ecosistemas y se geo-referencia el patrón de su distribución espacial.

### **Análisis de la provisión potencial de SE**

Finalmente se presenta esquemáticamente una síntesis de los diferentes SE de regulación y abastecimiento que se asume predominan potencialmente en cada UAE de acuerdo con sus principales potencialidades y debilidades ecológicas y agroproductivas (Frank y Viglizzo, 2010; Haines-Young y Potschin, 2012).

## RESULTADOS

En este capítulo se definen y caracterizan trece UAE's identificadas en los tres sistemas ecológicos del Partido con características relativamente homogéneas en la escala de análisis adoptada. En las UAE's coexisten una geoforma, materiales de origen geológico que subyacen a una superficie morfoedáfica, un suelo o asociación de suelos íntimamente relacionada con las geoformas, una comunidad de plantas y animales, y en general, determinada actividad humana. En definitiva expresan una adecuada integración de las cualidades, interacciones y dinámicas de un área específica de la tierra. Estos atributos se sintetizan en las Tablas de UAE's (11,12 y 13) vinculadas a los SEP de S, PD y LLP.

### **Caracterización agroecológica de las unidades del Sistema Ecológico Paisajístico “Sierras”: UAE S1 y UAE S2**

#### ***Unidades ecológicas (UE) serranas***

Como se definió en la metodología a partir de estudios antecedentes (Sánchez y Zulaica, 2002 y Zulaica, 2008) y de la digitalización de los suelos presentes (GeoINTA; Soil Taxonomy, 2014) se han caracterizado dos UE en el SEP serrano: UE S1 y UE S2.

En cuanto a la composición edáfica de las UE serranas (**Tabla 2**) los Hapludoles líticos dominan en un 43% del compartimento serrano. Luego, Argiudoles típicos y Argiudoles petrocálcicos se extienden en un 27% y 23% del compartimento respectivamente (**Tabla 2**).

Los suelos dominantes son poco a muy poco profundos debido a la presencia de contactos líticos cercanos a la superficie. Se encuentran representados por los Subgrupos Hapludol lítico en S1 (Serie SP) y Argiudol petrocálcico en S2 (Serie CC) localizados en ambos casos en las zonas centrales y de mayor altitud y pendiente de las unidades.

Por un lado, particularmente en S1 se observa una asociación paisajística entre el Subgrupo Hapludol lítico caracterizado por presencia de roca a los 15 cm. de profundidad y la presencia de afloramientos rocosos en un 13% del territorio (**Tabla 2**). Dichos afloramientos determinan una dinámica global gobernada por pendientes susceptibles a sufrir erosión hídrica, una baja capacidad de retención del agua de lluvia y auspician el desarrollo de una red hidrológica de alcance regional.

Por otro lado, la importante presencia de Argiudoles típicos que ocupan el segundo lugar en cuanto a superficie tanto en S1 como en S2 se relaciona a paisaje con ubicación limítrofe a la Llanura periserrana Llp3. Es decir, este Subgrupo asocia las formaciones serranas de las Serranías y la matriz espacial de llanuras onduladas con abundantes lomadas sobreimpuestas de Llp3. Este hecho provoca que si bien abundan los afloramientos rocosos las diferentes superficies geomórficas asocien suelos poco profundos y comunidades de plantas que con frecuencia presentan fisonomía de pastizal.

La **Tabla 2** y **las Figuras 5 y 6** informan acerca de la superficie ocupada por cada taxonomía presente en las unidades S1 y S2 y sobre la ubicación espacial de las mismas en el Partido.

**Tabla 2. Composición edáfica de UE serranas.**

| Taxonomía de suelos<br>(Subgrupos) | Serranías |       |           |       |         |
|------------------------------------|-----------|-------|-----------|-------|---------|
|                                    | UE-S1     |       | UE-S2     |       | Total S |
|                                    | ha        | %     | ha        | %     |         |
| <i>Afloramientos rocosos</i>       | 5.499,71  | 12,65 |           |       | 6,33    |
| <i>Hapludol lítico</i>             | 26.238,68 | 60,36 | 3.805,34  | 25,86 | 43,11   |
| <i>Argiudol típico</i>             | 11.608,89 | 26,71 | 4.091,58  | 27,80 | 27,25   |
| <i>Argiudol petrocálcico</i>       |           |       | 6.819,82  | 46,34 | 23,17   |
| Suelo urbano                       | 120,53    | 0,28  |           |       | 0,28    |
| Superficies totales                | 43.467,81 |       | 14.716,74 |       |         |

**Figura 5.** Ubicación espacial de la composición edáfica de UE S1.

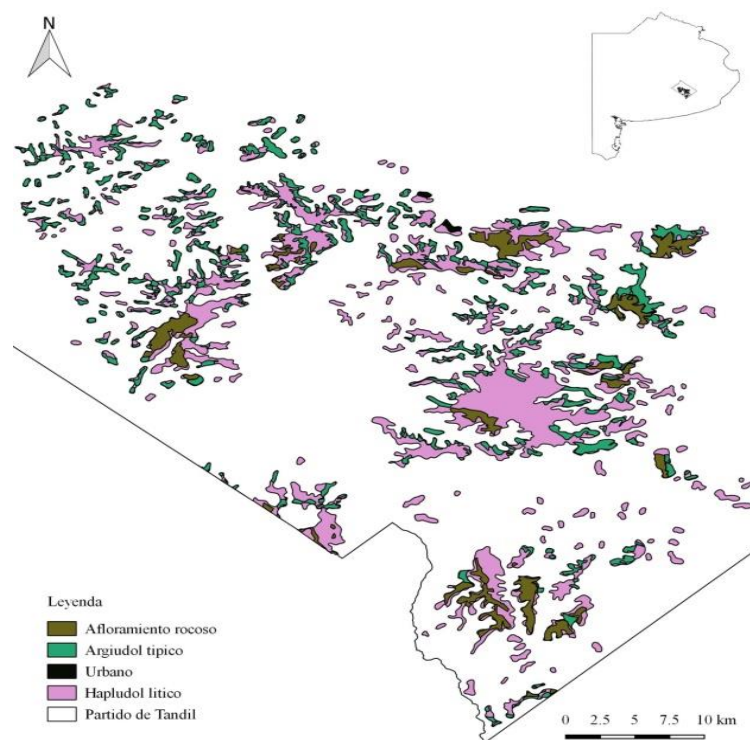
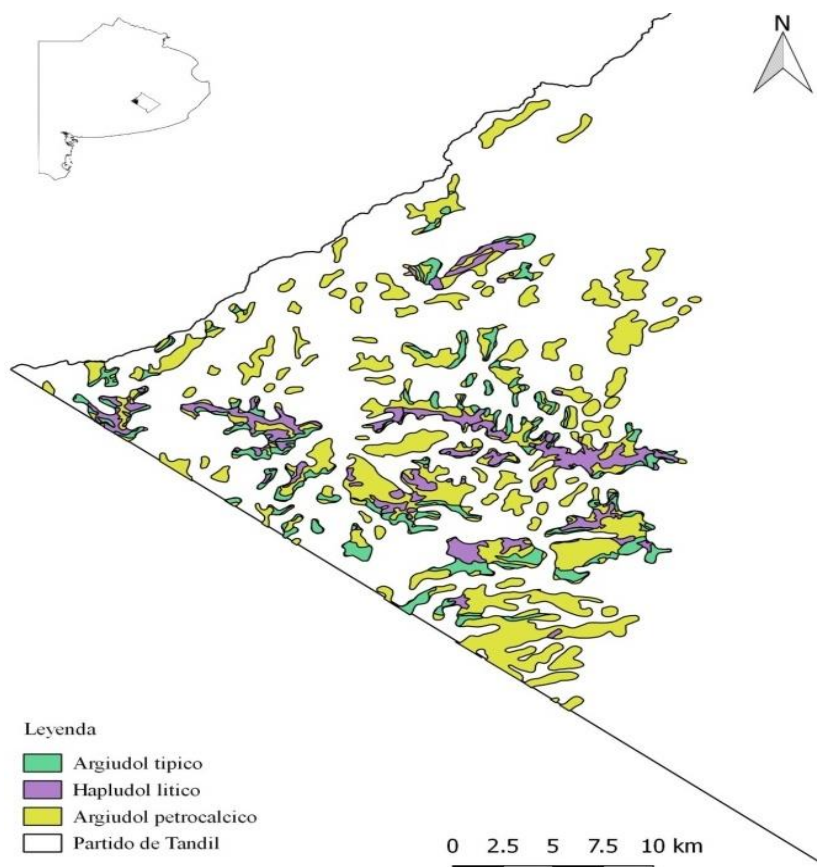


**Figura 6.** Ubicación espacial de la composición edáfica de UE S2.



*Unidades de Aptitud de Uso (UAU) serranas*



La presencia del Subgrupo *Argiudol típico* ocasiona, a pesar del poco desarrollo de los suelos, que el SEP en general presente un IP moderado y una aptitud agrícola (clase IV) en UAU S2.

La unidad S1, en cambio, debido a la presencia de contactos líticos presenta una aptitud apta para el desarrollo de actividades pecuarias y/o forestales (clase VI) en el 60% de su superficie y su utilidad queda reducida a la conservación de la flora y fauna silvestre y a la recreación en un 13% de la Unidad.

La siguiente tabla sintetiza la productividad, la aptitud de las tierras y las principales limitaciones que caracterizan cada unidad.

**Tabla 3.** Índices de productividad y clases de aptitud de las tierras en UAU serranas.

| UAU | IP    | Productividad | AT | %     | Subclase | Limitaciones principales                                                                                                                                     | %      |
|-----|-------|---------------|----|-------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| S1  | 30,08 | Baja          | VI | 60,36 | es       | Profundidad del solum por presencia de roca a los 15 cm. de profundidad, baja capacidad de retención de la humedad, pendiente y susceptibilidad a la erosión | 87,07  |
| S2  | 41,00 | Moderada      | IV | 46,34 | es       | Profundidad, pendiente y susceptibilidad a la erosión                                                                                                        | 100,00 |

### **Unidades agroecológicas (UAE) serranas**

Se sintetizan y conjugan en la **Tabla 4** las principales características ecológicas y agroproductivas que identifican a las UAE S1 y UAE S2.

**Tabla 4.** Caracterización agroecológica de UAE S1 y UAE S2.

| Compartimento                     |                          | Serranías                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Variables                         | Unidades                 | UAE S1                                                                                                                                                                         | UAE S2                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|                                   | Descripción morfoedáfica | Formaciones serranas con abundantes afloramientos rocosos que asocian cuerpos edáficos poco evolucionados y de escasa profundidad debido a la existencia de contactos líticos. | Formaciones serranas con lomas moderadamente onduladas, pronunciadas, escasos afloramientos rocosos y que asocian cuerpos edáficos más o menos desarrollados, algunas veces profundos y más frecuentemente de escasa profundidad debido a la existencia de contactos líticos. |
| Altitud                           |                          | En general, superiores a 200 m, con máximos del orden de los 500 m.                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Pendiente                         |                          | 3 a 10 %                                                                                                                                                                       | 1 a 10 %                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Escurrimiento superficial interno |                          | Rápido a muy rápido                                                                                                                                                            | Medio a rápido                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Drenaje                           |                          | Bien a algo excesivamente drenado                                                                                                                                              | Bien drenado                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Permeabilidad                     |                          | Moderadamente lenta                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                               |

|                                        |                                                                                                                                                                                       |                              |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Régimen de humedad                     | Údico                                                                                                                                                                                 |                              |
| Taxonomía principal                    | <i>Hapludol lítico</i>                                                                                                                                                                | <i>Argiudol petrocálcico</i> |
| Serie principal                        | Sierra de los Padres (SP)                                                                                                                                                             | Cinco Cerros (CC)            |
| Vegetación potencial<br>(Frangi, 1975) | Flechillares en ambientes bien drenados con especies pertenecientes a los géneros <i>Stipa</i> y <i>Piptochaetium</i> y especies de <i>Melisa</i> , <i>Briza</i> y <i>Danthonia</i> . |                              |
|                                        | Matorrales de <i>Baccharis Tandilensis</i> .                                                                                                                                          |                              |
|                                        | Arbustales de <i>Eupatorium buniifolium</i> .                                                                                                                                         |                              |
|                                        | Arbustales mixtos en áreas rocosas muy heterogéneas de <i>Baccharis Tandilensis</i> , <i>Eupatorium buniifolium</i> y <i>Baccharis articulata</i> .                                   |                              |
|                                        | Pajonales de <i>Paspalum quadrifarium</i> en ambientes imperfectamente drenados.                                                                                                      |                              |
|                                        | Cardales de <i>Eryngium paniculatum</i> acompañada generalmente con <i>Eryngium horridum</i> .                                                                                        |                              |
|                                        | Pajonal-cardal de <i>Eryngium elegans</i> .                                                                                                                                           |                              |
|                                        | Pajonales de <i>Cortadeira selloana</i> .                                                                                                                                             |                              |
|                                        | Especies características de roquedales altos pertenecientes a los géneros <i>Plipodium</i> , <i>Pellaca</i> , <i>Elaphoglossum</i> , <i>Tillandsta</i> y <i>Plantago</i> .            |                              |
|                                        | Especies de ambientes rocosos <i>Hysterionica pinifolia</i> y <i>Eupatorium tweedianum</i> .                                                                                          |                              |
|                                        | Comunidades linquélicas ( <i>Cladonia</i> , <i>Parmelia</i> , <i>Evernia</i> , <i>Usnea</i> , <i>Bryum</i> , <i>Grimmia</i> , <i>Tortula</i> ).                                       |                              |
| IP                                     | Moderada                                                                                                                                                                              |                              |
| CU                                     | 30,08                                                                                                                                                                                 | 41,00                        |
|                                        | VI                                                                                                                                                                                    | IV                           |
| Limitaciones                           | Profundidad, baja capacidad de retención de la humedad, pendiente y susceptibilidad a la erosión                                                                                      |                              |

### **Caracterización agroecológica del Sistema Ecológico Paisajístico “Llanuras Periserranas”: UAE LLP1, UAE LLP2, UAE LLP3, UAE LLP4, UAE LLP5 y UAE LLP6**

#### **Unidades ecológicas (UE) de las Llanuras periserranas**

Los diferentes núcleos serranos representados por las UAE S1 y S2 contactan llanuras de relieves ondulados resultantes de la influencia orogénica, las Llanuras periserranas. El sistema en cuestión se encuentra gobernado por una dinámica estrechamente vinculada a las muy buenas condiciones de drenaje del material loésico que dio origen a las formaciones superficiales. La matriz espacial presenta longitudes de onda variables y ello determina la coexistencia de convexidades pronunciadas y suaves (lomas y lomadas) (Zulaica, 2008).

En este compartimento los suelos pertenecientes al subgrupo *Argiudoles típicos* dominan, ocupando un 53% del compartimento, seguidos por *Argiudoles petrocálcicos* (28%) y por complejos de suelos que se expanden en un 8% de la superficie de las Llanuras.

Al igual que en las UE serranas se observa una dominancia de suelos pertenecientes al Suborden “udoles”: Molisoles con régimen údico de humedad. Presentan un horizonte

superficial oscuro y rico en materia orgánica y otros horizontes subsuperficiales alterados o enriquecidos en arcillas.

El subgrupo Argiudol típico es la matriz principal de las Unidades Llp3 (78%), Llp4 (76%) y Llp5 (100%) y se caracteriza por presentar un perfil bien desarrollado, oscuro, profundo, bien drenado y con escasa pedregosidad en superficie (Panigatti, 2010; Carta de Suelos Inta) (**Tabla 5**). Es un suelo de aptitud agrícola que se encuentra en un área de paisaje serrano ondulado con pendientes suaves, medias y largas de la Subregión Pampa Austral Interserrana, ocupando la media loma, desarrollado en sedimentos loésicos franco finos sobre una costra calcárea de extensión regional, no salino, no alcalino en pendientes de 1-3 % (Cartas de Suelos de la República Argentina). Su principal limitación está relacionada a su susceptibilidad a la erosión hídrica.

En Llp4 la matriz de suelos profundos (Argiudol típico - Serie Ta) se encuentra interrumpida por numerosos parches del Subgrupo *Hapludol petrocálcico* (15%) (Serie La) (suelos someros apoyados sobre costra calcárea) bien a algo excesivamente drenados, diseminados en toda la superficie de la Unidad. Se encuentran presentes también parches del Subgrupo *Argiudol petrocálcico* (Serie SP), aunque en un porcentaje menor, asociados a los límites con la Unidad serrana S1.

En las Unidades Llp1 y Llp2 destaca una matriz de Argiudoles petrocálcicos ocupando más del 70% de la superficie de cada unidad y aproximadamente el 30% del compartimento (**Tabla 5**). Dicha taxonomía se identifica con un suelo muy oscuro, moderadamente profundo, bien drenado, no alcalino, no salino, y apto para los cultivos agrícolas. Suele desarrollarse en un paisaje de lomas extendidas y pendientes en posición de loma del sector Subregión Sierras y Pedemonte del Sistema de Tandilia con pendientes 1 a 3 %. Su rasgo diagnóstico principal es su desarrollo en sedimentos loésicos finos que se apoyan sobre una costra calcárea de extensión regional “tosca” antes del metro de profundidad (horizonte petrocálcico). Sus limitaciones de uso parten de lo descripto anteriormente: escasa profundidad del suelo por la presencia de “tosca” y una baja capacidad de retención de humedad.

Particularmente en Llp1 aparece en el límite con el partido de Benito Juárez y como continuidad de la taxonomía dominante el Subgrupo *Argiudol vértico* con el cual comparten numerosas características ya que ambos derivan de Argiudoles típicos de la clasificación de 1975. Su rasgo diagnóstico principal deriva de un horizonte argílico con características vérticas (más del 30% de arcilla hasta 105 cm. de profundidad). Este

suelo se encuentra en los pie de lomas y en los bordes de ejes de avenamiento, en la "Subregión Sierra y Pedemonte de Tandilia", es moderadamente bien drenado y con pendientes que no superan el 0.5 - 0,1%. Sus limitaciones de uso están relacionadas a su drenaje, aunque posee un escaso peligro de anegamiento.

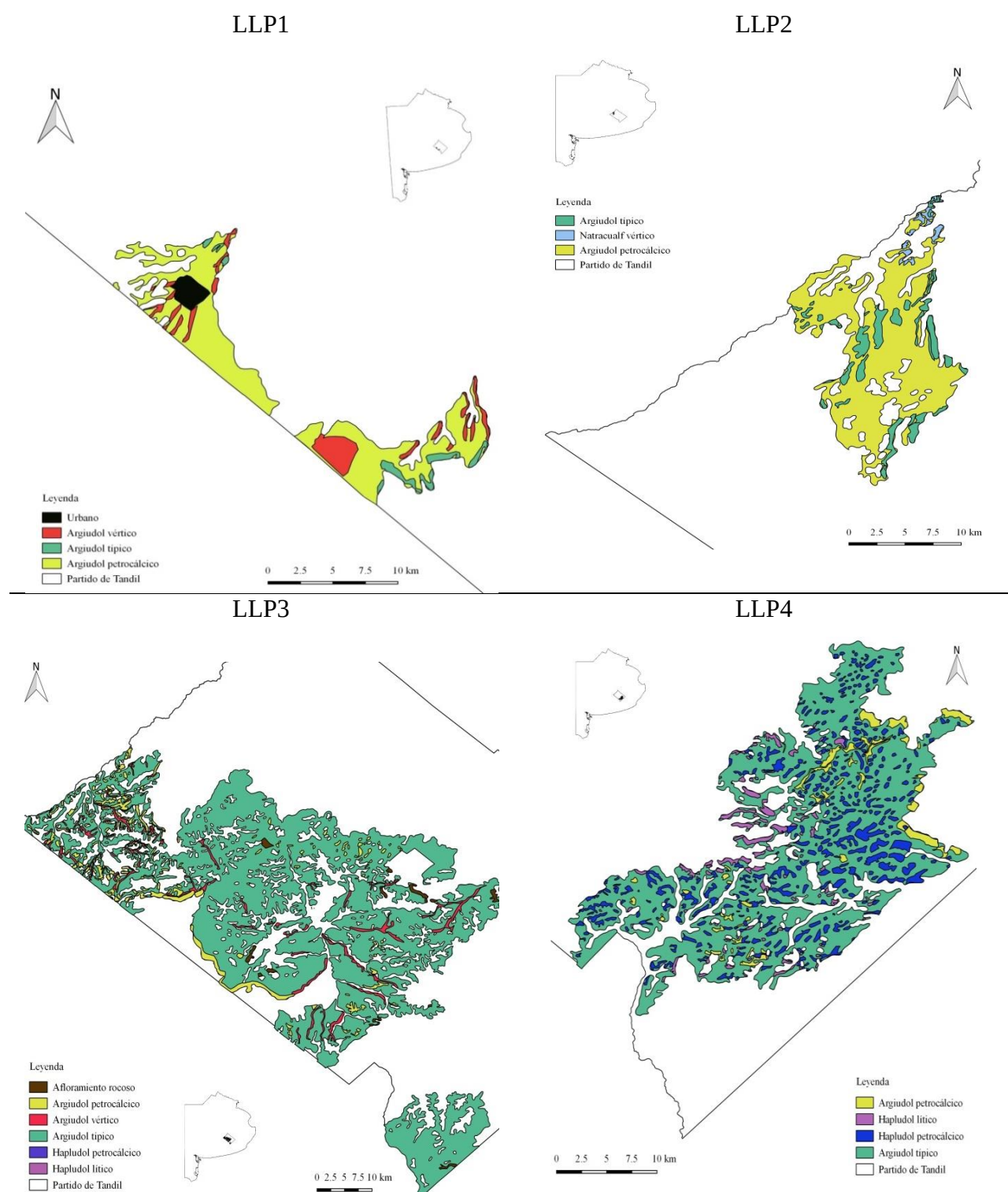
En las Unidades periserranas descritas hasta aquí los rasgos matriciales típicos (sean Argiudoles típicos en Llp3 y Llp4 o Argiudoles petrocálcicos en Llp1 y Llp2) suelen ser interrumpidos por *Natracualfes vérticos* y *Argiudoles vérticos* en el contacto con macro y microdepresiones. A su vez, en áreas de contacto con unidades serranas presentan, aunque en porcentajes bajos, suelos líticos característicos de las mismas como agriudoles y hapludoles.

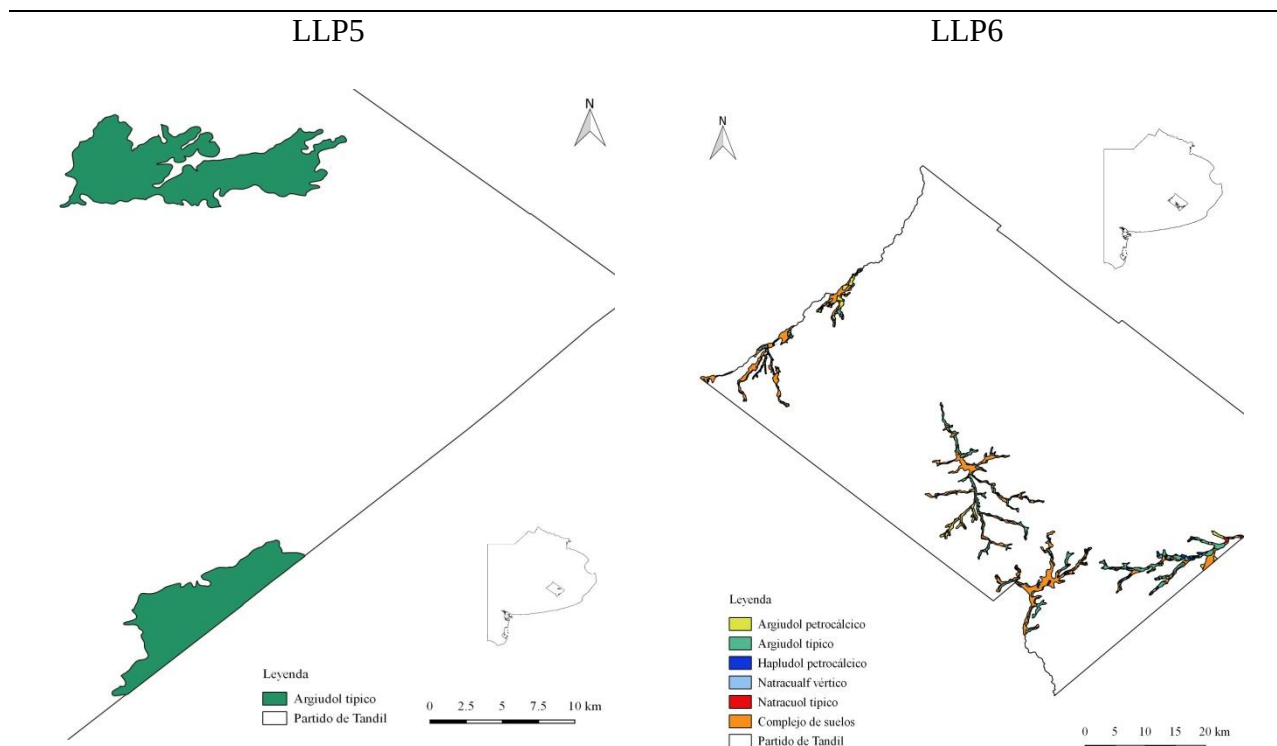
En las Llanuras periserranas los suelos indiferenciados son exclusivos de la Unidad Llp6 en donde ocupan el 50% de su superficie y se encuentran rodeados por Argiudoles típicos que funcionan como continuidad entre estos y los límites con las Unidades Llp3 y Llp4 (**Tabla 5**).

**Tabla 5.** Composición edáfica de UE de la Llanura periserana.

| Taxonomía de suelos (Subgrupos) | Llanuras periserranas |       |           |       |            |       |           |       |           |        |           |       |           |
|---------------------------------|-----------------------|-------|-----------|-------|------------|-------|-----------|-------|-----------|--------|-----------|-------|-----------|
|                                 | UE LLP1               |       | UE LLP2   |       | UE LLP3    |       | UE LLP4   |       | UE LLP5   |        | UE LLP6   |       | Total LLP |
|                                 | ha                    | %     | ha        | %     | ha         | %     | Ha        | %     | ha        | %      | ha        | %     | %         |
| Afloramientos rocosos           |                       |       |           |       | 1.240,76   | 0,93  |           |       |           |        |           |       | 0,15      |
| <i>Hapludol lítico</i>          |                       |       |           |       | 12.651,34  | 9,46  | 2.323,63  | 3,93  |           |        |           |       | 2,23      |
| <i>Argiudol típico</i>          | 661,41                | 6,24  | 2.896,61  | 22,33 | 103.992,82 | 77,75 | 45.185,52 | 76,34 | 14.771,70 | 100,00 | 5.904,44  | 35,05 | 52,95     |
| <i>Natracuol típico</i>         |                       |       |           |       |            |       |           |       |           |        | 100,47    | 0,60  | 0,10      |
| <i>Complejos</i>                |                       |       |           |       |            |       |           |       |           |        | 8.503,68  | 50,48 | 8,41      |
| <i>Argiudol petrocálcico</i>    | 7.695,58              | 72,66 | 9.608,50  | 74,07 | 7.576,58   | 5,66  | 2.781,4   | 4,70  |           |        | 1.685,16  | 10,00 | 27,85     |
| <i>Hapludol petrocálcicos</i>   |                       |       |           |       | 3.201,46   | 2,39  | 8.899,13  | 15,03 |           |        | 582,55    | 3,46  | 3,48      |
| <i>Natracualf vértico</i>       |                       |       | 466,91    | 3,60  |            |       |           |       |           |        | 67,73     | 0,40  | 0,67      |
| <i>Argiudol vértico</i>         | 1.672,35              | 15,79 |           |       | 5.093,14   | 3,81  |           |       |           |        |           |       | 3,27      |
| Suelo urbano                    | 561,79                | 5,30  |           |       |            |       |           |       |           |        |           |       | 0,88      |
| Superficies totales             | 10.591,13             |       | 12.972,02 |       | 133.756,10 |       | 59.189,68 |       | 14.771,70 |        | 16.844,03 |       |           |

**Figura 7.** Ubicación espacial de la composición edáfica de UE de la Llanura periserrana.





### ***Unidades de Aptitud de Uso (UAU) de las Llanuras periserranas***

Las diferentes tierras del ecosistema no exhiben restricciones considerables para el cultivo de ahí la sustitución extensiva de los flechillares típicos que de manera casi continua cubrían el paisaje periserrano; sólo quedan fragmentos de vegetación, florística y estructuralmente emparentados con el flechillar nativo en vías del ferrocarril, banquinas y bajo los alambrados.

La dominancia de Argiudoles típicos en las Unidades Llp3, Llp4 y Llp5 coincide con los IP más elevados del compartimento de Llanuras periserranas siendo sus productividades buenas (**Tabla 6**). En orden decreciente, la productividad de las unidades Llp1 y Llp2, donde predomina el Subgrupo *Argiudol petrocálcico*, se clasifica como buena. Los valores más bajos de IP se hayan en Llp6, con una productividad moderada debida en gran medida a la presencia de suelos indiferenciados en gran parte de su superficie.

Todas las unidades del compartimento poseen una aptitud de uso de clase III, es decir, agrícola cuyas principales limitaciones se localizan dentro de la zona de desarrollo radical (**Tabla 6**). Las mismas están relacionadas a la susceptibilidad a la erosión hídrica, a la escasa profundidad del suelo por la presencia de “tosca” o a la baja capacidad de retención de humedad según el Subgrupo y el paisaje dominante.

**Tabla 6.** Índices de productividad y clases de aptitud de las tierras en UAU de la Llanura periserrana.

| UAU  | IP    | Productividad | CU  | %     | Sub<br>clase | Limitaciones principales                                                                                                                 | %      |
|------|-------|---------------|-----|-------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| LLP1 | 56,97 | Moderada      | III | 94,70 | s            | Escasa profundidad del suelo por la presencia de “tosca”, baja capacidad de retención de humedad, drenaje y leve peligro de anegamiento. | 78,91  |
| LLP2 | 60,27 | Moderada      | III | 90,35 | s            | Escasa profundidad del suelo por la presencia de “tosca”, baja capacidad de retención de humedad y susceptibilidad a la erosión hídrica. | 93,67  |
| LLP3 | 68,20 | Buena         | III | 83,46 | es           | Susceptibilidad a la erosión hídrica y escasa profundidad del solum por presencia de roca a los 15 cm. de profundidad.                   | 90,58  |
| LLP4 | 65,17 | Buena         | III | 81,04 | s            | Susceptibilidad a la erosión hídrica, pendiente, profundidad y leve susceptibilidad a la erosión hídrica.                                | 100,00 |
| LLP5 | 79,29 | Buena         | III | 79,69 | s            | Peligro de erosión hídrica y pendiente.                                                                                                  | 79,69  |
| LLP6 | 33,60 | Baja          | III | 45,13 | es           | Susceptibilidad a la erosión hídrica.                                                                                                    | 39,17  |

#### **Unidades agroecológicas (UAE) de las Llanuras periserranas**

Se sintetizan y conjugan en la **Tabla 7** las principales características ecológicas y agrarias que identifican como UAE a las unidades del compartimento de la Llanura periserrana.

**Tabla 7.** Caracterización agroecológica de UAE LLP1, UAE LLP2, UAE LLP3, UAE LLP4, UAE LLP5 y UAE LLP6.

| Compartimento            |                                                                                                | Llanura periserrana                                                                              |                                                          |                                                          |                                                                                                            |                                             |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Unidades                 | LLP1                                                                                           | LLP2                                                                                             | LLP3                                                     | LLP4                                                     | LLP5                                                                                                       | LLP6                                        |
| Variables                |                                                                                                |                                                                                                  |                                                          |                                                          |                                                                                                            |                                             |
| Descripción morfoedáfica | Llanura ligera a muy                                                                           | Llanura ligeramente ondulada                                                                     | Llanura ondulada conformando                             | Llanura ondulada conformando                             | Llanura ondulada conformando                                                                               | Llanuras aluviales.                         |
|                          | ligeramente ondulada conformando o una matriz espacial en la que difunden pequeñas depresiones | conformando una matriz espacial con lomas sobreimpuestas, que a veces presentan crestas rocosas. | una matriz espacial con abundantes lomas sobreimpuestas. | una matriz espacial con abundantes lomas sobreimpuestas. | una matriz espacial con abundantes lomas sobreimpuestas que presentan formaciones superficiales profundas. | Asocia complejos de suelos indiferenciados. |
| Paisaje (geoforma)       | Paisaje de lomas extendidas                                                                    |                                                                                                  | Paisaje serrano ondulado con pendientes medias y largas  |                                                          | Paisajes suavemente                                                                                        |                                             |



|                                     |                                                                                                                                                                                               |                                                           |       |                        |       |       |                                                  |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------|------------------------|-------|-------|--------------------------------------------------|
|                                     |                                                                                                                                                                                               |                                                           |       |                        |       |       | ondulados<br>que asocian<br>áreas<br>deprimidas. |
| Altitud                             | Entre 200 y 300 m en el contacto con las Serranías y entre 130-170 m en el contacto con las Planicies distales.                                                                               |                                                           |       |                        |       |       |                                                  |
| Pendiente                           | 1 a 3 %                                                                                                                                                                                       |                                                           |       |                        |       |       | Generalmente inferiores al 1%                    |
| Escurrimiento superficial e interno | Medio                                                                                                                                                                                         |                                                           |       |                        |       |       | Medio y Bajo                                     |
| Drenaje                             | Bien drenado                                                                                                                                                                                  |                                                           |       |                        |       |       | Bien drenado a Pobremente drenado                |
| Permeabilidad                       | Moderada, capa freática profunda.                                                                                                                                                             | Moderada, capa freática (mayor a 100 cm. de profundidad). |       |                        |       |       | Moderado y baja                                  |
| Régimen de humedad                  | Údico                                                                                                                                                                                         |                                                           |       |                        |       |       |                                                  |
| Taxonomía principal                 | <i>Argiudol petrocálcico</i>                                                                                                                                                                  |                                                           |       | <i>Argiudol típico</i> |       |       | Complejos de suelos                              |
| Serie principal                     | Azul                                                                                                                                                                                          |                                                           |       | Tandil                 |       |       | Complejos de suelos                              |
| Vegetación potencial (Frangi, 1975) | Flechillares con especies de gramíneas pertenecientes a los géneros <i>Stipa</i> y <i>Piptochaetium</i> . Trébol blanco, ( <i>Trifolium repens</i> ). Cardo negro ( <i>Cyrsium vulgare</i> ). |                                                           |       |                        |       |       |                                                  |
| IP                                  | 56,97                                                                                                                                                                                         | 60,27                                                     | 68,20 | 65,17                  | 79,29 | 33,60 |                                                  |
| CU                                  | III                                                                                                                                                                                           |                                                           |       |                        |       |       |                                                  |
| Limitaciones                        | Baja capacidad de retención de humedad                                                                                                                                                        |                                                           |       |                        |       |       |                                                  |
|                                     | Escasa profundidad del suelo                                                                                                                                                                  |                                                           |       |                        |       |       |                                                  |
|                                     | Susceptibilidad a la erosión hídrica                                                                                                                                                          |                                                           |       |                        |       |       |                                                  |
|                                     | Pendiente                                                                                                                                                                                     |                                                           |       |                        |       |       |                                                  |

### **Caracterización agroecológica del Sistema Ecológico Paisajístico “Planicies Distales”: UAE PD1a, UAE PD1b, UAE PD2, UAE PD3a y UAE PD3b**

#### ***Unidades ecológicas (UE) de las Planicies Distales***

Las unidades ecológicas de este compartimento pueden diferenciarse decrecientemente de acuerdo a las superficies geomórficas que las gobiernan y en consecuencia a sus condiciones de drenaje. Las superficies geomórficas dominantes son muy suavemente inclinadas en las unidades correspondientes al compartimento Pd1 mientras que en Pd2 son apenas inclinadas (planicie) y asocian lomadas dispersas en su seno. Por este motivo, Pd1 es un sistema gobernado por una dinámica estrechamente vinculada a condiciones relativamente buenas de drenaje y Pd2 se encuentra gobernado por una dinámica asociada a ligeras restricciones en el drenaje superficial e interno. En oposición las unidades pertenecientes en a Pd3 presentan una matriz de planicies

gobernadas por una dinámica vinculada a bajos potenciales de escurrimiento superficial y un lento drenaje interno.

Es el compartimento que mayor diversidad de Subgrupos de suelos presenta por lo que cada uno representa un pequeño porcentaje de la superficie total del mismo. Al igual que en las Llanuras periserranas los suelos con mayor superficie en este compartimento son los *Argiudoles típicos* (62%) (Serie MP) principalmente en aquellas planicies muy suavemente inclinadas y relativamente bien drenadas. Dicho Subgrupo domina en la mayoría de las Unidades del compartimento con excepción de la Unidad Pd3b. En este caso los suelos característicos son profundos con fuerte desarrollo sobre sedimentos loésicos franco limosos, bien drenados y ubicados generalmente en un área de paisaje serrano en posición de loma y pendiente dentro de la Subregión Pampa Austral Interserrana, en pendientes de 1 a 3 % de dónde surgen sus principales limitaciones de uso (peligro de erosión hídrica).

A la dominancia de los *Argiudoles típicos* le siguen en orden de superficie ocupada los *Argiudoles petrocálcicos* (11% del compartimento) que destacan en la Unidad Pd1a (Serie AZ) y Pd2 (Serie Bal) (25% y 24% respectivamente). Ambos Subgrupos, ubicados en lomas pronunciadas dentro de las mencionadas unidades, destacan por la escasa profundidad del suelo debida a la presencia de tosca, la baja capacidad de retención de humedad y leve susceptibilidad a la erosión hídrica.

La planicie define una matriz espacial que asocia microdepresiones ocasionalmente integradas a fajas de escurrimiento. Dada dicha heterogeneidad interna de los distintos sistemas paisajísticos las unidades Pd1a, Pd1b y Pd2 ocurren también natracualfes típicos en los ambientes más deprimidos y en microdepresiones, paisajes asociados a ambientes pobremente drenados, con escurrimiento lento y permeabilidad lenta.

La integración espacial de los paisajes delimitados por las unidades Pd1 y Pd2 conforma una planicie muy ligeramente inclinada que, además de reunir condiciones relativamente buenas de drenaje, se diferencia profundamente de la planicie Pd3 donde imperan malas condiciones de drenaje (Sánchez y Zulaica, 2002).

En este sentido vale remarcar en la unidad Pd3 la presencia de *Natrudoles típicos* (38% de Pd3b y 12% de Pd3a (Serie Rch)), *Natracuoles típicos* (21% (Serie GG) de Pd3b) y *Natracualfs vérticos* (23% de Pd3a - Serie Che). La presencia de estos Subgrupos da cuenta de las malas condiciones de drenajes imperantes en Pd3 ya que, en los tres casos, ubicados en paisajes de áreas planas bajas y tendidos planos, las principales limitaciones

de uso están dadas por ser pobremente drenados, con escurrimiento y permeabilidad lenta y su alcalinidad sódica. La mayor parte de estos suelos se han desarrollado en planicies deprimidas y con baja capacidad de eliminación de los excesos de agua durante períodos prolongados. El exceso de agua del perfil del suelo tiende a crear condiciones de anaerobiosis en numerosos períodos de tiempo. En esta Unidad difunden también *Argiudoles típicos*, *abrupticos* y *petrocálcicos* en los segmentos positivos del relieve (lomas).

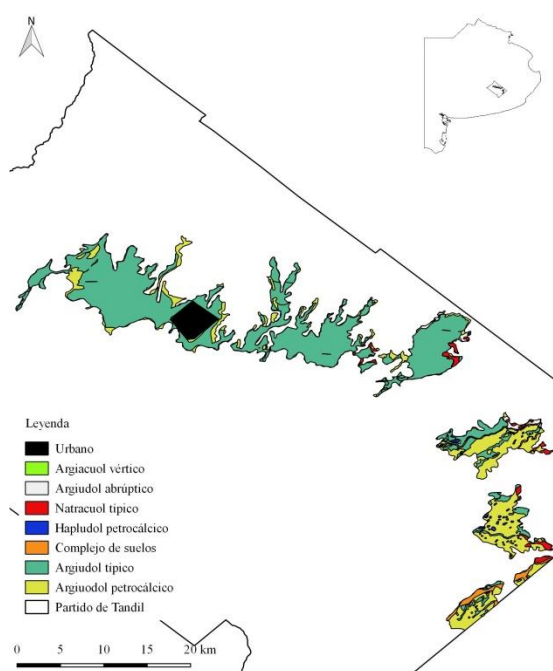
La **Tabla 8** y la **Figura 8** siguientes muestran la proporción y ubicación de los distintos suelos presentes en las unidades del compartimento de Planicies distales clasificados a nivel de Subgrupos.

**Tabla 8.** Composición edáfica de UE de las Planicie distal.

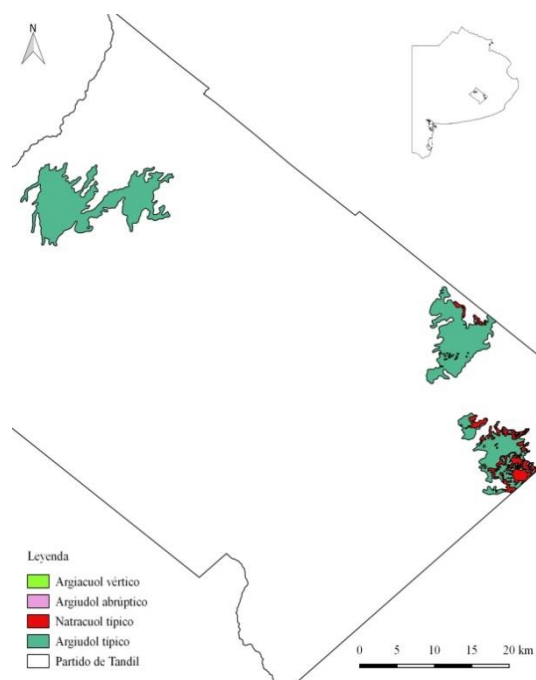
| Taxonomía<br>de suelos<br>(Subgrupos) | Planicie distal |       |           |       |           |       |          |       |           |       |             |
|---------------------------------------|-----------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|----------|-------|-----------|-------|-------------|
|                                       | PD1a            |       | PD1b      |       | PD2       |       | PD3a     |       | PD3b      |       | Total<br>PD |
|                                       | ha              | %     | ha        | %     | ha        | %     | ha       | %     | ha        | %     | %           |
| <i>Argiudol<br/>típico</i>            | 2.6813,53       | 65,33 | 21.352,58 | 89,78 | 9.673,77  | 73,85 | 6.645,87 | 59,39 | 17.780,01 | 19,41 | 61,55       |
| <i>Natracuol<br/>típico</i>           | 888,66          | 2,17  | 2.151,87  | 9,05  | 234,89    | 1,79  | 659,49   | 5,89  | 19.557,10 | 21,35 | 8,05        |
| <i>Complejos</i>                      | 905,25          | 2,21  |           |       |           |       |          |       |           |       | 0,44        |
| <i>Argiudol<br/>Abruptico</i>         | 422,7           | 1,03  | 140,34    | 0,59  |           |       |          |       | 8.299,17  | 9,06  | 2,14        |
| <i>Argiudol<br/>petrocálcico</i>      | 10.108,64       | 24,63 |           |       | 3.096,82  | 23,64 |          |       | 5.908,35  | 6,45  | 10,94       |
| <i>Hapludol<br/>petrocálcico</i>      | 196,41          | 0,48  |           |       |           |       |          |       |           |       | 0,10        |
| <i>Argiacuol<br/>Vértico</i>          | 62,03           | 0,15  | 138,11    | 0,58  |           |       |          |       |           |       | 0,15        |
| <i>Natrudol<br/>típico</i>            |                 |       |           |       | 94,05     | 0,72  | 1327,73  | 11,87 | 34.469,96 | 37,63 | 10,04       |
| <i>Natracuolf<br/>vértico</i>         |                 |       |           |       |           |       | 2556,54  | 22,85 | 1.951,13  | 2,13  | 5,00        |
| <i>Natrudol<br/>vértico</i>           |                 |       |           |       |           |       |          |       | 3.636,61  | 3,97  | 0,79        |
| Suelo<br>urbano                       | 1.644,78        | 4,01  |           |       |           |       |          |       |           |       | 0,80        |
| Superficies<br>totales                | 41.042,00       |       | 23.782,90 |       | 13.099,53 |       | 11189,63 |       | 91.602,33 |       |             |

**Figura 8.** Ubicación espacial de la composición edáfica de UE de la Planicie distal.

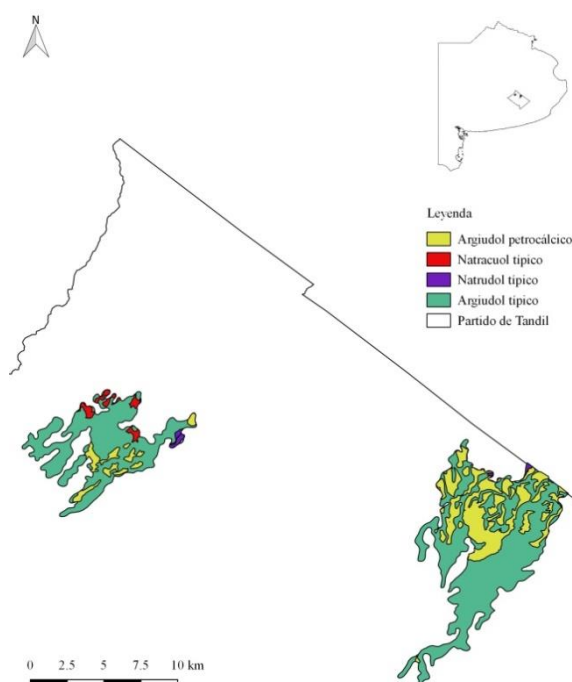
PD1a



PD1b

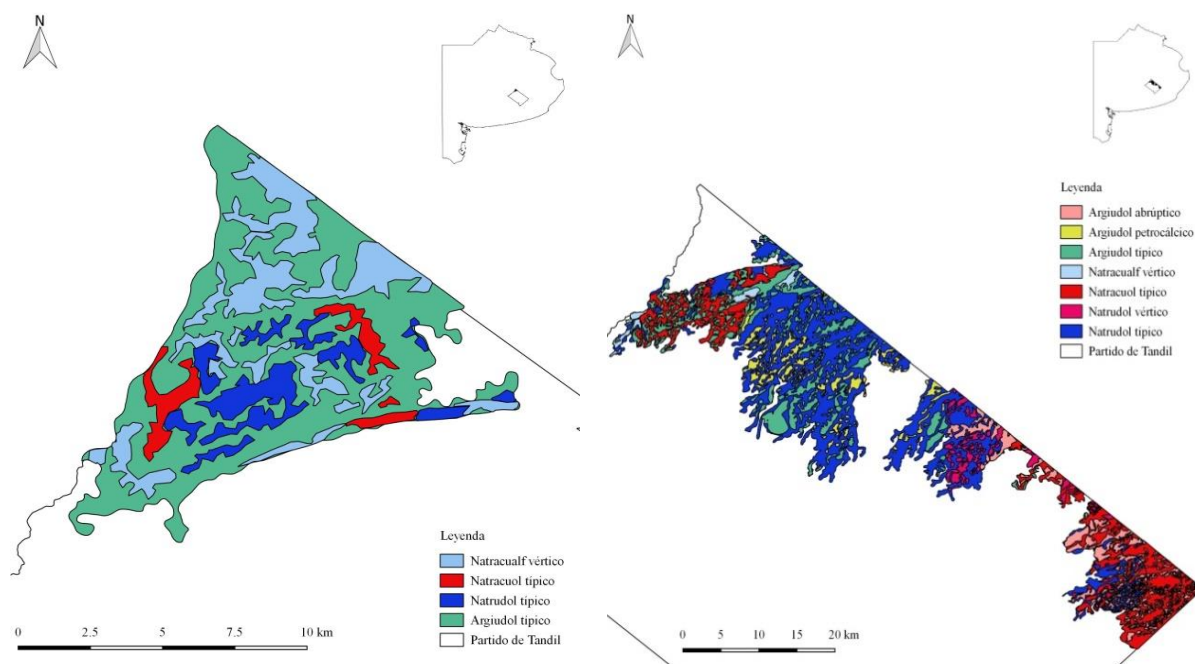


PD2



PD3a

PD3b



### ***Unidades de Aptitud de Uso (UAU) de la Planicie distal***

Los datos exhibidos en la **Tabla 9** dan cuenta que los mayores IP se encuentran en este compartimento, particularmente en las Unidades Pd1b y Pd2. Las muy buenas productividades coinciden, al igual que en el caso de las Llanuras periserranas, con la dominancia de suelos del Subgrupo *Argiudol típico* (Serie MP). Acontece lo mismo en cuanto a la aptitud de uso de las unidades pertenecientes en su mayoría a las Clases II y III. Los suelos de estas Unidades presentan como principal limitante la susceptibilidad a la erosión hídrica (subclase “e”).

En consonancia a las limitaciones descriptas para Pd3 sus capacidades de uso van desde una aptitud agrícola-ganadero (*Natrudoles típicos*) a ganadera exclusivamente debido a la posibilidad de anegamientos frecuentes (*Natracuoles típicos* y *Natracualfs vérticos*). Particularmente Pd3a exhibe suelos de aptitud agrícola (clase II y IV) en un 60% de su superficie y de aptitud para el desarrollo de actividades pecuarias y/o forestales en su restante extensión (clase VI y VII) al igual que la Unidad Pd3b.

**Tabla 9.** Índices de productividad y clases de aptitud de las tierras en UAU de la Planicie distal.

| UAU  | IP    | Productividad | CU  | %     | Subclase | Limitaciones principales                                                                                                                  | %     |
|------|-------|---------------|-----|-------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| PD1a | 74,37 | Muy buena     | III | 64,24 | es       | Pendiente, peligro de erosión hídrica, escasa profundidad del suelo por la presencia de “tosca” y baja capacidad de retención de humedad. | 65,75 |
| PD1b | 83,76 | Muy buena     | II  | 90,79 | e        | Pendiente, peligro de erosión                                                                                                             | 90,79 |

|      |       |           |    |       |    |                                                                  |        |
|------|-------|-----------|----|-------|----|------------------------------------------------------------------|--------|
|      |       |           |    |       |    | hídrica, drenaje y alcalinidad sódica.                           |        |
| PD2  | 81,33 | Muy buena | II | 70,75 | e  | Pendiente, peligro de erosión hídrica y profundidad de la tosca. | 94,30  |
| PD3a | 57,55 | Moderada  | II | 59,39 | w  | Drenaje, alcalinidad sódica y salinidad.                         | 100,00 |
| PD3b | 45,18 | Moderada  | IV | 41,60 | ws | Drenaje y alcalinidad sódica.                                    | 65,07  |

### **Unidades agroecológicas (UAE) de la Planicie distal**

Se sintetizan y conjugan en la **Tabla 10** las principales características ecológicas y agrarias que identifican como UAE a las unidades pertenecientes al compartimento de Planicie distal.

**Tabla 10.** Caracterización agroecológica de UAE PD1a, UAE PD1b, UAE PD2, UAE PD3a y UAE PD3b.

| Compartimento                        |  | Planicie distal                                                                                                                                  |                                                                                                                              |                                                |                                                                                   |                                                                                                       |
|--------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Unidades                             |  | PD1a                                                                                                                                             | PD1b                                                                                                                         | PD2                                            | PD3a                                                                              | PD3b                                                                                                  |
| Variables                            |  |                                                                                                                                                  |                                                                                                                              |                                                |                                                                                   |                                                                                                       |
| Descripción morfoedáfica             |  | Planicies, muy suavemente inclinadas, que conforman una matriz espacial que asocia micro depresiones, a veces integradas a vías de escurrimiento | Planicies, muy suavemente inclinadas, que conforman una matriz espacial que asocia vías de drenaje y lomas algo pronunciadas | Planicies de lomas planas                      | Planicies que conforman una matriz espacial con abundantes lomadas sobreimpuestas | Planicies de tendidos planos que conforman una matriz espacial con ocasionales lomadas sobreimpuestas |
| Altitud                              |  | Mínimas del orden de 110-115 m y máximas comprendidas entre los 160-170 m.                                                                       |                                                                                                                              |                                                |                                                                                   |                                                                                                       |
| Pendiente                            |  | 1 a 3 %                                                                                                                                          |                                                                                                                              | 0,5 a 1 %                                      |                                                                                   |                                                                                                       |
| Escurremient o superficial e interno |  | Medio                                                                                                                                            |                                                                                                                              | Lento a medio                                  |                                                                                   | Lento                                                                                                 |
| Drenaje                              |  | Bien drenado                                                                                                                                     |                                                                                                                              | Moderadamen te bien drenado                    |                                                                                   | Algo pobremente drenado                                                                               |
| Permeabilida d                       |  | Moderada, nivel freático profundo.                                                                                                               |                                                                                                                              | Moderadamen te lenta, nivel freático profundo. |                                                                                   | Lenta, profundidad de la napa freática más de 1,20 m.                                                 |
| Régimen de humedad                   |  | Údico                                                                                                                                            |                                                                                                                              |                                                |                                                                                   |                                                                                                       |
| Taxonomía principal                  |  | Argiudol típico                                                                                                                                  |                                                                                                                              |                                                | Natrudol típico                                                                   |                                                                                                       |
| Serie                                |  | Mar del Plata                                                                                                                                    |                                                                                                                              | Egaña                                          |                                                                                   | Rauch                                                                                                 |

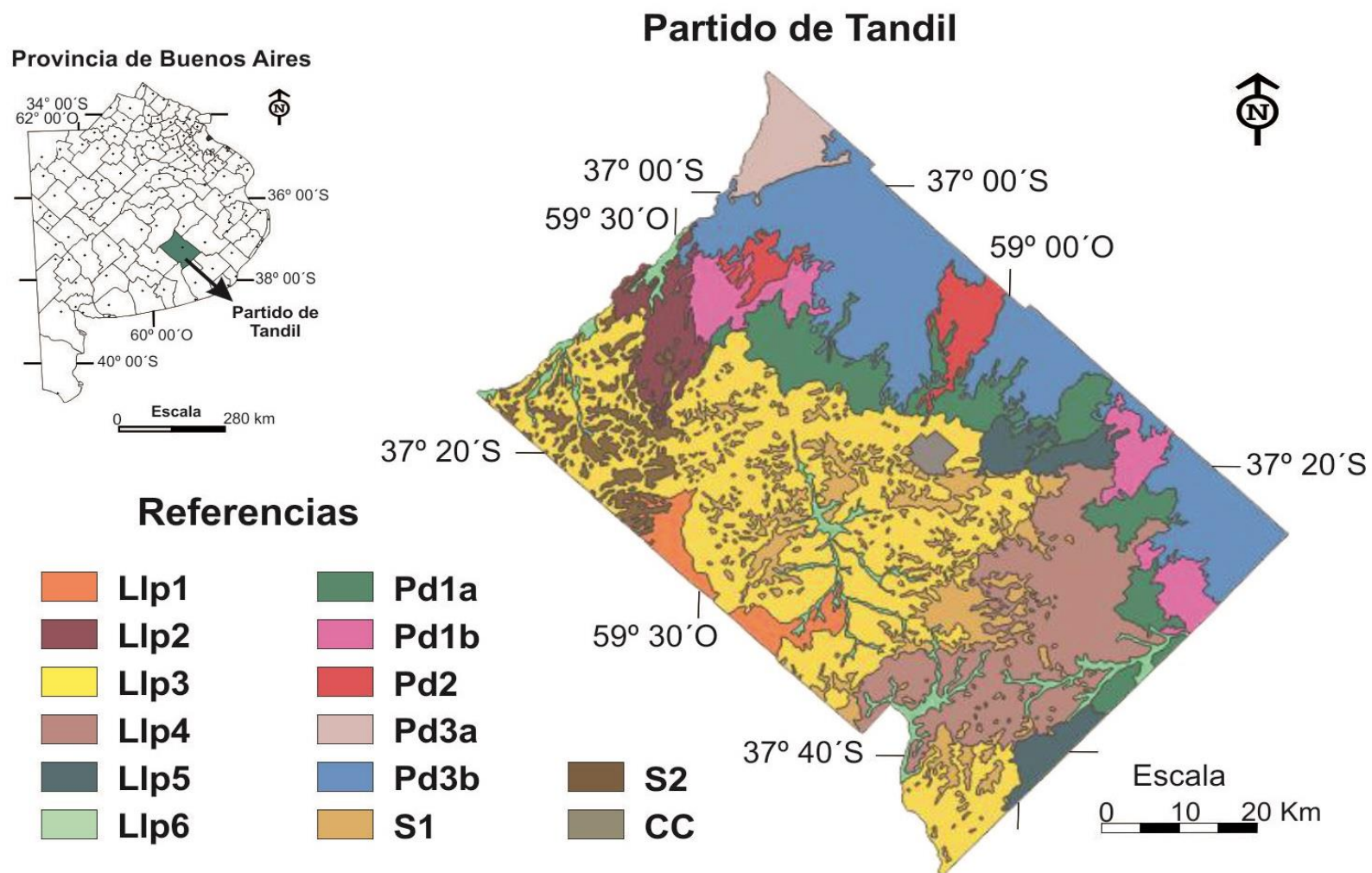
|                                              |                                                                                                                    |                               |                              |                              |       |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------|
| principal                                    |                                                                                                                    |                               |                              |                              |       |
| Vegetación<br>potencial<br>(Frangi,<br>1975) | Flechillares como especies de gramíneas pertenecientes a los géneros <i>Stipa</i> y <i>Piptochaetium</i> .         |                               |                              |                              |       |
|                                              | Pajonales de <i>Paspalum quadrifarium</i>                                                                          |                               |                              |                              |       |
|                                              | Praderas de <i>Stipa papposa</i> .                                                                                 |                               |                              |                              |       |
|                                              | Praderas húmedas de <i>Ciperáceas</i> y <i>Juráceas</i> .                                                          |                               |                              |                              |       |
|                                              | Praderas saladas de <i>Distichilis spicata</i> y <i>Distichilis scoparia</i> .                                     |                               |                              |                              |       |
|                                              | Duraznillares de <i>Solanum malacoxylon</i> .                                                                      |                               |                              |                              |       |
|                                              | Fechillares bajos de <i>Stipa trichotoma</i> .                                                                     |                               |                              |                              |       |
|                                              | Flechillares altos de <i>Stipa brachichaeta</i> .                                                                  |                               |                              |                              |       |
|                                              | <i>Menttha pulegium</i> , <i>Leontodon nudicaulis</i> y <i>Paspalum paludivagum</i> en condiciones de anegamiento. |                               |                              |                              |       |
|                                              | IP                                                                                                                 | 74,37                         | 83,76                        | 81,33                        | 57,55 |
| CU                                           | III                                                                                                                |                               | II                           |                              | IV    |
| Limitaciones                                 | Pendiente, peligro de erosión hídrica                                                                              |                               |                              |                              |       |
|                                              | Escasa profundidad del suelo                                                                                       | Alcalinida d sódica y drenaje | Escasa profundidad del suelo | Alcalinidad sódica y drenaje |       |
|                                              | Baja capacidad de retención de humedad                                                                             | Salinidad                     |                              |                              |       |

### Zonificación agroecológica

Finalmente, la delimitación de UE y UAU y su posterior combinación a partir de los procedimientos realizados posibilitó la obtención de trece UAE's con características relativamente homogéneas (**Figura 9**).



**Figura 9.** Unidades agroecológicas del partido de Tandil.





A modo de síntesis se exhiben en las **Tablas 11, 12 y 13** los principales atributos agroecológicos de las unidades de las Serranías, Llanuras periserranas y Planicies distales, respectivamente.

**Tabla 11.** Caracterización de atributos que definen a las UAE's S1 y S2.

|                                                 | Compartimento |                                                                                                                                                                                       | Sierras                                                                                                                                                                                                                                                                       |                              |
|-------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
|                                                 | UAE           | S1                                                                                                                                                                                    | S2                                                                                                                                                                                                                                                                            |                              |
| Atributos                                       |               |                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                              |
| Superficie de la UAE en el Partido (Ha)         |               | 43.467,81                                                                                                                                                                             | 14.716,74                                                                                                                                                                                                                                                                     |                              |
| Descripción morfoedáfica y geoformas dominantes |               | Formaciones serranas con abundantes afloramientos rocosos que asocian cuerpos edáficos poco evolucionados y de escasa profundidad debido a la existencia de contactos líticos.        | Formaciones serranas con lomas moderadamente onduladas, pronunciadas, escasos afloramientos rocosos y que asocian cuerpos edáficos más o menos desarrollados, algunas veces profundos y más frecuentemente de escasa profundidad debido a la existencia de contactos líticos. |                              |
| Altitud                                         |               | En general, superiores a 200 m, con máximos del orden de los 500 m.                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                              |
| Pendiente                                       |               | 3 a 10 %                                                                                                                                                                              | 1 a 10 %                                                                                                                                                                                                                                                                      |                              |
| Escurrimiento superficial e interno             |               | Rápido a muy rápido                                                                                                                                                                   | Medio a rápido                                                                                                                                                                                                                                                                |                              |
| Drenaje                                         |               | Bien a algo excesivamente drenado                                                                                                                                                     | Bien drenado                                                                                                                                                                                                                                                                  |                              |
| Permeabilidad                                   |               | Moderadamente lenta                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                              |
| Régimen de humedad                              |               | Údico                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                              |
| Taxonomía principal y superficie                |               | <i>Hapludol</i> lítico                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                               | <i>Argiudol</i> petrocálcico |
|                                                 |               | %                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                               | %                            |
|                                                 |               | 60,36                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                               | 46,34                        |
| Taxonomía secundaria y superficie               |               | <i>Argiudol</i> típico                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                               | <i>Argiudol</i> típico       |
|                                                 |               | Ha                                                                                                                                                                                    | %                                                                                                                                                                                                                                                                             | Ha                           |
|                                                 |               | 11.608,89                                                                                                                                                                             | 26,71                                                                                                                                                                                                                                                                         | 4.091,58                     |
| Vegetación potencial (Frangi, 1975)             |               | Flechillares en ambientes bien drenados con especies pertenecientes a los géneros <i>Stipa</i> y <i>Piptochaetium</i> y especies de <i>Melisa</i> , <i>Briza</i> y <i>Danthonia</i> . |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                              |
|                                                 |               | Matorrales de <i>Baccharis Tandilensis</i> .                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                              |
|                                                 |               | Arbustales de <i>Eupatorium buniifolium</i> .                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                              |
|                                                 |               | Arbustales mixtos en áreas rocosas muy heterogéneas de <i>Baccharis Tandilensis</i> , <i>Eupatorium buniifolium</i> y <i>Baccharis articulata</i> .                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                              |
|                                                 |               | Pajonales de <i>Paspalum quadrifarium</i> en ambientes imperfectamente drenados.                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                              |
|                                                 |               | Cardales de <i>Eryngium paniculatum</i> acompañada generalmente con <i>Eryngium horridum</i> .                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                              |
|                                                 |               | Pajonal-cardal de <i>Eryngium elegans</i> .                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                              |
|                                                 |               | Pajonales de <i>Cortadeira selloana</i> .                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                              |
|                                                 |               | Especies características de roquedales altos pertenecientes a los géneros <i>Plipodium</i> , <i>Pellaca</i> , <i>Elaphoglossum</i> , <i>Tillandsta</i> y <i>Plantago</i> .            |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                              |
|                                                 |               | Especies de ambientes rocosos <i>Hysterionica pinifolia</i> y <i>Eupatorium tweedianum</i> .                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                              |
| Aptitud de uso                                  |               | Comunidades linquénicas ( <i>Cladonia</i> , <i>Parmelia</i> , <i>Evernia</i> , <i>Usnea</i> , <i>Bryum</i> , <i>Grimmia</i> , <i>Tortula</i> ).                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                              |
|                                                 |               | Moderado                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                              |
|                                                 | IP            | 30,08                                                                                                                                                                                 | 41,00                                                                                                                                                                                                                                                                         |                              |

| CU           |                                                                                                  | VI | IV |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|
| Limitaciones | Profundidad, baja capacidad de retención de la humedad, pendiente y susceptibilidad a la erosión |    |    |

**Tabla 12.** Caracterización de atributos que definen a las UAE's: Llp1, Llp2, Llp3, Llp4, Llp5 y Llp6.

| Compartimento                                   |                                                                                                                   | Llanura periserrana                                                                                                                                          |                                                                                         |                                                                                       |                                                                                                                                         |                                                                 |                                   |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| UAE                                             | Llp1                                                                                                              | Llp2                                                                                                                                                         | Llp3                                                                                    | Llp4                                                                                  | Llp5                                                                                                                                    | Llp6                                                            |                                   |
| Atributos                                       |                                                                                                                   |                                                                                                                                                              |                                                                                         |                                                                                       |                                                                                                                                         |                                                                 |                                   |
| Superficie de la UAE en el Partido (Ha)         | 10.591,13                                                                                                         | 12.972,02                                                                                                                                                    | 133.756,10                                                                              | 59.189,68                                                                             | 14.771,70                                                                                                                               | 16.844,03                                                       |                                   |
| Descripción morfoedáfica y geoformas dominantes | Llanura ligera a muy ligeramente ondulada conformando una matriz espacial en la que difunden pequeñas depresiones | Llanura ligeramente ondulada conformando una matriz espacial con lomadas sobreimpuestas , que a veces presentan crestas rocosas.                             | Llanura ondulada conformando una matriz espacial con abundantes lomadas sobreimpuestas. | Llanura ondulada conformando una matriz espacial con abundantes lomas sobreimpuestas. | Llanura ondulada conformando una matriz espacial con abundantes lomas sobreimpuestas que presentan formaciones superficiales profundas. | Llanuras aluviales. Asocia complejos de suelos indiferenciados. |                                   |
|                                                 | Paisaje de lomas extendidas                                                                                       |                                                                                                                                                              |                                                                                         | Paisaje serrano ondulado con pendientes suaves, medias y largas                       |                                                                                                                                         | Paisajes suavemente ondulados que asocian áreas deprimidas.     |                                   |
| Aptitud ecológica - UE                          | Altitud                                                                                                           | Entre 200 y 300 m en el contacto con las Serranías y entre 130-170 m en el contacto con las Planicies distales.                                              |                                                                                         |                                                                                       |                                                                                                                                         |                                                                 |                                   |
|                                                 | Pendiente                                                                                                         | 1 a 3 %                                                                                                                                                      |                                                                                         |                                                                                       |                                                                                                                                         |                                                                 | Generalmente inferiores al 1%     |
|                                                 | Escurrimiento superficial e interno                                                                               | Medio                                                                                                                                                        |                                                                                         |                                                                                       |                                                                                                                                         |                                                                 | Medio y Bajo                      |
|                                                 | Drenaje                                                                                                           | Bien drenado                                                                                                                                                 |                                                                                         |                                                                                       |                                                                                                                                         |                                                                 | Bien drenado a Pobremente drenado |
|                                                 | Permeabilidad                                                                                                     | Moderada, capa freática profunda.                                                                                                                            |                                                                                         | Moderada, capa freática (mayor a 100 cm. de profundidad).                             |                                                                                                                                         | Moderado y baja                                                 |                                   |
|                                                 | Régimen de humedad                                                                                                | Údico                                                                                                                                                        |                                                                                         |                                                                                       |                                                                                                                                         |                                                                 |                                   |
|                                                 | Taxonomía principal y superficie ocupada                                                                          | Argiudol petrocálcico                                                                                                                                        |                                                                                         | Argiudol típico                                                                       |                                                                                                                                         | Complejos de suelos                                             |                                   |
|                                                 |                                                                                                                   | 72,66%                                                                                                                                                       | 74,07%                                                                                  | 77,75%                                                                                | 76,34%                                                                                                                                  | 100,00%                                                         | 50,48%                            |
|                                                 | Taxonomía secundaria y superficie ocupada                                                                         | Argiudol vértico                                                                                                                                             | Argiudol típico                                                                         | Hapludol lítico                                                                       | Hapludol petrocálcico                                                                                                                   | -                                                               | Argiudol típico                   |
|                                                 |                                                                                                                   | 15,79%                                                                                                                                                       | 22,33%                                                                                  | 9,46%                                                                                 | 15,03%                                                                                                                                  | -                                                               | 35,05                             |
|                                                 | Vegetación potencial (Frangi, 1975)                                                                               | Flechillares con especies de gramíneas pertenecientes a los géneros Stipa y Piptochaetium. Trébol blanco (Trifolium repens). Cardo negro, (Cyrsium vulgare). |                                                                                         |                                                                                       |                                                                                                                                         |                                                                 |                                   |
| IP                                              | Moderado                                                                                                          |                                                                                                                                                              |                                                                                         | Bueno                                                                                 |                                                                                                                                         | Bajo                                                            |                                   |

|              |                                        |       |       |       |       |       |
|--------------|----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              | 56,97                                  | 60,27 | 68,20 | 65,17 | 79,29 | 33,60 |
| CU           | III                                    |       |       |       |       |       |
| Limitaciones | Baja capacidad de retención de humedad |       |       |       |       |       |
|              | Escasa profundidad del suelo           |       |       |       |       |       |
|              | Susceptibilidad a la erosión hídrica   |       |       |       |       |       |
|              | Pendiente                              |       |       |       |       |       |

**Tabla 13.** Caracterización de atributos que definen a las UAE's: Pd1a, Pd1b, Pd2, Pd3a y Pd3b.

| Compartiment o         |                                                 | Planicie distal                                                                                                                                  |                                                                                                                               |                            |                                                                                  |                                                                                                      |
|------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Atributos              | UAE                                             | Pd1a                                                                                                                                             | Pd1b                                                                                                                          | Pd2                        | Pd3a                                                                             | Pd3b                                                                                                 |
|                        | Superficie de la UAE en el Partido (Ha)         | 41.042,00                                                                                                                                        | 23.782,90                                                                                                                     | 13.099,53                  | 11189,63                                                                         | 91.602,33                                                                                            |
| Aptitud ecológica - UE | Descripción morfoedáfica y geoformas dominantes | Planicies, muy suavemente inclinadas, que conforman una matriz espacial que asocia micro depresiones a veces integradas a vías de escurrimiento. | Planicies, muy suavemente inclinadas, que conforman una matriz espacial que asocia vías de drenaje y lomas algo pronunciadas. | Planicies de lomas planas. | Planicies que conforman una matriz espacial con abundantes lomas sobreimpuestas. | Planicies de tendidos planos que conforman una matriz espacial con ocasionales lomas sobreimpuestas. |
|                        | Altitud                                         | Mínimas del orden de 110-115 m y máximas comprendidas entre los 160-170 m.                                                                       |                                                                                                                               |                            |                                                                                  |                                                                                                      |
|                        | Pendiente                                       | 1 a 3 %                                                                                                                                          |                                                                                                                               | 0,5 a 1 %                  |                                                                                  |                                                                                                      |
|                        | Escurrimiento superficial e interno             | Medio                                                                                                                                            |                                                                                                                               |                            | Lento a medio                                                                    | Lento                                                                                                |
|                        | Drenaje                                         | Bien drenado                                                                                                                                     |                                                                                                                               |                            | Moderadamente bien drenado                                                       | Algo pobremente drenado                                                                              |
|                        | Permeabilidad                                   | Moderada, nivel freático profundo.                                                                                                               |                                                                                                                               |                            | Moderadamente lenta, nivel freático profundo.                                    | Lenta, profundidad de la napa freática más de 1,20 m.                                                |
|                        | Régimen de humedad                              | Údico                                                                                                                                            |                                                                                                                               |                            |                                                                                  |                                                                                                      |
|                        | Taxonomía principal y superficie                | Argiudol típico                                                                                                                                  |                                                                                                                               |                            |                                                                                  | Natrudol típico                                                                                      |
|                        |                                                 | 65,33%                                                                                                                                           | 89,78%                                                                                                                        | 73,85%                     | 59,39%                                                                           | 37,63%                                                                                               |
|                        | Taxonomía secundaria y superficie               | Argiudol petrocálcico                                                                                                                            | Natracuol típico                                                                                                              | Argiudol petrocálcico      | Natracuolf vértico                                                               | Natracuol típico                                                                                     |
|                        |                                                 | 24,63%                                                                                                                                           | 9,05%                                                                                                                         | 23,64%                     | 22,85%                                                                           | 21,35%                                                                                               |

|                                                                                                           |                                                                                                                   |                                       |                              |                              |                              |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--|
| Flechillares con especies de gramíneas pertenecientes a los géneros <i>Stipa</i> y <i>Piptochaetium</i> . |                                                                                                                   |                                       |                              |                              |                              |  |
| Pajonales de <i>Paspalum quadrifarium</i>                                                                 |                                                                                                                   |                                       |                              |                              |                              |  |
| Vegetación potencial (Frangi, 1975)                                                                       | Praderas de <i>Stipa papposa</i> .                                                                                |                                       |                              |                              |                              |  |
|                                                                                                           | Praderas húmedas de <i>Ciperáceas</i> y <i>Juráceas</i> .                                                         |                                       |                              |                              |                              |  |
|                                                                                                           | Praderas saladas de <i>Distichilis spicata</i> y <i>Distichilis scoparia</i> .                                    |                                       |                              |                              |                              |  |
|                                                                                                           | Duraznillares de <i>Solanum malacoxylon</i> .                                                                     |                                       |                              |                              |                              |  |
|                                                                                                           | Fechillares bajos de <i>Stipa trichotoma</i> .                                                                    |                                       |                              |                              |                              |  |
|                                                                                                           | Flechillares altos de <i>Stipa brachichaeta</i> .                                                                 |                                       |                              |                              |                              |  |
|                                                                                                           | <i>Mentha pulegium</i> , <i>Leontodon nudicaulis</i> y <i>Paspalum paludivagum</i> en condiciones de anegamiento. |                                       |                              |                              |                              |  |
| Aptitud de uso para fines agroproductivos - UAU                                                           | IP                                                                                                                | Muy bueno                             |                              | Moderado                     |                              |  |
|                                                                                                           |                                                                                                                   | 74,37                                 | 83,76                        | 81,33                        | 57,55                        |  |
|                                                                                                           | CU                                                                                                                | III                                   |                              | II                           | IV                           |  |
|                                                                                                           | Limitaciones                                                                                                      | Pendiente, peligro de erosión hídrica |                              |                              |                              |  |
|                                                                                                           |                                                                                                                   | Escasa profundidad del suelo          | Alcalinidad sódica y drenaje | Escasa profundidad del suelo | Alcalinidad sódica y drenaje |  |
| Baja capacidad de retención de humedad                                                                    |                                                                                                                   |                                       |                              | Salinidad                    |                              |  |

### Provisión potencial de SE de las UAE's

En función de las dos dimensiones analizadas fue posible reconocer para cada unidad territorial la capacidad para ofrecer SE. Se presenta esquemáticamente diferentes servicios que predominan potencialmente en cada UAE de acuerdo a sus potencialidades y debilidades ecosistémicas y productivas, estrechamente relacionadas. En este estudio se hizo hincapié en SE de abastecimiento y regulación:

- ~ Proveedores de SE de abastecimiento: por excelencia los proveedores de estos servicios, en base a sus condiciones ecológicas, geoformas predominantes, IP y CU elevados, son las UAE's Pd1b, Pd1a, Pd2, Llp5, Llp3, Llp4. Los servicios de abastecimiento que destacan son aquellos asociados a la actividad agrícola.
- ~ Proveedores de SE de regulación: la presencia de afloramientos rocosos, una dinámica global gobernada por una baja capacidad de retención del agua de lluvia, pendiente y la susceptibilidad a la erosión hace que el mayor porcentaje de suelos presentes S1, S2 y LLP6 resulten potencialmente beneficiosos para el suministro de servicios de regulación. Los servicios de regulación que destacan son aquellos asociados a la regulación climática local, control de la erosión, regulación hídrica, biodiversidad, amortiguación de

perturbaciones, polinización, purificación del agua, provisión de hábitat a flora y fauna silvestre.

- ~ Proveedores tanto de SE de abastecimiento y regulación: las UAE's Llp1, Llp2, Pd3a y Pd3b poseen características que las sitúan como paisajes particulares en los que potencialmente podrían convivir tanto la provisión de servicios de abastecimiento como de regulación. Por un lado, se identifican con IP moderados y CU agrícola que otorgan capacidad de producir servicios de provisión asociados a sistemas mixtos agro-ganaderos y ganadería extensiva. No obstante, por otro lado, presentan importantes limitaciones vinculadas a las características ecológicas descriptas. En el caso de las UAE's correspondientes a las Llp las limitantes se relacionan con la escasa profundidad del suelo, baja capacidad de retención de humedad y leve peligro de anegamiento. Para las UAE's de las Pd éstas se asocian al drenaje y salinidad. Los servicios de regulación se darán en aquellas áreas dentro de las unidades donde las mencionadas limitantes posean mayor presencia y estarían representados por formación del suelo, mantenimiento de la productividad, regulación de nutrientes, biodiversidad, control biológico y hábitat de flora y fauna silvestre.

## DISCUSIÓN

La solución de los conflictos sobre el uso de la tierra es indispensable para el desarrollo sostenible. En este contexto la planificación en el uso de la tierra deviene como instrumento para lograr un mayor aprovechamiento de las tierras en función de la sostenibilidad económica, ecológica y social (Murillo y Barral, 2020). Según Suárez Venero (2014) la actividad agrícola se beneficiará en la medida que se logre un uso más racional de los recursos naturales, por medio de la planificación y el ordenamiento del espacio, además del aumento de la compatibilidad entre las exigencias de los cultivos y las condiciones agroecológicas del medio, aspecto que logran los estudios de la zonificación agroecológica. Se torna necesario enfocar el análisis de los impactos ambientales producidos por la intensificación agrícola en un marco conceptual que integre una perspectiva ecológica, social, económica e institucional, basada en el reconocimiento de la gran interdependencia existente entre ellas (Titttonnel, 2020).

En este contexto la ZAE introduce una base metodológica útil, transferible y necesaria para la evaluación de las características ecológicas y productivas como punto de partida para una agricultura sostenible que considere las potencialidades y limitaciones de cada área.

Al aplicar la metodología descrita en el área de estudio se obtuvieron trece UAE's que pueden ser caracterizadas tanto por su aptitud ecológica - Unidades Ecológicas - (descripción morfoedáfica, altitud, pendiente, escurrimiento superficial e interno, drenaje, permeabilidad, régimen de humedad; taxonomía principal, serie principal, vegetación potencial) como por su aptitud de uso para fines agroproductivos – Unidades de Aptitud de Uso - (Índice de Productividad y Clasificación por Capacidad de Uso).

Con respecto a UAE's pertenecientes a las áreas serranas se observa que en UAE-S1 la importante presencia del Subgrupo Hapludol lítico en el 60 % de su superficie asociado a afloramientos rocosos determina una dinámica global gobernada por una baja capacidad de retención del agua de lluvia. A su vez, la presencia de contactos líticos genera que el mayor porcentaje de suelos presentes en esta UAE resulte apto para el desarrollo de actividades pecuarias y/o forestales así como para recreación, conservación de la flora y fauna silvestres. Destacan como principales limitaciones en esta unidad la profundidad del solum por presencia de roca a los 15 cm. de profundidad, la baja capacidad de retención de la humedad, pendiente y susceptibilidad a la erosión. La escasa aptitud agrícola de los suelos identificados en esta UAE junto con su bajo IP dificulta el avance del proceso de agriculturización. En

consecuencia UAE-S1 presenta una elevada factibilidad para la implementación de programas ambientales de conservación que limiten el avance de actividades económicas intensivas.

Por su parte, la UAE-S2 exhibe como dominante, en un 46 % de su superficie, al Subgrupo de suelos Argiudol petrocálcico. Sus limitaciones de uso parten de la escasa profundidad del suelo por la presencia de “tosca” y una baja capacidad de retención de humedad. La composición edáfica de UAE-S2 da lugar a un IP moderado y una aptitud agrícola (clase IV). Destaca en esta unidad la presencia del Subgrupo Argiudol típico (perfil bien desarrollado, oscuro, profundo, bien drenado) en un 27,8 % de la superficie vinculada espacialmente a los límites de la unidad con la Llanura periserrana. La existencia de Argiudoles típicos en UAE-S2 genera que, a pesar de la abundancia de afloramientos rocosos, las diferentes superficies geomórficas asocien suelos poco profundos y comunidades de plantas con fisonomía de pastizal. Esta característica de UAE-S2 sumada a la intensificación agrícola consolidada en el compartimento lindante (Llanura periserrana) motoriza la expansión de la actividad agrícola a costas de un alto riesgo de erosión hídrica, afectando las cabeceras de cuencas.

En el caso del compartimento de Llanuras periserranas la dominancia de Argiudoles típicos en las Unidades Llp3, Llp4 y Llp5 coincide con los IP más elevados siendo sus productividades categorizadas como buenas. En orden decreciente la productividad de las unidades Llp1 y Llp2, donde predomina el Subgrupo Argiudol petrocálcico, se clasifica como moderada. Los valores más bajos de IP se hayan en Llp6 con una productividad baja debida en gran medida a la presencia de suelos indiferenciados en gran parte de su superficie. Todas las unidades del compartimento poseen una aptitud de uso de clase III, es decir, agrícola cuyas principales limitaciones se localizan dentro de la zona de desarrollo radical. Las mismas están relacionadas a la susceptibilidad a la erosión hídrica, a la escasa profundidad del suelo por la presencia de “tosca” o a la baja capacidad de retención de humedad según el Subgrupo y el paisaje dominante.

En relación a las UAE`s de la Planicie distal: los datos exhibidos dan cuenta que los mayores IP se encuentran en este compartimento, particularmente en las Unidades Pd1b y Pd2. Las muy buenas productividades coinciden, al igual que en el caso de la Llanura periserrana, con la dominancia de suelos del Subgrupo Argiudol típico. Acontece lo mismo en cuanto a la aptitud de uso de las unidades pertenecientes en su mayoría a las Clases II y III. Los suelos de estas Unidades presentan como principal limitante la susceptibilidad a la erosión hídrica (subclase “e”). En consonancia a las limitaciones descriptas para Pd3 sus capacidades de uso



van desde una aptitud agrícola-ganadero (Natrudoles típicos) a ganadera exclusivamente debido a la posibilidad de anegamientos frecuentes (Natracuoles típicos y Natracualfs vérticos). Particularmente Pd3a exhibe suelos de aptitud agrícola (clase II y IV) en un 60 % de su superficie y de aptitud para el desarrollo de actividades pecuarias y/o forestales en su restante extensión (clase VI y VII) al igual que la Unidad Pd3b.

Conocer la distribución de los servicios en los ecosistemas resulta necesario para la definición de prioridades en la gestión (Syrbe et al., 2017). El análisis de la provisión de SE resulta útil para evaluar las consecuencias ambientales de las modificaciones descriptas.

En el partido de Tandil se observa cómo el contexto de transformaciones agroproductivas resulta propicio para la provisión de servicios de abastecimiento en la mayor parte de su superficie. Dichos servicios poseen un reflejo en el mercado y por lo tanto son los considerados en la toma de decisiones (Kragt y Robertson, 2014). Por consiguiente resulta afectada directamente la sustentabilidad ecológica del partido de Tandil y por ende la capacidad productiva de los agroecosistemas. Lo anterior condice con lo expresado en el MEA (2005) donde se expone que la destrucción de hábitats naturales para producir alimentos u otros productos agrícolas destinados al consumo humano o animal (tal el caso de los afamados *commodities*) representan la más severa y extendida amenaza a la biodiversidad global. En este sentido surge la necesidad de implementar un sistema de seguimiento de los cambios en el nivel de provisión de SE que vuelva factible su incorporación a la planificación del territorio y la toma de decisiones (Paruelo, 2011; Wolff et al., 2015).

La estabilidad de los sistemas paisajísticos presentes en el Partido y su capacidad de proveer SE depende de los usos y de su evolución temporal. En aquellas áreas con mayor aptitud de agrícola se produce un ingreso de insumos al paisaje que permite modificar las condiciones naturales para maximizar la obtención de cultivos (*commodities*) (Wingeyer et al., 2015). En contraposición disminuye la capacidad del sistema, por ejemplo, para la provisión de especies medicinales, apicultura, aprovechamiento forestal, entre otros. Se observa en estas mismas áreas procesos generadores de impactos como: fragmentación de parches serranos en superficies cada vez más pequeñas con la consecuente pérdida de biodiversidad; falta de conectividad entre los parches debido a la dominancia de una agricultura intensiva y altamente tecnificada en superficies que encierran a las serranías y una uniformidad genética del espacio rural que aumenta la vulnerabilidad del ecosistema ante patógenos o plagas (Bilenca et al., 2012).

Resulta vital una adecuada planificación ambiental territorial de las UAE que considere tanto sus potencialidades como debilidades y amenazas (Murillo y Barral, 2020). Se evidencia una elevada vulnerabilidad ante actividades extractivas como la agricultura en las unidades serranas que las disponen como unidades estratégicas para la conservación. Las aptitudes ecológicas y agrarias han dado lugar una extensa e intensa modificación en las UAE correspondientes a los compartimentos de Llanuras y Planicies Distales. Dichas unidades no presentan grandes impedimentos para el avance de la actividad agrícola puesto que los insumos tecnológicos intensivamente empleados son capaces de transformar la identidad ecosistémica en pos de objetivos eminentemente económicos. En estos casos un ordenamiento territorial equilibrado permitiría definir sistemas mixtos que combinen parches de vegetación nativa con agricultura y ganadería que proporcionen la mayor rentabilidad social y tomen en cuenta los efectos ambientales de largo plazo (Bengtsson et al., 2019).

Con la finalidad de coleccionar, generar e interpretar información de aquellos recursos que permitan evaluar el uso de la tierra y su deterioro, el uso combinado de sistemas de información geográfica (SIG) y sensores remotos o teledetección juega un rol destacado para el mapeado, interpretación, cálculo de áreas y monitoreo (Syrbe et al., 2017).

La gestión del territorio (o su ausencia) se encuentra focalizada en la provisión de aquellos servicios de abastecimiento obtenidos intensivamente en detrimento de la provisión de servicios de regulación. Es importante el desarrollo de normativas que fomenten prácticas sustentables adecuadas para cada Up y permitan conservar sus funciones ya que los cambios de uso del suelo pueden ser irreversibles.

---

## CAPÍTULO II - DETECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE CAMBIOS EN EL USO DE LA TIERRA MEDIANTE SENSORES REMOTOS

---

## **OBJETIVO ESPECÍFICO**

- II. Identificar y analizar comparativamente las transformaciones en los usos del suelo en el partido de Tandil y sus Unidades Agroecológicas evidenciadas entre 1989, 2004 y 2019, a partir del uso de imágenes satelitales.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Los cambios de uso de la tierra normalmente se presentan de manera local pero dichos cambios pueden llegar a afectar procesos atmosféricos y climáticos globales. Por este motivo su estudio y análisis se toma como referencia tanto en estudios ambientales y climáticos como en el diseño de políticas públicas para el manejo sostenible de los recursos naturales.

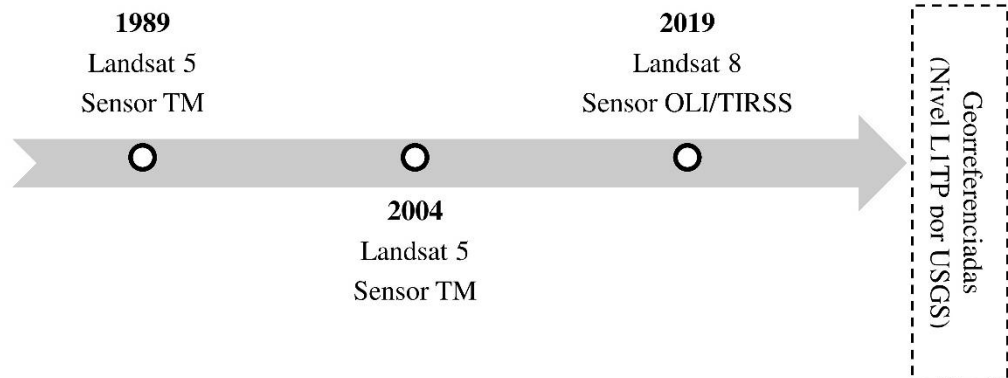
Para la evaluación de las transformaciones territoriales se han propuesto diferentes metodologías que se apoyan en el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y percepción remota siendo el procedimiento más confiable el estudio de la dinámica espacio-temporal de la cobertura de la tierra mediante clasificación de imágenes satelitales (López-Vazquez et al., 2015).

Se describen a continuación las diferentes etapas llevadas a cabo para el análisis de los cambios en los usos del suelo mediante sensores remotos (**Figura 10**).

**Figura 10.** Diagrama esquemático del procedimiento metodológico.

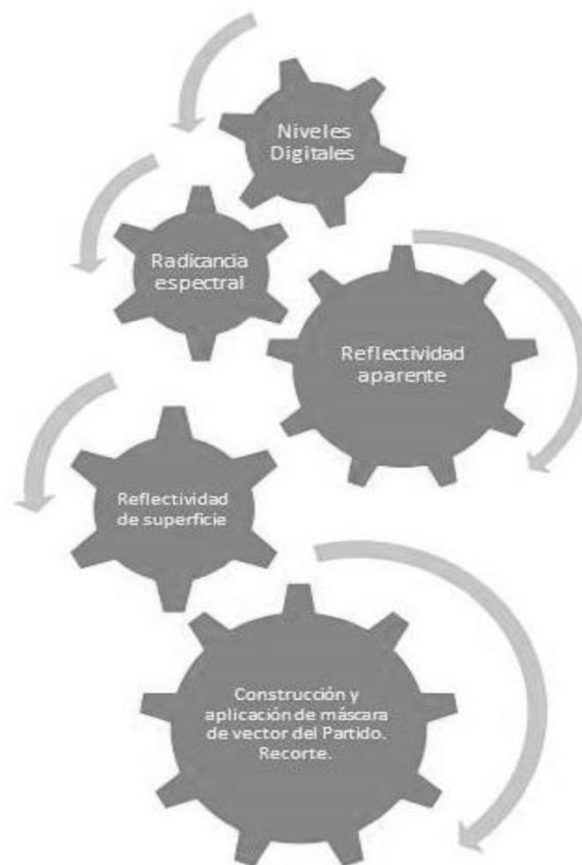
ADQUISICIÓN DE DATOS

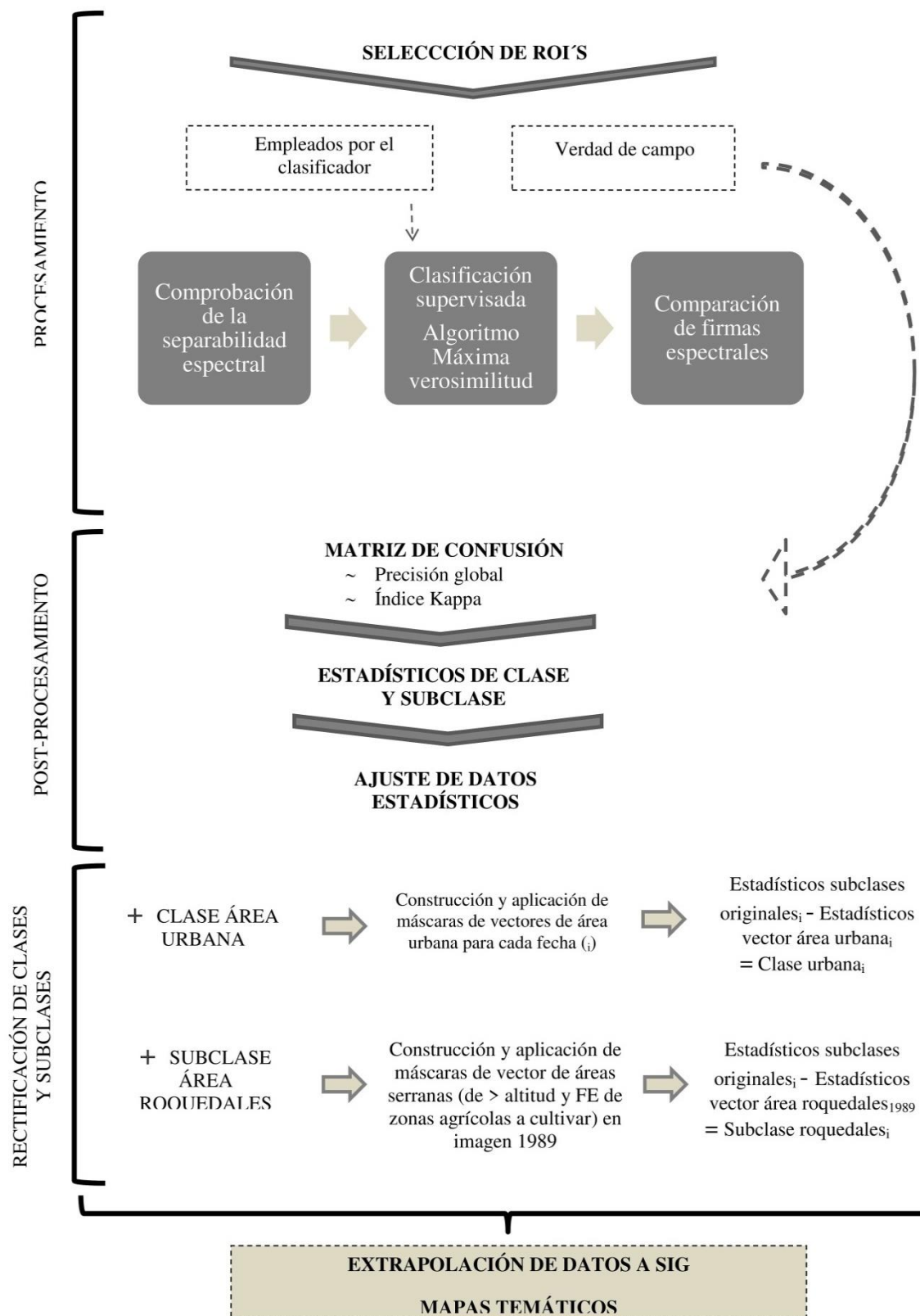
## IMÁGENES SATELITALES



PREPROCESAMIENTO

## CORRECCIÓN RADIOMÉTRICA Y ATMOSFÉRICA

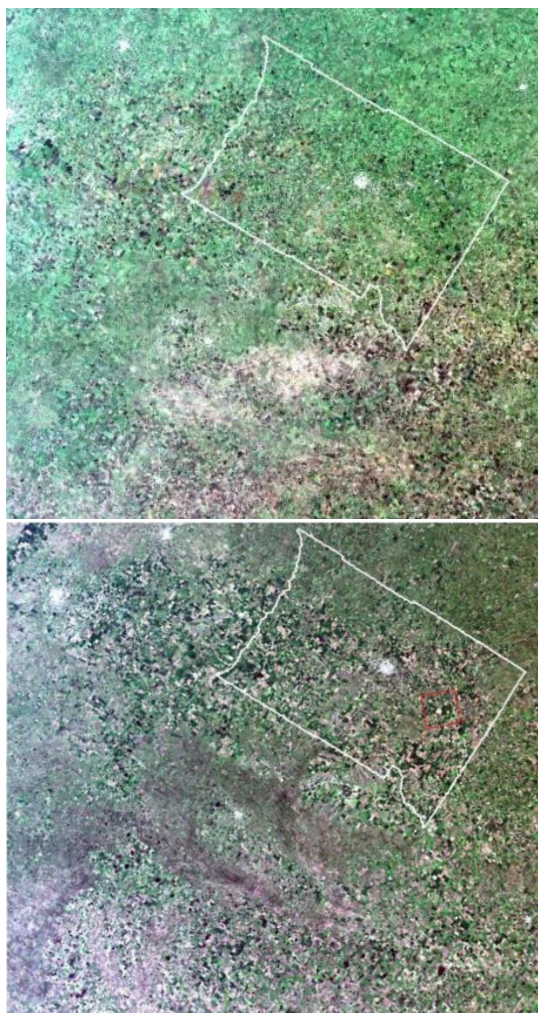




### Adquisición de datos

Con el objetivo de conocer los principales cambios en los usos del suelo en el partido de Tandil y la dinámica de dichas transformaciones en cada UAE se realizó una comparación de tres imágenes satelitales con Path/Row 225-86. Las mismas fueron adquiridas del portal de imágenes satelitales EarthExplorer<sup>6</sup> del Servicio Geológico de los Estados Unidos. Las imágenes del 17 de marzo de 1989 y del 7 de febrero de 2004 fueron captadas por el sensor TM del satélite Landsat 5 y la imagen del 16 de febrero de 2019 fue obtenida por el sensor OLI del satélite Landsat 8 (**Figura 11**).

**Figura 11.** Imágenes Landsat 5 de 1989 (imagen superior) y 2004 (segunda imagen) (composición color natural “3, 2, 1”) e imagen Landsat 8 de 2019 (imagen inferior) (composición “4, 3, 2”).



---

<sup>6</sup> <https://earthexplorer.usgs.gov/>





Ambos satélites presentan ciertas diferencias técnicas observables en la **Tabla 14**. Las bandas espectrales del sensor OLI proporcionan una mejora de los instrumentos de las misiones Landsat anteriores debido a la incorporación de dos nuevas bandas espectrales: un canal profundo en el azul visible (banda 1), diseñado específicamente para estudios costeros y un nuevo canal infrarrojo (banda 9) para la detección de nubes cirrus. Adicionalmente, una nueva banda de control de calidad se incluye con cada producto de datos generado proporcionando información más detallada sobre la presencia de características tales como las nubes, agua y nieve. Por otra parte, el sensor TIRS recoge datos de otras dos bandas espectrales en la región térmica, anteriormente cubierto por una única banda de ancho espectral en Landsat 4-7, midiendo la energía térmica de la superficie de la tierra (es decir, calor) (USGS, 2013).

Para el procesamiento de las imágenes se empleó el software ENVI Classic 5.3 (Research System Inc., Boulder, CO, USA). Las imágenes elegidas corresponden a la misma estación de crecimiento y época del año para evitar diferencias espectrales significativas.

**Tabla 14.** Comparación de principales características de imágenes Landsat 5 (Sensor TM) y Landsat 8 (Sensor OLI y TIRS).

| Sensor | Landsat 5             |               |            | Landsat 8             |               |            | Sensor           |
|--------|-----------------------|---------------|------------|-----------------------|---------------|------------|------------------|
|        | Nº de banda espectral | $\mu\text{m}$ | Resolución | Nº de banda espectral | $\mu\text{m}$ | Resolución |                  |
| Mapa   | 1                     | 0.45 - 0.52   | 30 m       | 1                     | 0.433–0.453   | 30 m       | Imágenes Landsat |
|        | 2                     | 0.52 - 0.60   | 30 m       | 2                     | 0.450–0.515   | 30 m       |                  |

|   |               |       |    |             |       |
|---|---------------|-------|----|-------------|-------|
| 3 | 0.63 - 0.69   | 30 m  | 3  | 0.525–0.600 | 30 m  |
| 4 | 0.76 - 0.90   | 30 m  | 4  | 0.630–0.680 | 30 m  |
| 5 | 1.55 - 1.75   | 30 m  | 5  | 0.845–0.885 | 30 m  |
| 6 | 10.40 - 12.50 | 120 m | 6  | 1.560–1.660 | 30 m  |
| 7 | 2.08 - 2.35   | 30 m  | 7  | 2.100–2.300 | 30 m  |
|   |               |       | 8  | 0.500–0.680 | 15 m  |
|   |               |       | 9  | 1.360–1.390 | 30 m  |
|   |               |       | 10 | 10.6-11.2   | 100 m |
|   |               |       | 11 | 11.5-12.5   | 100 m |

Thermal  
Infrared  
(TIRS)

Fuente: USGS, 2021<sup>7</sup>.

### Justificación de la selección de fechas de las imágenes satelitales

La selección de las fechas de adquisición de las imágenes se encuentra fundamentada en diferentes aspectos. Por un lado, se seleccionó el año 1989 como primer punto de análisis a partir de la necesidad de contar con una imagen perteneciente al contexto productivo previo a la eclosión de un importante proceso de cambio tecnológico y de una nueva lógica empresarial vinculada a la siembra directa.

Hasta entonces los sistemas “mixtos” permitieron que los campos pampeanos mantuvieran, y hasta aumentaran, su calidad en nutrientes y materia orgánica con ciclos de cultivos y pasturas (ganadería). Manejados de manera extensiva, prácticamente sin insumos externos, emulaban hasta los años setenta/ochenta aquellos manejos recomendados por la producción orgánica (Pengue, 2014). La gestión característica era la rotación agrícola-ganadera en la cual el suelo era ocupado durante 4-5 años por cultivos anuales y luego por un período similar se implantaba una pastura basada en mezclas de gramíneas y leguminosas perennes (Paruelo et al, 2008; SIIA, 2017).

Luego, en los años noventa, los procesos de liberalización de los mercados posibilitan la reducción de los precios de los insumos y maquinarias agrícolas y las reformas llevadas a cabo implicarían profundos cambios tecnológicos. Por ejemplo en: las formas de producción; en el uso de la tierra y los recursos naturales, en la intensificación en el uso de insumos; en el manejo del capital económico y financiero y de los recursos humanos (DataBank, 2017).

<sup>7</sup> [https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-satellite-missions?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_com](https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-satellite-missions?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_com)

Anlló et al., (2015) explican en relación al desempeño del sector desde mediados de la década de 1990 que lo que se produce es la consolidación de un nuevo paradigma cuyos primeros indicios comienzan a producirse en la década de 1970. A su entender el agotamiento del sistema previo induce diversas respuestas que van sentando las bases de las tecnologías que luego serían básicas en el nuevo modelo (mayor mecanización especialmente tractores-, híbridos, primeros avances en siembra directa, uso más intensivo de biocidas y fertilizantes). No obstante, es en la década de 1990 que el incipiente dinamismo de los mercados internacionales, más las reformas en la economía local -con su correspondiente reflejo en los precios relativos-, producen las condiciones para que se lleve a cabo un abrupto proceso de capitalización caracterizado por modernización tecnológica, concentración productiva y creciente endeudamiento.

Luego, con la salida de la convertibilidad, finalmente se da la consolidación del nuevo modelo productivo y tecnológico que mejora notablemente la rentabilidad del sector (Bisang et al., 2015). Por este motivo, el empleo de una imagen satelital del año 2004 posibilita la observación de aquellos impactos más evidentes que comienzan a darse (más allá de la mitad de la década de los 90) con el arraigo del ingreso de cultivos genéticamente modificados, en especial las sojas RR y el maíz asociadas al herbicida glifosato y su manejo tecnológico asociado.

A su vez, comienza en la década del 2000 un proceso de expansión de la producción el cual se refleja tanto en las mejoras de los rendimientos como en la extensión de la frontera agrícola (SIIA, 2017). Con respecto a esto último, por un lado, los cambios tecnológicos permiten el cultivo en zonas no tradicionales, especialmente la siembra directa permite trabajar con menores niveles de humedad; por el otro las variedades transgénicas permiten la realización de dos cosechas anuales lo cual significa una duplicación del área utilizable (Dileo, 2019).

Particularmente, desde el año 2004, la tendencia en el cambio de los precios internacionales de las materias primas genera una presión de demanda de tierras para cultivos que motoriza un proceso de agricultura continua (agriculturización) y “desganaderización” de la Región (Pengue, 2014) en el cual es decisivo el papel de la soja (Leavy y Allen, 2015). Desde su introducción en la década de 1970 llega a representar más de la mitad de la superficie sembrada y del volumen producido a mediados de la década del 2000 (SIIA, 2017).

En este contexto, las consecuencias ambientales en relación a la estabilidad de la estructura de los suelos, pérdida de nutrientes, disponibilidad de materia orgánica y pérdida de riqueza biótica comienza a hacerse visible (Viglizzo, 2004; Viglizzo, 2010; Pengue, 2014).

Por último, en relación a las innovaciones, en los años recientes se avanza en la introducción de la ‘agricultura de precisión’ (Dileo, 2019). La incorporación de las complejidades tecnológicas implica que las producciones requieran un uso más intensivo de capital y una escala mínima de explotación mayor lo cual induce a la concentración de la producción. Por consiguiente, la selección del año 2019 responde, por un lado, a la necesidad de una imagen actualizada. Por otro lado, es preciso constatar las tendencias observadas por diversos autores (Modern, 2016); Lara et al, 2019) que sugieren para la fecha un alto impacto sobre el funcionamiento ecosistémico acrecentados a medida que los planteos agrícolas y ganaderos se vuelven más intensivos. Principalmente éstos están asociados a cambios en el uso del suelo, la intensificación de las prácticas productivas y el riesgo de contaminación por nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo) y por plaguicidas (Viglizzo, 2014).

La detección de cambios a partir de una secuencia multi-temporal de imágenes de satélite es unas de las aplicaciones más importantes en teledetección. Este proceso requiere de una adecuada corrección radiométrica y geométrica de las imágenes, de manera que los cambios detectados sólo sean atribuibles a verdaderas modificaciones del paisaje y para evitar tener en consideración la variación intrínseca a la captura de los datos (Ambrosio et al, 2002; Phiri y Morgenroth, 2017; Salinas-Castillo et al., 2020). En consecuencia a continuación se detallan las tres etapas en las que se ha dividido el procesamiento: pre procesamiento, procesamiento propiamente dicho y post procesamiento.

### **Pre-procesamiento de imágenes para la clasificación**

La etapa de pre procesamiento constó del mejoramiento de la imagen basada en la modificación de contrastes y pre-visualización de la combinación de bandas de manera tal que permita una mejor separabilidad entre elementos (coberturas del terreno).

Las imágenes obtenidas fueron preprocesadas por el Sistema de Generación de Productos Landsat. Los tres casos corresponden a un nivel de procesamiento L1TP por lo cual las imágenes se encuentran con orientación hacia el norte, están georreferenciadas en la proyección Universal Transverse Mercator (UTM), Zona 21 Sur, y datum de 1984 del Sistema

Geodésico Mundial (WGS-84), además de estar calibradas radiométricamente en ND (USGS, 2020).

Previamente al análisis propiamente dicho de la información provista por las imágenes fue necesario llevar a cabo una corrección radiométrica y atmosférica.

La señal recibida por los sensores se codifica en diferentes valores de Números o Niveles Digitales ( $ND_\lambda$ ) que son proporcionales a la radiancia recibida por el sensor de satélite. Sin embargo, esos valores no son comparables entre distintas bandas o en el tiempo.

Por un lado, es necesario considerar los efectos de la interacción de la radiación electromagnética con los objetos y la atmósfera, que depende del sistema superficie-atmósfera, y corregirlos previamente a la obtención de la información. Los principales errores de las imágenes se originan por distorsiones debidas a la plataforma (altitud, cabeceo), a la rotación terrestre, al sensor (distorsiones al borde de la imagen, distinta codificación de la señal recibida), a la topografía y al efecto atmosférico causado por aerosoles, vapor de agua y gases.

Por otro lado, existen variaciones debidas a las condiciones atmosféricas, el ángulo solar y el ángulo de visión del sensor que difieren entre las imágenes de distintas fechas (Ambrosio et al., 2002; Cheng et al., 2005). De esta manera se logra la obtención de magnitudes físicas comparables y entre las imágenes multitemporales lo cual es decisivo al momento de estudiar cambios superficiales mediante datos de teledetección (Pons et al., 2014).

A partir de los valores de  $ND_\lambda$  se obtuvieron los valores de radiancia espectral ( $L_{\lambda sat}$ ) que es la magnitud detectada por el sensor. Para las imágenes obtenidas desde el USGS se aplican los parámetros dados en los metadatos, que coinciden con los aportados por Chander et al. (2009), obtenidos a partir de las nuevas curvas de calibración radiométricas temporales (Chander y Markham, 2003; Chander et al., 2007; Chuvieco, 2016). Dichos metadatos se encuentran representados por los coeficientes radiométricos gain o ganancia ( $G_\lambda$ ) y bias o sesgo ( $B_\lambda$ ) para cada una de las bandas (excepto la banda térmica) y para los distintos sensores (Lara et al., 2019).

$$L_{\lambda sat} = G_\lambda ND_\lambda + B_\lambda$$

Dichos valores de radiancia, posteriormente, permitieron obtener los valores de reflectividad a tope de la atmósfera ( $\rho_{\lambda TOA}$ ) o reflectividad aparente. Para ello fueron normalizados llevándolos de energía reflejada a valores de reflectividad que expresan la relación entre el

flujo incidente y el reflejado por una superficie (Chuvieco, 2008). Son considerandos los efectos de iluminación derivados de la posición solar (ángulo de iluminación solar y distancia Tierra-Sol) y de la posición del sensor. Los parámetros  $d$  y  $E_{0,\lambda}$  están recogidos en el artículo de Chander et al. (2009) y el ángulo cenital solar en los metadatos de la propia imagen.

$$\rho_{\lambda toa} = \frac{\pi L_{\lambda sat}}{E_{\lambda 0} d^{-2} \cos \theta_z}$$

Siendo:  $\rho_{\lambda toa}$ : reflectividad a tope de la atmósfera;  $L_{\lambda sat}$ : radiancia espectral ( $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ );  $E_{\lambda 0}$ : irradiancia solar exoatmosférica espectral ( $W \cdot m^{-2} \cdot mm^{-1}$ );  $d$ = distancia Tierra-Sol en el momento de la toma de la imagen, expresada en unidades astronómicas (ua); y  $\theta_z$ : ángulo cenital solar ( $z$ ).

La  $\rho_{\lambda toa}$  o reflectividad aparente, no obstante, no representa correctamente las características de la superficie pues no considera el efecto atmosférico. En este caso la señal medida por el sensor resulta de una función del nivel de energía de la radiación incidente sobre el pixel y de las propiedades reflectivas de éste. Es necesario introducir un modelo de corrección atmosférica para conocer la energía que ilumina la superficie y la fracción reflejada por esta para calcular la reflectividad de superficie ( $\rho_{\lambda sup}$ ). Durante el paso de la energía a través de la atmósfera hacia la superficie, que luego es reflejada y finalmente llega al sensor, el flujo inicial de energía se reduce. Ese proceso de reducción de la energía se tiene en cuenta a través de la transmisividad de la atmósfera ( $T_\lambda$ ) que depende del poder de atenuación de las moléculas con respecto a la energía incidente a una dada longitud de onda (punto central de cada banda ( $\lambda$ )). Representa la absorción por parte de los gases atmosféricos y de la dispersión Rayleigh (Brizuela et al., 2007). Entonces, para el cálculo de la  $\rho_{\lambda sup}$  se empleó el Modelo Simple de Transferencia Radiativa (Kaufman, 1989) asumiendo también una superficie uniforme Lambertiana bajo condiciones libre de nubes (Schroeder et al., 2006):

$$\rho_{\lambda sup} = \frac{\rho_{\lambda toa} - \rho_{\lambda toamin}}{T_{\lambda v} T_{\lambda z}}$$

Siendo:  $\rho_{\lambda toa}$ : reflectividad a tope de la atmósfera;  $\rho_{\lambda toamin}$ : es la reflectividad mínima en un área donde sólo hay contribución de la atmósfera (área de sombra o agua según la región espectral), para su estimación se utiliza el valor mínimo de ND del histograma (se elige como ND mínimo el valor que primero supere la cantidad de 200 píxeles), utilizando solo la parte central de la imagen (para evitar valores anómalos en los bordes); las transmisividades

atmosféricas  $T_{\lambda v}$ : coeficiente de transmisión atmosférica en el camino Sol-Tierra y  $T_{\lambda z}$ : coeficiente de transmisión atmosférica en el camino Tierra-sensor.

Posteriormente a las tres imágenes se les aplicó una máscara del vector del partido de Tandil (obtenido con el software Qgis 3.8.1) con la finalidad de obtener un recorte del área de estudio.

De manera tal de obtener un primer acercamiento al contenido de la imagen y realizar un análisis visual se efectuó una composición falso color para lograr discriminar usos del suelo. La combinación se obtuvo con las bandas del infrarrojo cercano, rojo y verde (4, 3, 2 para las imágenes correspondientes al sensor TM y 5, 4, 3 para la imagen obtenida del sensor OLI) (Vega Guzmán et al., 2008; Jones y Vaughan, 2010).

### **Procesamiento de imágenes: clasificación supervisada**

Entre las técnicas utilizadas para diferenciar coberturas vegetales se destaca el proceso de clasificación digital que implica categorizar una imagen multibanda. La imagen multibanda se convierte en otra imagen, del mismo tamaño y características originales, con la diferencia de que el nivel digital que define cada pixel no tiene relación con la radiancia detectada por el sensor, sino que se trata de una etiqueta que identifica la categoría asignada a ese pixel (Chuvieco, 2002).

Desde la perspectiva metodológica la clasificación digital constituye uno de los procedimientos más utilizados en teledetección para transformar los datos contenidos en las imágenes satelitales en información temática (Argañaraz y Entraigas, 2011). Se destacan numerosos estudios en regiones latinoamericanas (Beuchle et al., 2015; Piazza et al., 2016; Jaramillo y Antunes, 2018) y argentinas (Lara y Gandini, 2014; Volante et al., 2015; Vazquez et al., 2019; Daga et al., 2020; Vazquez y Somoza, 2020).

Por este motivo, una vez calibradas radiométrica y atmosféricamente las imágenes, se procedió a realizar clasificaciones supervisadas empleando el algoritmo Clasificador de Máxima Verosimilitud (Richards, 1999) (Maximum Likelihood Classifier, MLC) para identificar las distintas coberturas de interés. El mismo asume que las estadísticas para las clases en cada banda se distribuyen normalmente y calcula la probabilidad de que un píxel dado pertenezca a una clase específica. Esto permite describir esa categoría por una función de probabilidad, a partir de su vector de medias y matriz de varianza y co-varianza. Cada píxel se asigna a la clase que tiene la mayor probabilidad (es decir, la máxima verosimilitud). Si la probabilidad más alta es menor que un umbral el píxel permanece sin clasificar. Se trata



de uno de los métodos más empleados en teledetección ya que presenta una elevada robustez y la capacidad de ajustarse con mayor rigor a la disposición general de los datos (Richards y Jia, 2006; Chuvieco, 2007; Argañaraz y Entraigas, 2011).

El objetivo de la clasificación es obtener valores de superficie y distribución de diversas clases de usos y coberturas de suelo. Para ello se consideraron datos previos del área de estudio a través de puntos de GPS (Global Position System) obtenidos mediante trabajo de campo (obtención de puntos GPS) y en estudios antecedentes (Vazquez y Zulaica, 2011; Vazquez et al., 2014; Vazquez et al., 2019b). A su vez, se trabajó con datos aportados por fotografías aéreas, mapas e informes técnicos, el visor de imágenes de mayor resolución del software Google Earth Pro y referencias profesionales correspondientes a las clases a diferenciar.

Los usos de suelo predominantes derivados de las clasificaciones supervisadas han devenido en las siguientes clases y subclases: Agrícola (cultivada con cobertura total, cultivada con cobertura parcial, y a cultivar); Pastizales naturales y pasturas artificiales (PyP); y cuerpos de agua.

A continuación, se proyectaron las Regiones de Interés (ROIs) que definen las clases de uso de suelo distinguibles en el área de estudio. Los ROIs construidos fueron obtenidos, para las imágenes Landsat 5, sobre la base de una composición de colores de tipo RGB 432; mientras que en el caso de la imagen Landsat 8 la composición RGB fue 543.

Para que los procedimientos de evaluación sean realmente representativos y válidos los datos empleados para capacitar al sistema de procesamiento de imágenes no deben utilizarse para la evaluación de la precisión (Congalton, 2007). De esta manera los ROIs fueron separados en dos grupos: por un lado aquellos que emplea el clasificador elegido y por otro lado aquellos que se utilizaron como datos de referencia o “verdad de terreno” en la etapa de postprocesamiento.

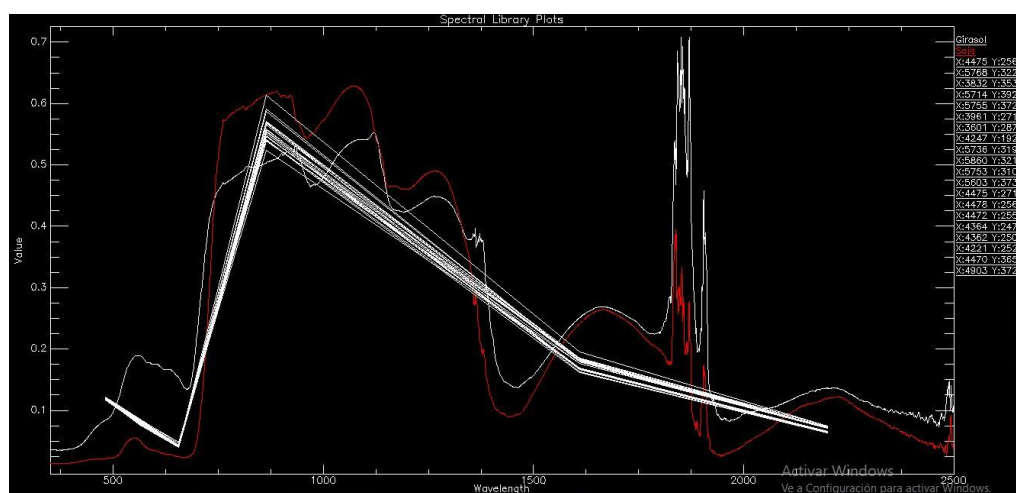
Se computó la separabilidad espectral, entre las regiones seleccionadas y en las tres imágenes, que indica la confusión espectral y varía entre 0 y 2 siendo el 2 el valor ideal de separación. La menor separabilidad obtenida para la imagen de 1989 fue de 1,87 entre las clases agrícolas a cultivar y pastizales naturales y pasturas artificiales. En la imagen 2004 la menor separabilidad se obtuvo entre las clases de uso del suelo agrícolas con cobertura parcial y a cultivar siendo el valor de 1,99. En el caso de la imagen 2019 el menor valor fue de 1,99 entre las clases agrícola de cobertura parcial y de pastizales naturales y pasturas artificiales.



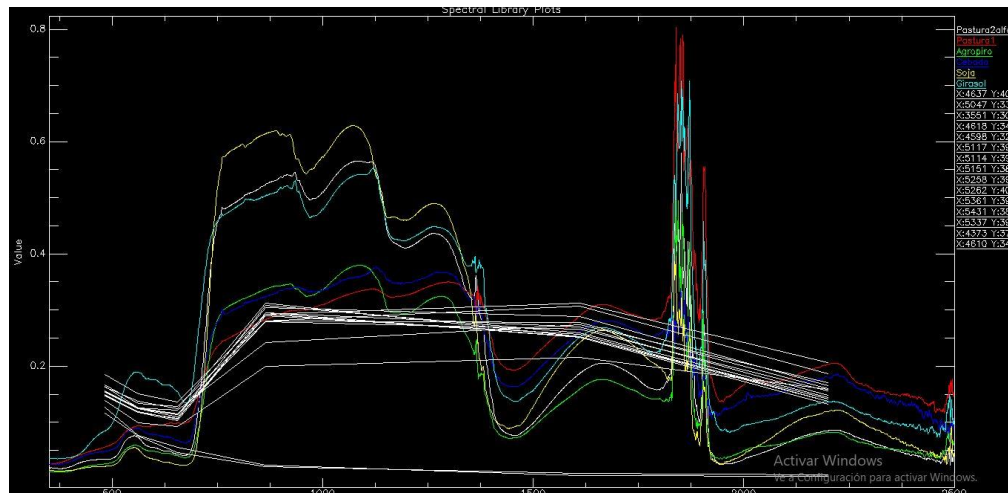
Los polígonos seleccionados, “prototipos” del elemento de interés en estudio, poseen una “firma” o característica espectral. La firma espectral se define como el comportamiento diferencial que presenta la radiación reflejada (reflectancia) o emitida (emitancia) desde algún tipo de superficie u objeto terrestre en los distintos rangos del espectro electromagnético (Hernández y Montaner, 2009). Dicha firmas permitieron realizar una comparación de las firmas espectrales de los ROIs delimitados en cada imagen con firmas espectrales de cultivos de girasol, soja, cebada y pasturas correspondientes a la Librería Espectral de la CONAE<sup>8</sup> para el mismo período de crecimiento. De esta manera se reafirmó la veracidad de los resultados obtenidos.

Se exhibe en la **Figura 12** la comparación entre las firmas espectrales de las ROI's correspondientes al área agrícola y de pastizales naturales y pasturas artificiales del Partido con las firmas espectrales obtenidas, para determinados cultivos, de la librería espectral de la CONAE. Se observa en la imagen superior que las firmas espectrales de las ROI's agrícolas (asociadas particularmente a la subclase de “cobertura total”) coinciden con aquellas pertenecientes a los cultivos de soja y girasol. Mientras tanto la imagen inferior presenta semejanzas entre las firmas espectrales de las ROI's asociadas a áreas ganaderas con las firmas respectivas al cultivo de cebada y diferentes pasturas.

**Figura 12.** Comparación de firmas espectrales de regiones de interés del área agrícola (superior) y del área ganadera (inferior) del partido de Tandil y de la librería espectral CONAE.



<sup>8</sup> <https://catalogos5.conae.gov.ar/firmasespectrales/>



## Post-procesamiento de las imágenes

La clasificación de imágenes, requiere un proceso de post-procesamiento para evaluar la exactitud de la clasificación y generar los mapas a analizar. Por consiguiente, la post clasificación involucró la obtención de la matriz de confusión para cada imagen seleccionada la cual permite hacer comparaciones entre la imagen clasificada y un grupo de píxeles conocidos (ROIs empleados como “verdad de campo”). La comparación se determina a través de medidas de confiabilidad como la Precisión Global y el coeficiente Kappa que considera tanto los errores de inclusión (comisión) y de exclusión (omisión) de la clasificación para cada una de las categorías analizadas (Foody, 2002). El coeficiente Kappa utiliza las sumas marginales de la matriz y da cuenta de la contribución del azar en la confiabilidad del mapa y los resultados pueden variar entre 1 y -1 aunque se espera que sean positivos debido a la correlación positiva que correspondería que exista entre la clasificación y los datos de referencia (verdad de terreno) (Congalton y Green, 2019). Foody (2002) recomienda que el valor de Precisión Global supere el 85%.

Para la clasificación de la imagen Landsat 5 de 1989 se obtuvo un valor de 0,96 para dicho coeficiente y una exactitud global de 97,39%; para la imagen de 2004 el valor fue de 0,99 y la exactitud global de 99,64%, mientras que para el caso de la imagen Landsat 8 el valor Kappa fue de 0,93 y su exactitud global fue de 95,39%.

Finalmente el proceso de post procesamiento implicó la obtención de los estadísticos de las imágenes clasificadas con el objetivo de estimar la superficie correspondiente a cada clase de cobertura. Para ello se empleó la herramienta de cálculo Class Statistics empleada por el software la cual da cuenta de la cantidad de píxeles correspondientes a cada clase que al

multiplicarse por un coeficiente que permite obtener la superficie real ajustada para cada uso del suelo por UAE.

Además de las clases mencionadas empleadas para llevar a cabo el proceso de clasificación, a su vez, habían sido definidas áreas de interés para usos del suelo correspondientes al área urbana y a pastizales naturales específicamente ubicados en el compartimento de Serranías. Sin embargo, al realizar la clasificación supervisada las ROIs correspondientes a dichas áreas no presentaron suficiente separabilidad espectral con la subclase agrícola a cultivar confundiendo la superficie real ocupada por estos usos del suelo.

Es así que, a las clases descritas usadas para las clasificaciones, luego, se añadió la clase de uso del suelo urbana y las subclases de pastizales naturales y pasturas artificiales propiamente dichas y roquedales y suelos desnudos en zonas serranas, correspondientes a la clase pastizales naturales y pasturas artificiales.

Entonces, las clases y subclases de usos del suelo empleadas en este estudio han quedado conformadas como se exhibe en la **Tabla 15**.

**Tabla 15.** Clases y subclases de uso del suelo analizadas.

| Clases                                       | Subclases                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Agrícola                                     | Cultivada con cobertura total                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                              | Cultivada con cobertura parcial                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                              | Son los lotes en producción o con cultivos implantados en desarrollo                                                                                                                                                                                                      |
| Pastizales naturales y pasturas artificiales | A cultivar: se refiere a lotes que se encuentran en el momento de la captura de la imagen sin cultivos pero que se corresponden con áreas donde normalmente se hace agricultura                                                                                           |
|                                              | Pastizales naturales y pasturas artificiales propiamente dichas: se obtuvieron los datos de manera conjunta ya que contribuyen a una mayor diversidad específica (Stupino et al., 2014; Iermanó et al., 2018) y se encuentran destinados a una misma actividad (pastoreo) |
|                                              | Roquedales y suelos desnudos en zonas serranas                                                                                                                                                                                                                            |
| Cuerpos de agua                              |                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Urbana                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                           |

Es preciso describir especificaciones tenidas en cuenta para la clasificación de usos de suelo incorporados para llevar a cabo el análisis correcto de los usos de suelo existentes en el área de estudio. Por un lado, con respecto a la clase pastizales naturales y pasturas artificiales, sucede que un elevado porcentaje de las áreas de pastizales naturales se encuentran en sectores serranos del Partido y en las zonas más elevadas del sistema de Serranías

corresponden a superficies de suelos desnudos y roquedales donde abundan arbustos, helechos y líquenes (Lavornia et al., 2012). Dichas áreas funcionan como refugio de biodiversidad y cumplen importantes funciones dentro del paisaje rural ya que proveen forraje para el ganado doméstico y hábitat para diversas especies de insectos que actúan como controladores biológicos o polinizadores de cultivos agrícolas (Gilarranz et al 2015; Herrera et al., 2017). Se presentó el obstáculo de que dichas áreas presentan una reflectancia de superficie similar a las áreas agrícolas a cultivar, motivo por el cual no se obtuvo diferencia alguna en el proceso de clasificación de las imágenes.

Sin embargo, el análisis de fotografías aéreas, relevamientos a campo y análisis de imágenes de Google Earth Pro demostraron que dichas áreas coinciden con suelos desnudos y roquedales en zonas serranas. Por este motivo han sido consideradas como una subclase dentro de las áreas de pastizales naturales y pasturas artificiales.

Para lograr su identificación y diferenciación se seleccionaron y enmascararon los vectores de aquellas superficies asociadas a firmas espectrales correspondientes a zonas agrícolas a cultivar, pero situadas geográficamente en el sistema ecológico paisajístico de Serranías. Este procedimiento se llevó a cabo en la imagen del año 1989. Se consideró el supuesto de que dadas las dificultades técnicas atribuibles a la topografía del terreno en los sectores más altos de las Serranías la producción agrícola en estas superficies se vería obstaculizada. Por este motivo, para las imágenes de los años 2004 y 2019 dicha superficie se mantuvo constante con respecto a la obtenida para el año 1989.

De esta manera, se obtuvieron los datos estadísticos de los píxeles asociados específicamente a esta selección de áreas serranas. Luego, dichos valores se sustrajeron a los datos de las subclases restantes.

Por otro lado, para conocer la superficie real del uso del suelo urbano se construyeron en el software Qgis (3.8.1) vectores correspondientes al ejido urbano de la ciudad de Tandil, cabecera del Partido, y a las localidades de María Ignacia (Estación Vela) y Gardey para los años 1989, 2004 y 2019. Luego, éstos fueron aplicados como máscaras a las imágenes clasificadas correspondientes a cada año.

Seguidamente, se obtuvo la información estadística asociada específicamente a la cobertura urbana para cada año. Así, a los datos estadísticos obtenidos previamente en la clasificación general del Partido se le sustrajeron los píxeles urbanos, ahora conocidos, que habían sido cuantificados por el clasificador como pertenecientes a otras clases.

## **Análisis de los cambios de usos del suelo**

Los resultados finales de transformaciones en los usos del suelo derivadas de las clasificaciones y su posterior rectificación para cada año de análisis fueron plasmados en mapas temáticos a partir del uso de Sistema de Información Geográfica (SIG) (Qgis Versión 3.8.1). Es así que aquellos datos procedentes de la teledetección son combinados con información geoespacial en el entorno de un SIG que permita integrar información de distintas fuentes, realizar transformaciones en la estructura de los datos y conectarse con herramientas de gestión y modelado (estadística, sistemas gráficos, inteligencia artificial) (Chuvieco, 1992; Richards y Jia, 2006).

Posteriormente se cuantificaron y compararon para el partido de Tandil las modificaciones de superficie correspondientes a cada tipo de uso del suelo (clases y subclases) para los años 1989, 2004 y 2019.

Con el propósito de cotejar los resultados de superficies de usos del suelo obtenidos con otras fuentes se compararon con información de superficies totales sembradas provista por la Dirección de Estimaciones Agrícolas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca<sup>9</sup>, con datos de los Censos Nacionales de Población, Hogares y Viviendas (1991 y 2010) y Censos Nacionales Agropecuarios (1988 y 2002).

Para caracterizar las diferenciaciones en los cambios de uso de suelo generados por el avance de la agricultura al interior del Partido, escala de UAE, se construyeron y aplicaron máscaras a cada una de las tres imágenes clasificadas a partir de los vectores de las todas las unidades digitalizados en el software Qgis 3.8.1. Los valores de estadísticos de clases fueron obtenidos para cada una de las UAE.

---

<sup>9</sup> <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar>

## RESULTADOS

### Superficie ocupada por los distintos usos del suelo en el partido de Tandil y en sus UAE'S a lo largo del período de estudio.

La metodología descripta posibilitó la comparación de imágenes satelitales y el análisis de los cambios en los usos de la tierra en un período de treinta años marcado por transformaciones radicales en las técnicas agroproduktivas utilizadas, la dependencia de insumos externos y el desacople de los sistemas mixtos agrícola ganaderos. Los usos predominantes derivados de las clasificaciones supervisadas han devenido, entonces, en las categorías: agrícola (cultivada con cobertura total; cultivada con cobertura parcial y a cultivar), pastizales naturales y pasturas artificiales (pastizales y pasturas; roquedales y suelos desnudos), cuerpos de agua y áreas urbanas. La **Tabla 16** presenta las superficies ocupadas por cada uso del suelo y la **Figuras 13, 14 y 15** exhiben la distribución espacial de dicha superficie en el partido para 1989, 2004 y 2019, respectivamente.

**Tabla 16.** Superficie ocupada por cada tipo de uso de suelo en el partido de Tandil (1989 - 2004 - 2019).

| Clase                                        | Subclase*     | Superficie (km <sup>2</sup> ) |         |          |         |          |         |
|----------------------------------------------|---------------|-------------------------------|---------|----------|---------|----------|---------|
|                                              |               | 1989                          |         | 2004     |         | 2019     |         |
|                                              |               | Subclase                      | Clase   | Subclase | Clase   | Subclase | Clase   |
| Agrícola                                     | Cultivadas T* | 1399,74                       |         | 1353,06  |         | 1228,39  |         |
|                                              | Cultivadas P* | 441,26                        | 2089,00 | 144,73   | 2714,06 | 906,97   | 3369,50 |
|                                              | A cultivar    | 248,00                        |         | 1216,27  |         | 1234,13  |         |
| Pastizales naturales y pasturas artificiales | RySD*         | 72,62                         |         | 72,62    |         | 72,62    |         |
|                                              | PyP*          | 2751,11                       | 2823,72 | 2112,83  | 2185,45 | 1434,94  | 1507,55 |
| Cuerpos de agua                              |               | 1,03                          | 1,03    | 6,87     | 6,87    | 0,74     | 0,74    |
| Urbanas                                      |               | 21,25                         | 21,25   | 28,62    | 28,62   | 57,21    | 57,21   |

\*Referencias: Cultivadas T: cobertura total; Cultivadas P: cobertura parcial; RySD:

Roquedales y suelos desnudos; PyP: Pastizales y pasturas.

**Figura 13.** Distribución espacial de las clases de uso del suelo en el partido de Tandil para 1989.

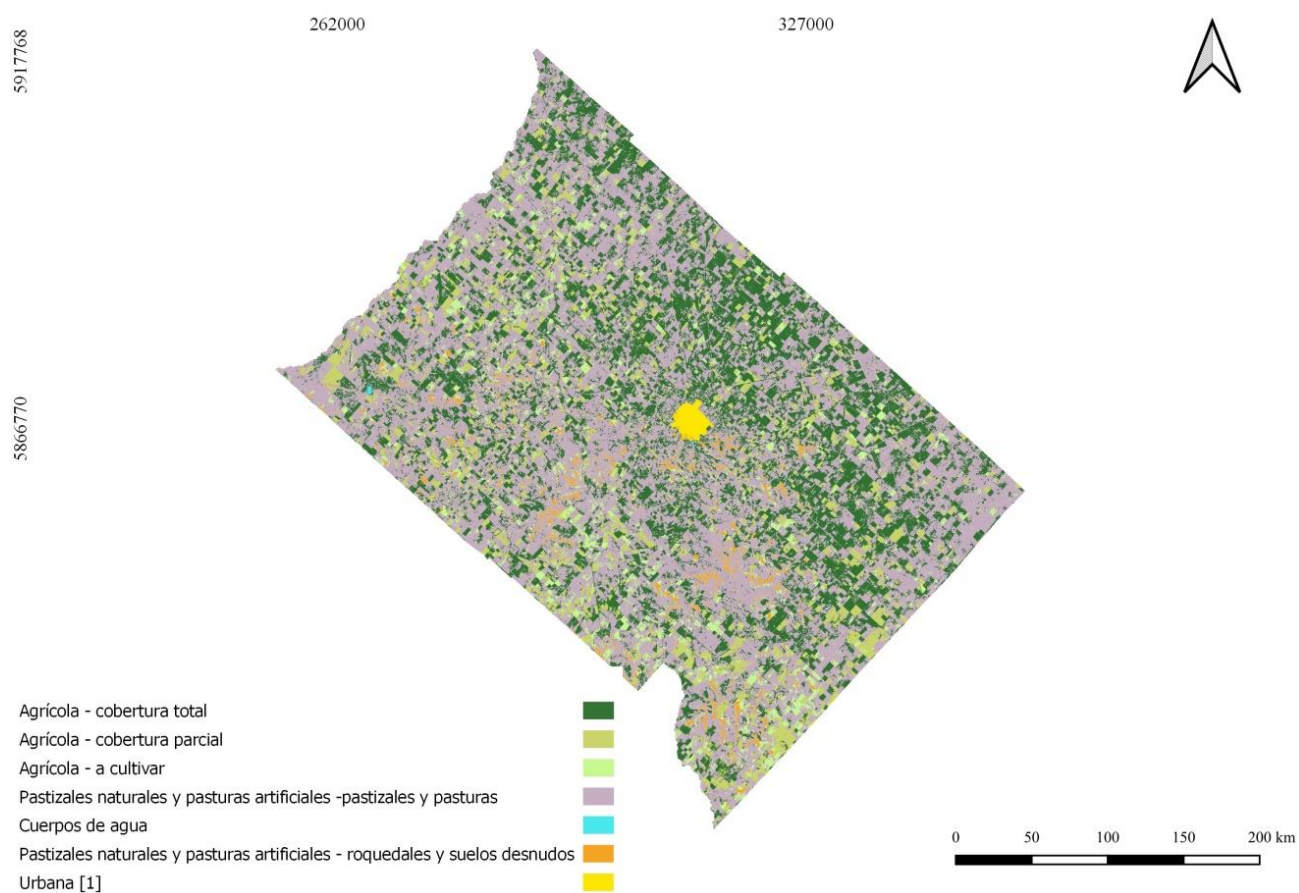




**Figura 14.** Distribución espacial de las clases de uso del suelo en el partido de Tandil para 2004.

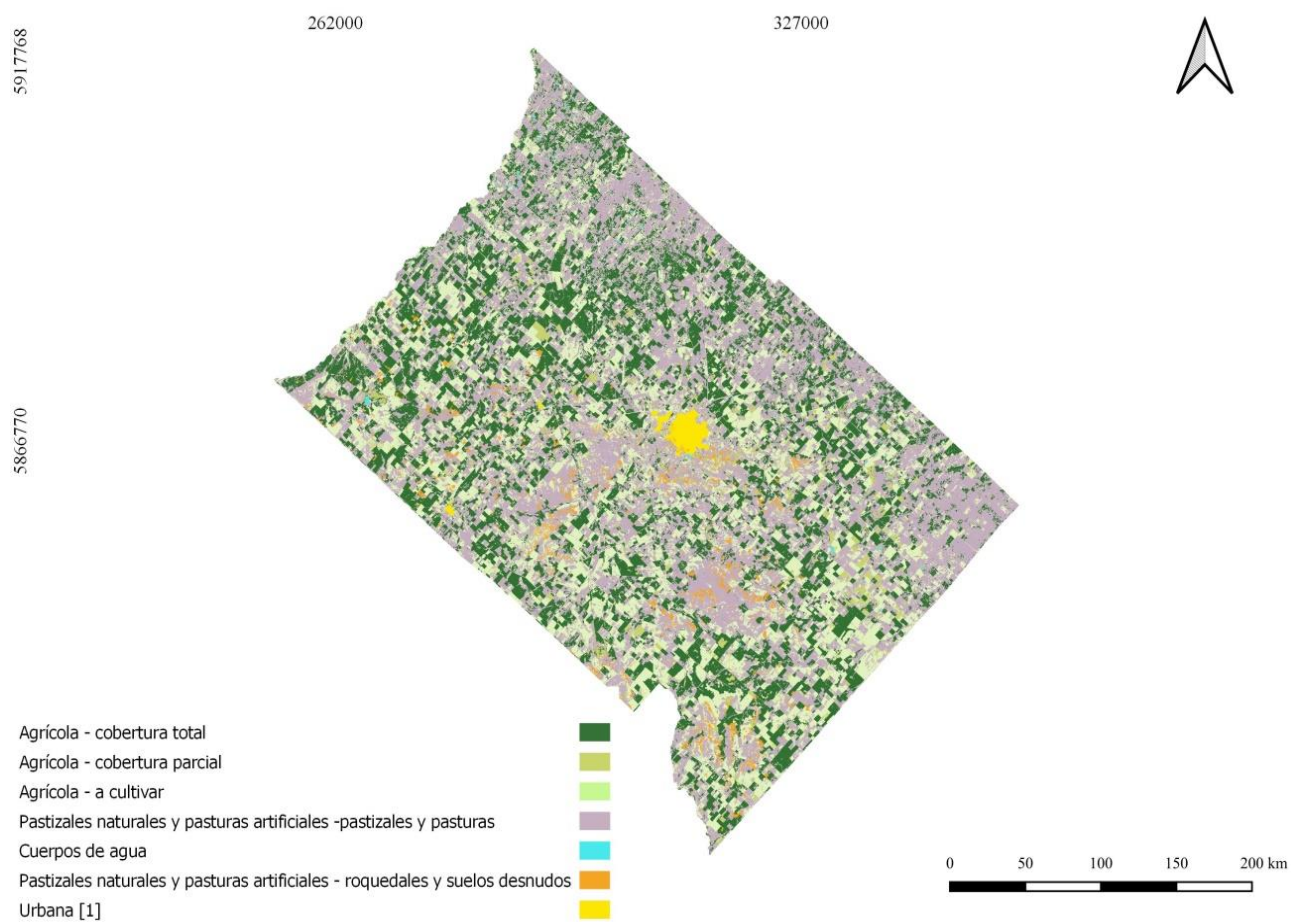
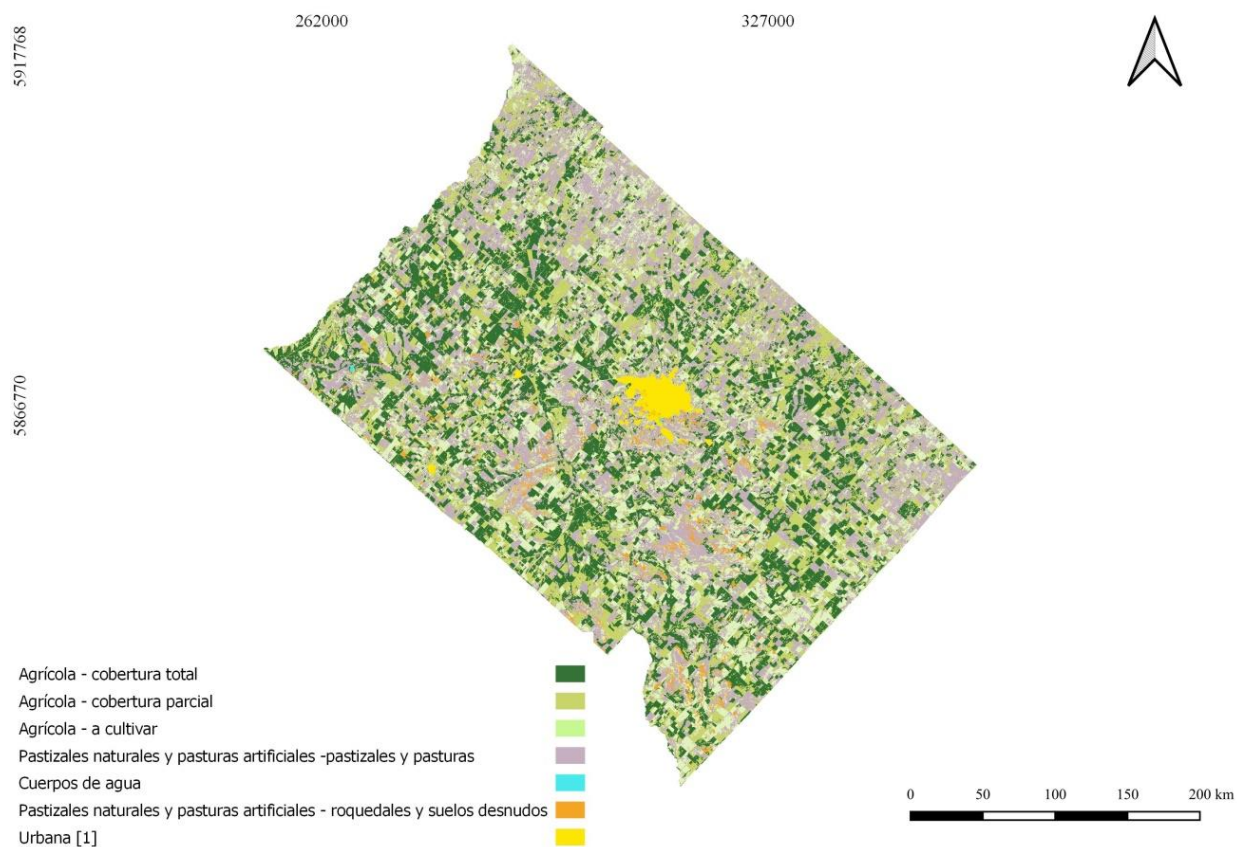




**Figura 15.** Distribución espacial de las clases de uso del suelo en el partido de Tandil para 2019.



Luego del análisis a escala departamental y teniendo en cuenta que la agriculturización se produce con distinta intensidad en las UAE's del partido se describe a continuación el proceso en cada una en la **Tabla 17**.

**Tabla 17.** Superficie (km<sup>2</sup>) ocupada por clases principales de uso de suelo por UAE del Partido (1989, 2004 y 2019).

|      | Clase                 | LLP1  | LLP2   | LLP3   | LLP4   | LLP5   | LLP6   | PD1A   | PD1B   | PD2   | PD3A  | PD3B   | S1     | S2     |
|------|-----------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 1989 | Agrícolas             | 44,20 | 58,75  | 565,71 | 308,62 | 80,07  | 80,74  | 212,32 | 113,81 | 73,19 | 50,37 | 385,80 | 91,04  | 41,85  |
|      | Pastizales y pasturas | 62,29 | 72,68  | 771,26 | 291,07 | 69,61  | 89,73  | 203,53 | 127,17 | 59,55 | 63,01 | 542,38 | 347,31 | 107,27 |
|      | Urbanos               | 0,82  | 0,00   | 17,96  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 2,02   | 0,00   |
|      | Agua                  | 0,00  | 0,01   | 0,41   | 0,08   | 0,00   | 0,21   | 0,04   | 0,00   | 0,00  | 0,01  | 0,02   | 0,08   | 0,00   |
| 2004 | Agrícolas             | 68,88 | 92,75  | 806,71 | 389,38 | 100,08 | 109,79 | 258,75 | 137,39 | 74,12 | 55,78 | 409,26 | 137,33 | 83,01  |
|      | Pastizales y pasturas | 37,11 | 38,55  | 524,15 | 209,77 | 49,50  | 60,57  | 156,52 | 102,91 | 58,56 | 56,60 | 516,34 | 300,00 | 66,10  |
|      | Urbanos               | 1,30  | 0,00   | 23,99  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 3,02   | 0,00   |
|      | Agua                  | 0,02  | 0,15   | 0,49   | 0,62   | 0,10   | 0,32   | 0,62   | 0,68   | 0,05  | 1,00  | 2,60   | 0,12   | 0,02   |
| 2019 | Agrícolas             | 82,55 | 103,70 | 977,60 | 462,62 | 113,12 | 131,67 | 318,44 | 174,88 | 86,47 | 71,57 | 568,65 | 189,59 | 94,16  |
|      | Pastizales y pasturas | 23,44 | 27,74  | 331,07 | 137,10 | 36,56  | 38,86  | 97,44  | 66,09  | 46,27 | 41,79 | 359,53 | 241,93 | 54,96  |
|      | Urbanos               | 1,33  | 0,00   | 46,37  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 8,89   | 0,00   |
|      | Agua                  | 0,00  | 0,00   | 0,30   | 0,05   | 0,00   | 0,15   | 0,00   | 0,02   | 0,00  | 0,02  | 0,02   | 0,05   | 0,00   |

### Superficie ocupada por usos del suelo agrícola y ganadero

La modificación más evidente e importante acontecida en el Partido entre los años seleccionados se encuentra en las transformaciones producidas entre las clases agrícolas y de pastizales naturales y pasturas artificiales (**Gráfico 1 y 2**).

**Gráfico 1.** Superficie (km<sup>2</sup>) de áreas agrícolas en 1989, 2004 y 2019 en el partido de Tandil.

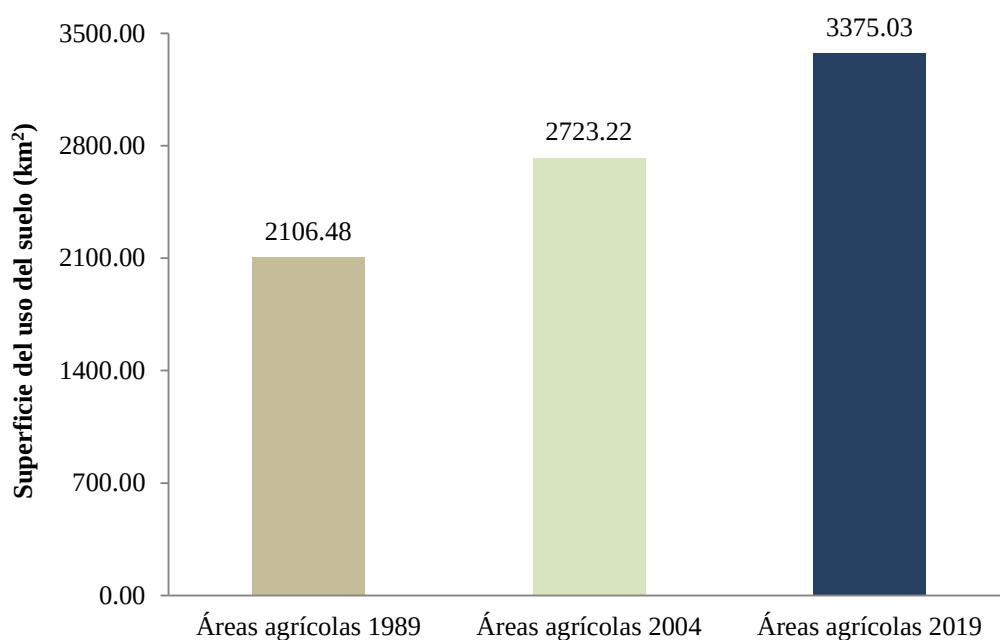
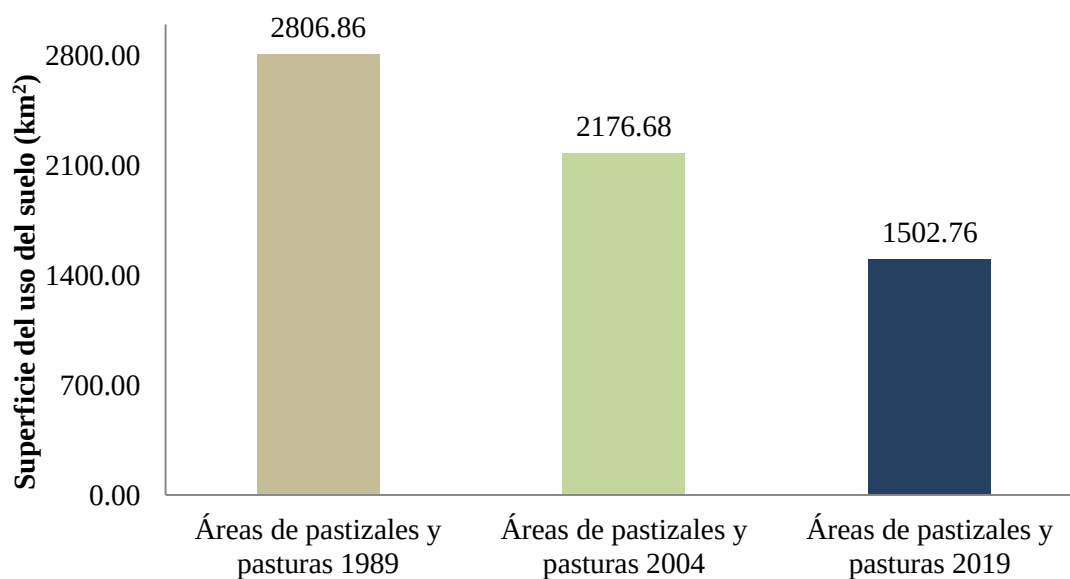


**Gráfico 2.** Superficie (km<sup>2</sup>) de pastizales y pasturas en 1989, 2004 y 2019 en el partido de Tandil.



La cobertura agrícola, en 1989, representaba un 42,33% de la superficie total del Partido mientras que la mayor cobertura estaba representada por las áreas de pastizales naturales y pasturas artificiales destinadas en su mayor parte al rodeo de ganado (más del 57% del Partido).

Los datos obtenidos para el año 2004 dan cuenta de un proceso de modificaciones productivas que ya había comenzado a visualizarse en cambios en los usos del suelo. La dominancia en los usos del suelo en cuanto a superficie, a diferencia del año 1989, correspondía al uso agrícola representando un aumento del 29,28%. Dichos usos se expandían en 2714,04 km<sup>2</sup> del partido (55,00%) mientras que la superficie representada por la clase pastizales naturales y pasturas artificiales era de 2185,45 km<sup>2</sup> (44,28%). La disminución en el área de dicha clase de uso en este período fue del 22,45%.

Sin embargo, los valores del año 2019 dan cuenta de un cambio sustancial en los usos del suelo y en el destino productivo de las áreas agropecuarias. En este caso, la mayor cobertura es la de las áreas agrícolas que se extendían en el 68,28% del área de estudio, significando un aumento de 23,94% con respecto al período anterior. Se observa una reducción de aproximadamente el 50% en las áreas dedicadas a la ganadería con respecto a 1989 y de un 30,96% en relación a 2004.

Las transformaciones productivas se expresan a nivel paisajístico para la campaña 2018 - 2019 a través del proceso de agriculturización consolidado. En el último año analizado la superficie agrícola corresponde al 68% del Partido concordando con los datos derivados de la clasificación supervisada de la imagen satelital para esa misma fecha.

### ***Superficie ocupada por usos del suelo agrícola y ganadero a escala de UAE***

A escala de UAE se desprende del análisis de los datos de superficies que, en el año 1989, la ganadería domina en todas las UAE de las Llanuras Distales (**Tabla 18** y **Gráficos 3 y 4**).

**Gráfico 3.** Superficie (km<sup>2</sup>) de áreas agrícolas en 1989, 2004 y 2019 en las UAE's del partido de Tandil.

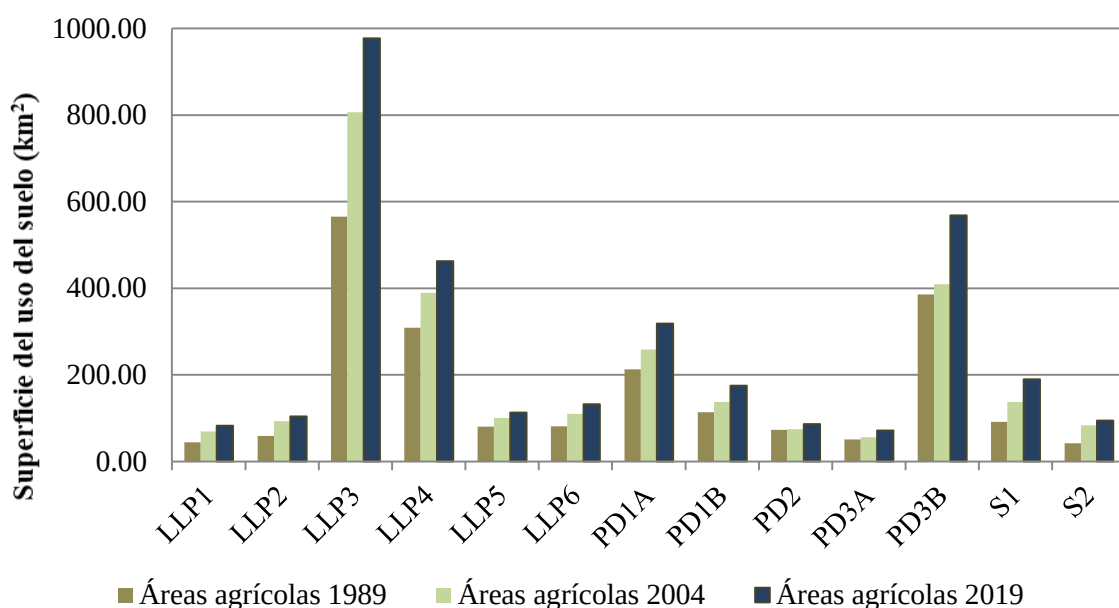
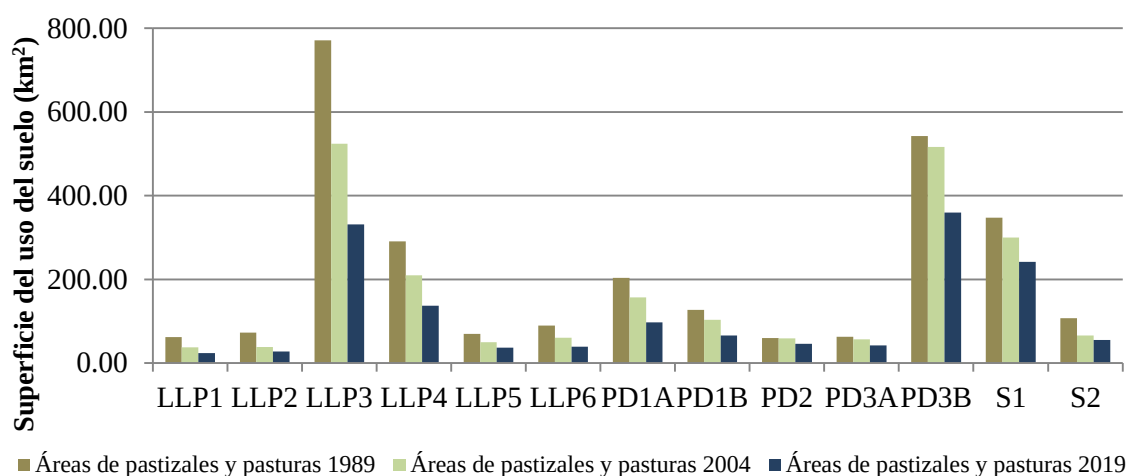


**Gráfico 4.** Superficie (km<sup>2</sup>) de pastizales y pasturas en 1989, 2004 y 2019 en las UAE's del partido de Tandil.



Particularmente, en las UAE LLP1, LLP2 y LLP3 la actividad se expande en un 58%, 55% y 57%, respectivamente. Por su parte en las UAE LLP4, LLP5 y LLP6 dicha clase de uso se expande en la mitad del territorio, aproximadamente, compartiendo la dominancia con el uso agrícola.

El panorama es distinto en el análisis de la clasificación de la imagen satelital de 2004 en la cual se observa que, en cambio, es la actividad agrícola la que prima en todo el SEP. En todos los casos, los porcentajes de superficie con agricultura superan el 60% de la superficie total de

cada UAE presentando un valor máximo en LLP2 (70%). De esta manera comienzan a evidenciarse los efectos derivados de las transformaciones productivas mencionadas con particular notoriedad en este sistema debido a sus características agroecológicas que lo vuelven altamente propicio para el desarrollo de actividades agrícolas.

Los datos de 2019 exhiben una transformación radical para las LLP, la dominancia continúa siendo agrícola pero la actividad se expande en más de tres cuartas partes de la superficie total de cada UAE (entre el 72% en LLP3 hasta 79% en LLP2). Finalmente índices de productividad de este compartimento generan que la vegetación característica de estas unidades, flechillares, haya sido reemplazada en su totalidad por cultivos agrícolas.

**Tabla 18.** Porcentaje de superficie destinada a áreas agrícolas y de PyP en las UAE's de las Llanuras periserranas para las tres fechas seleccionadas.

| Fecha | Fecha     | LLP1  | LLP2  | LLP3  | LLP4  | LLP5  | LLP6  |
|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1989  | Agrícolas | 41,19 | 44,70 | 41,74 | 51,46 | 53,49 | 47,30 |
|       | PyP       | 58,05 | 55,29 | 56,91 | 48,53 | 46,51 | 52,57 |
| 2004  | Agrícolas | 64,18 | 70,56 | 59,52 | 64,92 | 66,86 | 64,33 |
|       | PyP       | 34,58 | 29,33 | 38,67 | 34,98 | 33,07 | 35,49 |
| 2019  | Agrícolas | 76,92 | 78,90 | 72,13 | 77,13 | 75,58 | 77,15 |
|       | PyP       | 21,84 | 21,10 | 24,43 | 22,86 | 24,42 | 22,77 |

Con respecto a las UAE de las Planicies Distales se observa en la **Tabla 19** que, en 1989, PD1A y PD1B poseen, aproximadamente, la mitad de su superficie con un uso de la tierra agrícola y la otra mitad con un uso ganadero. La UAE PD2 presenta una dominancia agrícola (55%) mientras que en PD3A y PD3B prima la clase de uso asociadas a pastizales naturales y pasturas artificiales (55% y 58%, respectivamente).

Al igual que en el caso de las UAE de las Llanuras, los datos dan cuenta para 2004 y 2019, que el proceso a través del cual los usos del suelo agrícola se expanden desplazando a los ganaderos también ocurre en las Planicies Distales. Es así que en ambas fechas impera la superficie agrícola (a excepción de la UAE PD3A que en 2004 presenta una superficie total dividida entre uso agrícola y ganadero, 49% de cada clase). A comparación de las LLP los porcentajes son “levemente o sutilmente” inferiores. En este SEP la actividad ganadera se vio desplazada a sectores del Partido con bajo potencial de escurrimiento superficial e interno.

**Tabla 19.** Porcentaje de superficie destinada a áreas agrícolas y de PyP en las UAE's de las Planicies Distantes para las tres fechas seleccionadas.

| Fecha | Fecha     | PD1A  | PD1B  | PD2   | PD3A  | PD3B  |
|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1989  | Agrícolas | 51,05 | 47,23 | 55,14 | 44,42 | 4,79  |
|       | PyP       | 48,94 | 52,77 | 44,86 | 55,57 | 4,83  |
| 2004  | Agrícolas | 62,22 | 57,01 | 55,84 | 49,20 | 44,09 |
|       | PyP       | 37,64 | 42,70 | 44,12 | 49,92 | 55,63 |
| 2019  | Agrícolas | 76,57 | 72,57 | 65,14 | 63,12 | 61,26 |
|       | PyP       | 23,43 | 27,42 | 34,85 | 36,86 | 38,73 |

Las UAE's serranas, en ambos casos, exhiben en 1989 las superficies con mayores porcentajes de superficie de uso de pastizales y pasturas (S1 un 79% y S2 un 72%). Para 2004 y 2019 dichas unidades presentan comportamientos diferenciales ya que, por un lado, S1 continúa siendo ganadera (68% en 2004 y 55% en 2019) y, por otro lado, S2 se convierte en una UAE agrícola (55% en 2004 y 63% en 2019) (**Tabla 20**).

**Tabla 20.** Porcentaje de superficie destinada a áreas agrícolas y de PyP en las UAE's de las Serranías para las tres fechas seleccionadas.

| Fecha | Clase     | S1    | S2    |
|-------|-----------|-------|-------|
| 1989  | Agrícolas | 20,67 | 28,06 |
|       | PyP       | 78,85 | 71,94 |
| 2004  | Agrícolas | 31,18 | 55,67 |
|       | PyP       | 68,11 | 44,32 |
| 2019  | Agrícolas | 43,04 | 63,15 |
|       | PyP       | 54,93 | 36,86 |

### Superficie ocupada por usos urbanos

En cuanto al uso de suelo urbano cabe mencionar que no sólo se ha considerado el núcleo urbano principal de la ciudad de Tandil sino también María Ignacia (Estación Vela) y Gardey. Los mencionados emplazamientos se ubican específicamente en las UAE LLP3; S1 y LLP1 (**Tabla 21**).

**Tabla 21.** Porcentaje de superficie destinada a áreas urbanas en las UAE's en las tres fechas seleccionadas

| Fech<br>a | LLP<br>1 | LLP<br>2 | LLP<br>3 | LLP<br>4 | LLP<br>5 | LLP<br>6 | PD1<br>a | PD1<br>b | PD<br>2 | PD3<br>a | PD3<br>b | S1       | S2       |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|
| 1989      | 0,77     | 0,00     | 1,33     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00    | 0,00     | 0,00     | 0,4<br>6 | 0,0<br>0 |
| 2004      | 1,21     | 0,00     | 1,77     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00    | 0,00     | 0,00     | 0,6      | 0,0      |

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 8   | 0   |
| 2019 | 1,24 | 0,00 | 3,42 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,0 | 0,0 |
|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 2   | 0   |

La superficie ocupada por áreas urbanas en 1989 era de 21,25 km<sup>2</sup> y para el año 2004 el área se expande a 28,62 km<sup>2</sup> representando un incremento del 36,06%. El área destinada al uso de suelo urbano continúa en crecimiento durante el período de estudio llegando a duplicarse para el año 2019 (57,21 km<sup>2</sup>) siendo su aumento porcentual con respecto al período anterior de un 99,95% (**Gráfico 5 y 6**).

**Gráfico 5.** Superficie (km<sup>2</sup>) de áreas urbanas en 1989, 2004 y 2019 a escala del partido de Tandil.

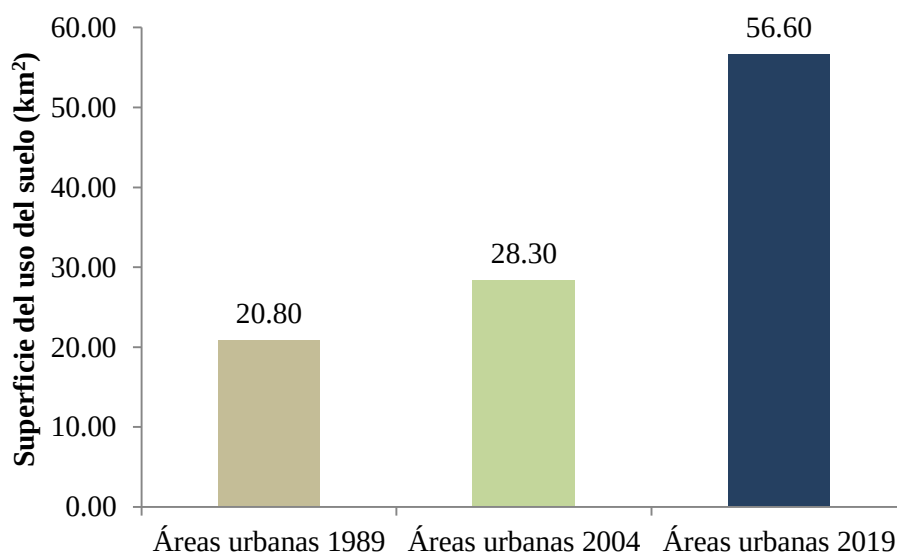
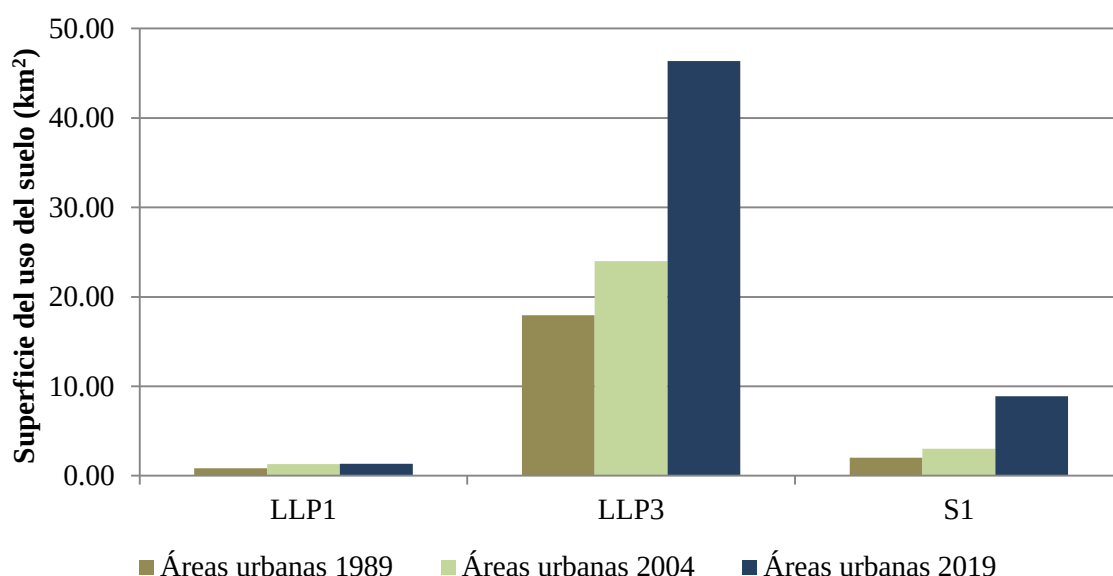


**Gráfico 6.** Superficie (km<sup>2</sup>) de áreas urbanas en 1989, 2004 y 2019 en las UAE's del Partido.





### Superficie ocupada por cuerpos de agua

Con respecto al área ocupada por cuerpos de agua superficial para los años 1989 y 2019 representa el 0,02% de la superficie del Partido (**Tabla 22**). En cambio los resultados de la clasificación supervisada de 2004 demuestran que los cuerpos de agua superficiales cubren el 0,14% del Partido siendo el año en el cual dicho uso ocupa la mayor superficie. En esta fecha, y a diferencia de lo que acontece en las fechas extremas del período de análisis, son las UAE's correspondientes a las Planicies Distantes (PD1a, PD1b, PD2, PD3a y PD3b) las que exhiben mayor superficie relativa a esta cobertura (**Gráfico 7 y 8**).

**Tabla 22.** Porcentaje de superficie destinada a áreas de cuerpos de agua en las UAE's en las tres fechas seleccionadas.

| Fecha | LLP 1 | LLP 2 | LLP 3 | LLP 4 | LLP 5 | LLP 6 | PD1 a | PD1 b | PD 2 | PD3 a | PD3 b | S1   | S2   |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|
| 1989  | 0,00  | 0,01  | 0,03  | 0,01  | 0,00  | 0,12  | 0,01  | 0,00  | 0,00 | 0,01  | 0,00  | 0,02 | 0,00 |
| 2004  | 0,02  | 0,11  | 0,04  | 0,10  | 0,07  | 0,19  | 0,15  | 0,28  | 0,04 | 0,88  | 0,28  | 0,03 | 0,01 |
| 2019  | 0,00  | 0,00  | 0,02  | 0,01  | 0,00  | 0,09  | 0,00  | 0,01  | 0,00 | 0,02  | 0,00  | 0,01 | 0,00 |

**Gráfico 7.** Superficie (km<sup>2</sup>) ocupada por cuerpos de agua en 1989, 2004 y 2019 a escala del partido de Tandil.

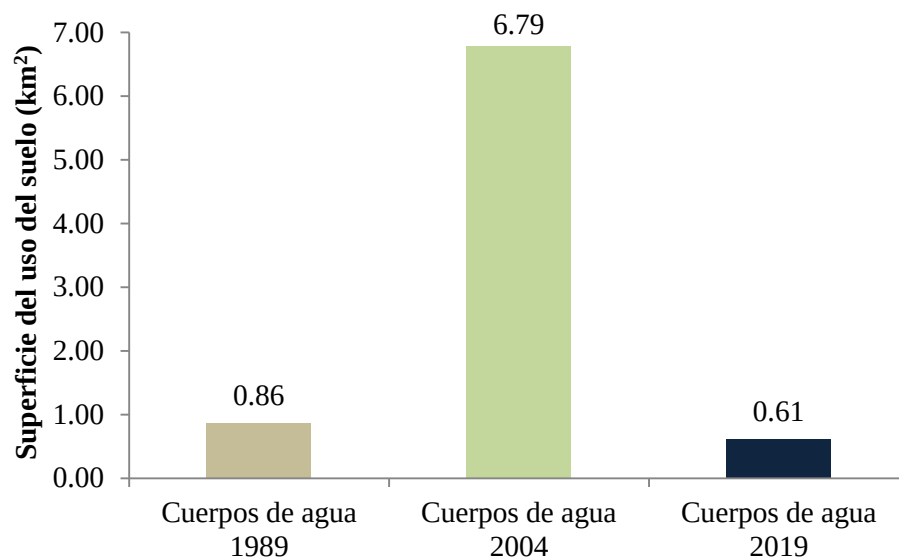
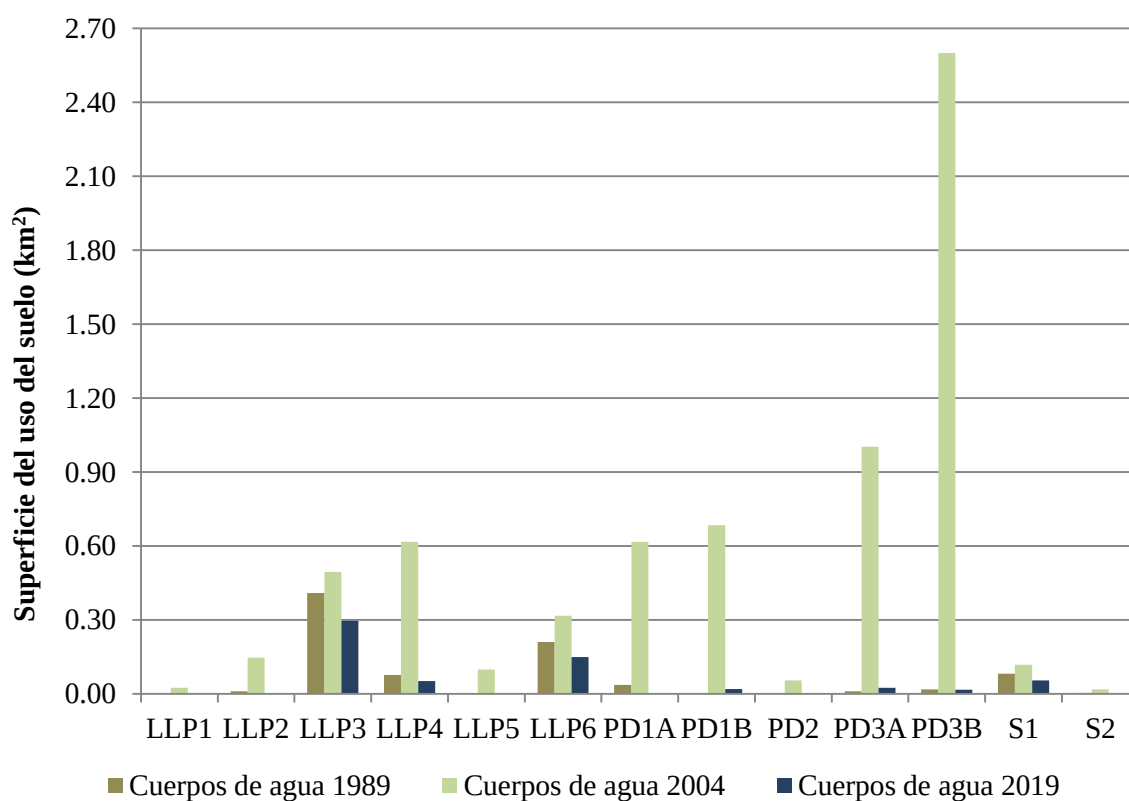


**Gráfico 8.** Superficie (km<sup>2</sup>) ocupada por cuerpos de agua en 1989, 2004 y 2019 en las UAE's del Partido.



## DISCUSIÓN

La comparación en los usos del suelo a partir del tratamiento de imágenes satelitales, productos Landsat, permitió determinar la superficie ocupada por las distintas clases de uso en las diversas unidades agroecológicas y observar el proceso de agriculturización en el área de estudio. La técnica metodológica empleada continúa siendo de gran aplicación en diferentes análisis temporales (Sequeira et al. 2021, Pflugmacher et al. 2019, Alam et al. 2020, Chen et al. 2021).

Es importante mencionar los contextos que dieron lugar a los resultados alcanzados. En la primera fecha analizada (1989) la agricultura era de tipo convencional o tradicional (con rotación de la tierra a partir del uso de arados, rastras, con la finalidad de eliminar malezas e incorporar los rastrojos al suelo) y se realizaba en asociación con la actividad ganadera en sistemas mixtos (agrícola ganaderos) ocupando un 42% de la superficie total del Partido. Dicha combinación permitió que los campos de la región mantuvieran y hasta aumentaran su calidad en nutrientes y materias orgánica con ciclos de cultivos y pasturas prácticamente sin insumos externos (Pengue y Rodríguez 2018, Sarandón 2020, Andrade 2020).

Luego para 2004 la superficie agrícola aumenta más de un 29% con respecto a 1989 respondiendo a ciertas transformaciones que sufren los sistemas de producción: arraigo de la siembra directa sin remoción del suelo sembrando sobre los rastrojos lo cual permite disminuir la erosión de suelos, sobre todo en zonas con pendientes, pero en base a un alto insumo de fitosanitarios, principalmente herbicidas; y la ganadería es relegada del sistema productivo. Particularmente, se señala a la siembra directa como “la tecnología más importante adoptada en la producción de granos en el Mercosur en los últimos 50 años” (Ekboir, 2001). La siembra directa se define técnicamente como la práctica de cultivar la tierra sin ararla previamente y se caracteriza por la distribución uniforme de los residuos de los cultivos anteriores, por no utilizar implementos para labrar el suelo, por el control de malezas mediante herbicidas y por el uso de sembradoras especializadas (AAPRESID<sup>10</sup>). Estos equipos deben tener la capacidad de cortar la cobertura superficial del suelo, abrir una pequeña línea para la siembra, depositar la semilla en su interior y luego cerrar el surco abierto (Lorenzatti, 2017). Las mencionadas características de esta técnica permitieron la incorporación del doble cultivo anual generando un incremento de la superficie adicional a sembrar dando lugar al proceso de intervención de gran impacto.

---

<sup>10</sup> <http://www.aapresid.org.ar/que-es/>

Existe un vínculo temporal entre las transformaciones obtenidas entre 1989 y 2004 y una “nueva agricultura” que comenzó con la introducción en la región pampeana de algunos adelantos tecnológicos importantes: la masificación de los cereales híbridos (fundamentalmente el maíz) de alta productividad, trigos tempranos y girasol de alta resistencia y la adopción de nuevos productos, fundamentalmente la soja (con un éxito inmediato y que, relativamente en poco tiempo, desplazó a otros cultivos y comenzó a sembrarse como cultivo “de segunda” luego del trigo temprano) (Reboratti, 2010).

En la última fecha analizada (2019) la superficie agrícola ocupaba más del 68% de la superficie total de Tandil representando dicho valor un aumento del 23,44% con respecto a 2004. En este último período el aumento de la productividad y el cambio tecnológico han jugado un rol muy importante en el crecimiento del área agrícola explicado por incrementos en el uso de factores e insumos (tierra, trabajo, capital, fertilizantes, etc.) y la difusión del manejo diferencial por ambientes (Andrade et al., 2017; Satorre, 2015).

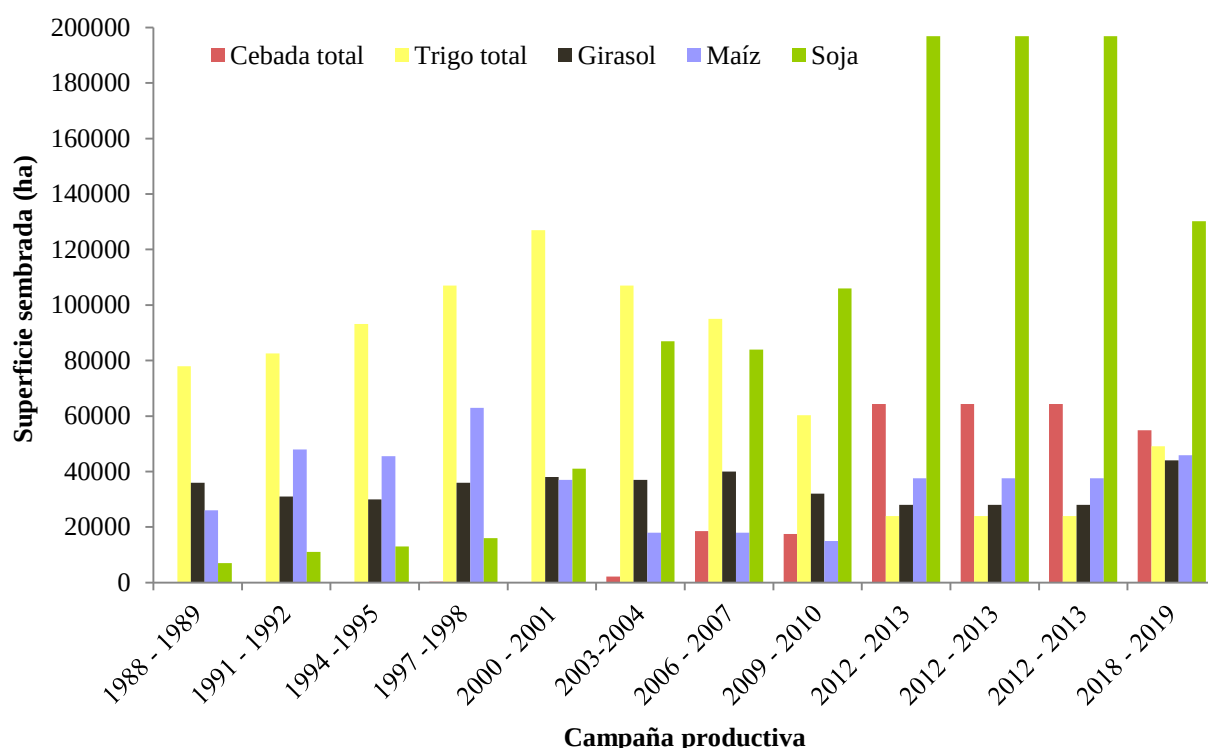
La superficie agrícola exhibe un crecimiento persistente ocurriendo los mayores avances sobre UAE's del sistema de Serranías, Llanura periserrana y Planicie distal en 1989-2004, y Planicie distal, Serranías y Llanura periserrana en 2004-2019. Asimismo, es posible remarcar que aquellas UAE's pertenecientes a los sistemas Serranías y Llanura periserrana alcanzaron su mayor incremento en el primer período, mientras que las de la Planicie distal hicieron lo propio en el segundo.

Vale destacar el rol de determinados cultivos como motores del mencionado proceso. El proceso de agriculturización en el período se caracterizó, además del incremento del uso agrícola de los suelos del territorio, por un cambio significativo en la proporción de los distintos cultivos con una tendencia creciente hacia la especialización agrícola orientada a la producción de dicho cultivo. Es el caso del cultivo de soja que en la primera campaña considerada ocupaba menos de 4% de la superficie sembrada, sin embargo, el porcentaje escala a más del 38% en la última campaña analizada. A su vez, es notable la importancia que ha adquirido el cultivo de cebada que no registraba superficie sembrada en 1989 pero para 2019 su superficie sembrada fue de 548 km<sup>2</sup>. Su importante incremento se asocia directamente a la implementación de doble cultivo (oleaginosa/cereal). Por otra parte, es determinante la fluctuación en cuanto a los valores de los granos: cuando las estimaciones afirmaban una disminución en el valor del trigo, aumentaba la superficie sembrada con

cebada. Contrariamente se observa como fueron perdiendo participación algunos cereales como el trigo.

Al cotejar los valores presentados en la **Tabla 16** con las Estimaciones Agrícolas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca para el área de estudio (**Gráfico 9**) se identifican las mismas tendencias. Se han seleccionado para dicho análisis las campañas agrícolas 1988 - 1989, 2003 - 2004 y 2018 - 2019 dado que la fecha de adquisición de las imágenes satelitales corresponde a los meses de marzo y febrero. En esta época del año la cobertura agrícola coincide con el período de siembra y cosecha de cultivos de verano o gruesa siendo éstos los de mayor importancia comercial. El **Gráfico 9** muestra la evolución de la participación de los cultivos en la superficie sembrada en el período seleccionado. Los datos oficiales informan que la superficie total sembrada (representada por los cultivos de alpiste, mijo, lino, avena, cebada total, trigo total, girasol, maíz, papa, soja y sorgo) en la campaña 1988 - 1989 es de 2089 km<sup>2</sup>, el 35,58% del área de estudio en términos porcentuales.

**Gráfico 9.** Evolución de la superficie sembrada con los principales cultivos en el Partido en el período de estudio.



Fuente: Elaboración personal en base a las estimaciones agrícolas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.

Como acontece con la información resultante de la clasificación supervisada de las imágenes satelitales, los datos oficiales de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca evidencian que para la campaña 2003 - 2004 el escenario productivo imperante había comenzado un proceso de transformación. Es así que la superficie sembrada con los principales cultivos era de 2622 km<sup>2</sup>, es decir un 53,13% del Partido. La mayor superficie de usos de Tandil correspondía entonces a los usos agrícolas.

En esta línea, teniendo en cuenta la evolución de la superficie sembrada en hectáreas, según la página oficial del Municipio de Tandil (2021) se evidencia el crecimiento exponencial que tuvo dicha leguminosa desde la campaña correspondiente a los años 1973/1974 con 40 ha, hasta la campaña 2018/2019 con 130 264 ha sembradas.

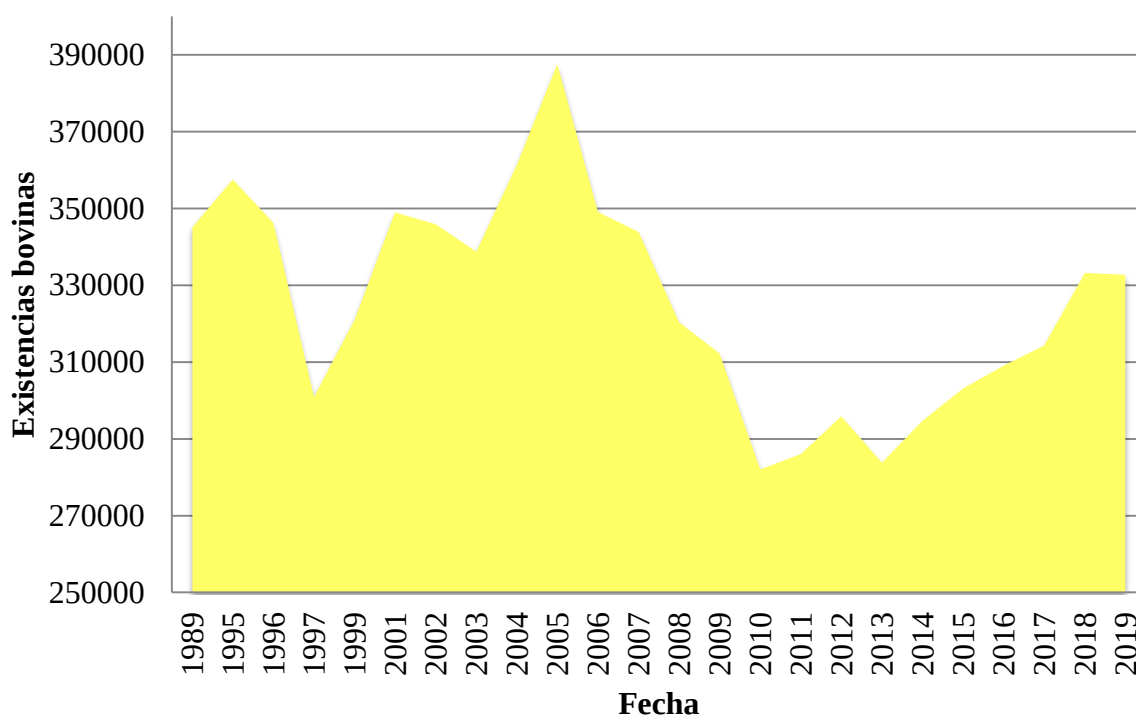
Por otro lado, cabe mencionar ciertas características de la actividad ganadera en el período analizado fomentadas por la competencia con la agricultura que indujo cambios de localización e intensidad de los usos ganaderos cárnicos y lácteos. A pesar de una disminución de superficie asociada a una fuerte caída en el número de explotaciones con ganado bovino se observa un stock que se mantiene relativamente estable, una intensificación productiva y una mayor eficiencia de la misma (**Gráfico 10**).

En 1989 el stock total de bovinos era de 345105 cabezas repartidas en 2823,72 km<sup>2</sup> del Partido (57% de la superficie total). Dicha actividad se llevaba a cabo en sistemas extensivos de baja productividad y bajo impacto ambiental, o semi-extensiva con rotación de cultivos (Frank y Viglizzo, 2010; Auer et al., 2019). Para el año 2004 la cifra asciende y se identificaron 361270 cabezas de ganado bovino esparcidas en una superficie menor (2185,44 km<sup>2</sup> - 44,29% de la superficie total). De hecho, según datos suministrados por la Fundación Tandil Libre de Aftosa (FUNTALA), desde 2004 la actividad de engorde a corral fue la de mayor crecimiento a nivel local. En 2019 las existencias bovinas descienden a 332754 cabezas distribuidas en un área de 1507,55 km<sup>2</sup>, lo cual representa el 30,96% del territorio analizado (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2019).

La pérdida en superficie y disminución del número de unidades productivas ganaderas fueron compensadas por la intensificación a través del acortamiento de las rotaciones, la eliminación de pasturas y el estímulo a los feed lots (Nogar et al., 2017). De esta manera, la sustitución del sistema pastoril por la producción estabulada o feed lot induce un aumento de la carga animal por unidad de superficie (Barsky, 2020).

Este tipo de manejo estuvo favorecido, por un lado, por el rol de la actividad ganadera como reserva de capital (sobre todo en períodos de crisis institucional, política y macroeconómica) y los consiguientes estímulos económicos impulsados por la política de compensaciones implementadas entre 2007 y 2010 por el Ministerio de Agricultura de la Nación (decreto N° 4211/2010 de la ONCCA). Por otro lado, por un menor tiempo de engorde, alimentación en base a granos y concentrados y mayor dotación de insumos.

**Gráfico 10.** Evolución de las existencias bovinas en el Partido en el período 1989 - 2019.



Fuente: Elaboración personal en base a datos proporcionados por el Portal de Datos Agroindustriales del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (2019).

Profundizando en el análisis de las transformaciones observadas en estos dos últimos usos del suelo, que simbolizan la matriz productiva del área de estudio, se entiende que la construcción de mapas de cambio combinando técnicas de teledetección y sistemas de información geográfica resulta una valiosa herramienta para identificar, focalizar y resaltar los determinantes del cambio en el uso del suelo. Dichos datos son de importancia crítica para comprender las modificaciones en la provisión de SE intrínsecos en distintos paisajes ya que ilustran los resultados de la gestión e implementación de políticas y ordenamiento territorial (o ausencia de las mismas) (Jacobs et al., 2016).

Con respecto a los resultados obtenidos para la clase asociada a usos del suelo urbano, éstos coinciden con el importante crecimiento demográfico e inmobiliario del partido de Tandil evidenciado en los datos censales. La población del partido en 1991 era de 101228 habitantes (INDEC, 1991) y, de acuerdo a las proyecciones por departamento de INDEC (2020), era para el año 2019 de 137922 habitantes lo cual representa un aumento poblacional del 36,24%.

Inicialmente, el uso urbano solo se encuentra en las UAE's S1, correspondiente a las Serranías y LLP1 y LLP3, insertas en la Llanura periserrana, siendo esta última la que concentra la mayor extensión debido principalmente a que allí se localiza la ciudad de Tandil, cabecera del partido homónimo. Respecto de su variación, en los tres casos, se observa un continuo crecimiento de la superficie ocupada. Asimismo, se destaca que, a pesar de poseer una menor área urbana, el sistema Serranías demuestra una mayor variación porcentual de crecimiento entre 2004 y 2019 (194,75%) en comparación a las UAE's de la Llanura periserrana en las cuales el área urbana aumentó un 2,62% en LLP1 y un 93,30% en LLP3 en el mismo período. Esto coincide con lo planteado por Fernández y Ramos (2017) quienes observaron un modelo de crecimiento urbano disperso, cercano al área central, pero que no encuentra ningún tipo de barreras en los faldeos serranos coincidiendo con el crecimiento de superficie urbana especialmente en S1. Por otra parte, considerando la relación entre aumento demográfico y expansión urbana los resultados adquiridos se condicen con un incremento del 36,25 % de la población del partido de Tandil entre 1991 y 2019 pasando de 101228 a 137922 habitantes respectivamente (INDEC, 1991, 2010).

Sin embargo, mientras en las áreas urbanas acontece un proceso de importante crecimiento demográfico en las áreas rurales se producía el fenómeno de concentración de la tierra. Los cambios tecnológicos descriptos, si bien generaron un notable aumento de volumen de producción y de productividad, no fueron neutros a la estructura agraria. El nuevo paquete obligó a un proceso de concentración de la tierra ya que se necesitaban extensiones mayores para hacer viables la aplicación de tales inversiones (Reboratti, 2010). Para la región pampeana, la concentración de tierras, tareas, maquinaria, conocimiento, recursos económicos, y capacidades de gestión es un fenómeno constitutivo de la actividad durante el último cuarto del siglo pasado (Lombardo y Tort, 2018). A su vez si la lógica económica obliga a trabajar “la mayor extensión de tierra en el menor tiempo posible” la inversión en maquinaria con cada vez mayor capacidad de trabajo y tecnológicamente actualizada se



convierte en un requisito para mantenerse y principalmente para expandirse en la actividad (Neiman et al., 2020).

Dicha situación se corrobora al analizar la cantidad y extensión de establecimientos agropecuarios existentes en el período de estudio a partir de los Censos Nacionales Agropecuarios (CNA) (1988 – 2008 - 2018). Los cambios más notorios acontecidos en han sido una marcada disminución de establecimientos de hasta 200 ha y un aumento en la cantidad de establecimientos de más de 1000 ha. La cantidad de hectáreas de las explotaciones agropecuarias (EAP's) también disminuye pero no como la cantidad de establecimientos. Esto indicaría, como ocurre a nivel regional, una concentración de la superficie productiva en menos productores. Otro aspecto a considerar es que el lugar de residencia de los titulares de unidades productivas que superan las 1000 ha. es muy variado. Las unidades de tamaño intermedio son las que presentan un comportamiento dentro de parámetros convencionales (cuyos propietarios tienen dedicación full time a la actividad, residentes en la ciudad de Tandil, inversiones continuas en innovación y capacitación); el porcentaje de tierras manejadas por *pools* de siembra es muy alto y en su mayoría absorben unidades de producción menores a las 200 ha.

En esta línea, Manuel Navarrete et al. (2005) y Fernández (2017) sostienen que existe un estrecho vínculo entre la concentración productiva y la adopción de tecnologías, y porque no de la intensificación agrícola. Se produce un círculo vicioso en el cual la concentración productiva facilita la incorporación de tecnologías que justifican su aplicación en grandes concentraciones de tierras y a la vez las nuevas maquinarias facilitan el manejo de áreas más grandes con mucho menos personal y costo. Otra característica de la concentración productiva es que, en un gran número de casos, los propietarios de la tierra dejan de ser productores ya que el proceso de producción se profesionaliza y terceriza.

Por último, en referencia a los cuerpos de agua superficiales si se tiene en cuenta que el sistema fluvial del área de estudio se define por el aporte de precipitaciones podemos inferir que el área de estudios no se ha visto afectada de manera disímil en las fechas consideradas. En asociación a los valores de superficie las campañas agrícolas presentan semejanzas en la cantidad de milímetros anuales de lluvias siendo los valores para 1988 – 1989 de 798,4 y 739,9 mm respectivamente; 2004; y para 2018 – 2019 889 y de 751,6 mm, respectivamente.

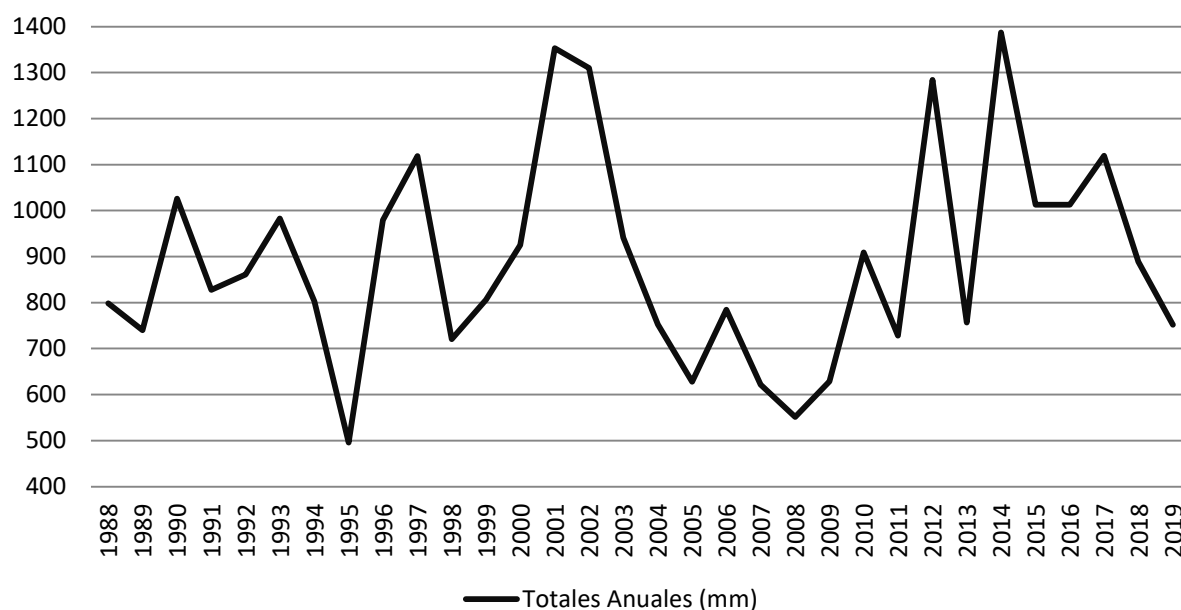
Como una posible respuesta a lo ocurrido durante el primer período, nos encontramos ante un aumento del 1,74 % de las precipitaciones anuales del partido, pasando de 739,90 a

752,80 mm. Si bien 2004 no presenta notables variaciones respecto de los valores anuales promedio de la zona se evidencia un período antecedente con lluvias más elevadas (los milímetros anuales precipitados fueron elevados y mayores al promedio de precipitación media anual) alcanzando los 1352,80 mm en 2001, 1309,60 mm en 2002 y 941 mm en 2003; lo que podría explicar un incremento en los cuerpos de agua superficiales (**Gráfico 11**).

Las precipitaciones del segundo período presentan un decrecimiento del 0,16 % (EEA INTA Balcarce, 2018) justificando el descenso de las áreas ocupadas por este uso. Al mismo tiempo, según un informe del Servicio Meteorológico Nacional, entre diciembre de 2017 y los primeros meses de 2018, la RPArg registró una significativa disminución de las reservas hídricas del suelo, destacándose Tandil como uno de los partidos que presentó sequía severa (SMN, 2018).

Con relación a los cambios exhibidos por los cuerpos de agua escala de UAE pueden diferenciarse dos claras tendencias compartidas por los tres sistemas ecológicos paisajísticos. En primer lugar, el período 1989-2004 demuestra un crecimiento de la superficie ocupada por este uso, siendo mayor el ocurrido en el sistema Planicie distal, seguido por Llanura periserrana y Serranías. No obstante, el período 2004-2019 muestra un escenario opuesto: los cuerpos de agua decrecieron en la totalidad del área resultando los sistemas Planicie distal y Serranías los más y menos afectados. Puntualizando en lo demostrado por el sistema Planicie distal se destaca que, debido a sus características geomorfológicas, se trata de una zona con áreas susceptibles a anegamientos y a la formación de cursos y espejos temporales; lo cual influiría en el mayor incremento de los cuerpos de agua en el período más lluvioso.

**Gráfico 11.** Precipitaciones anuales registradas en el período de estudio en el Partido de Tandil en el período 1989 - 2019.



Fuente: Elaboración personal en base a información proporcionada por EEA INTA Balcarce (2018).

Analizando en conjunto mapas y tablas de transformaciones en los usos del suelo es posible afirmar que en los tres sistemas ecológicos, en las trece UAE's y para las tres fechas consideradas el aumento superficial del uso agrícola está figurado esencialmente por el avance sobre tierras que anteriormente eran pastizales y pasturas. A su vez, el retroceso de esta última clase de uso se caracteriza por una disminución en la cantidad de píxeles que la representaban y por una redistribución sobre áreas que previamente eran agrícolas. Como consecuencia, en el corto plazo se están potenciando SE de abastecimiento pero, al mismo tiempo se observa la existencia de un proceso de degradación, derivado de la disminución de pastizales y pasturas. Este proceso reduce la capacidad de los suelos para proporcionar numerosos SE que actúan tanto a escala local, regional y global (polinización, regulación del agua, regulación climática, recreación); lo cual impactará a largo plazo sobre el suministro de alimentos y fibra para lograr la seguridad alimentaria (Steffen et al., 2015; Bengtsson et al., 2019; Kopittke et al., 2019).

En el caso de las UAE's de la Planicie distal prácticamente todos los cambios de las clases analizadas se deben a intercambios entre áreas agrícolas y de pastizales y pasturas ya que no se detectan áreas urbanas que puedan influir en la distribución de dichos usos.

Puntualizando en la conservación de pastizales y pasturas, el sistema de Serranías exhibe una mejor situación ya que en ambos períodos demuestra que una proporción de píxeles mayor al

50 % permanecieron en dicha categoría. Como se mencionó, en general, la disminución de esta clase no fue de las más altas, manteniéndose superficialmente por encima de las áreas agrícolas. Esto reviste gran importancia ya que estas sierras, pertenecientes al sistema de Tandilia, albergan numerosas especies vegetales que constituyen el hábitat y el alimento para una fauna única; representando áreas clave para la conservación de la biodiversidad pampeana (de Rito et al., 2020). Asimismo, la vegetación de estos ambientes ofrece otros múltiples SE constituyéndose en hábitat para diversos insectos que actúan como controladores biológicos de plagas y polinizadores de pasturas y cultivos agrícolas (Gilarranz et al., 2015); proveyendo forraje para el ganado, especialmente en los meses de invierno, y hierbas de valor medicinal; controlando la erosión; reteniendo sustancias contaminantes en sus raíces; entre otros (Herrera et al., 2017; 2019).

Si bien las transformaciones evidenciadas en el mencionado sistema no tienen la misma magnitud que en los restantes debería efectuarse un monitoreo de estas áreas promoviendo aún más su conservación. Esto se sustenta en la baja conectividad que actualmente exhiben los ambientes serranos sumado a la dominancia de parches (ambientes no transformados) de tamaño pequeño (menor a 10 ha) lo cual podría afectar el funcionamiento del paisaje en general y de los ecosistemas naturales en particular (Jaimes et al., 2019). A su vez, de acuerdo al manejo que se realice de las actividades ganaderas, estas pueden ejercer distintas presiones. En efecto, en el área se realiza un pastoreo invernal de tipo continuo y no controlado (el ganado pastorea libremente en lugares donde la vegetación lo permite) y se siembran especies forrajeras con aplicación previa de herbicida (glifosato) para eliminar arbustos y pastizales (de Rito et al., 2020).

Pese a que la Llanura periserrana se caracteriza por la alta fertilidad de sus suelos (dando lugar a un predominio de la actividad agrícola) al considerar la proporción del área ocupada por el sistema de Planicie distal, este es el que registra una de las mayores transformaciones, especialmente en el segundo período, en cuanto al avance de áreas agrícolas sobre territorios previamente dominados por la ganadería (Somoza et al., 2020). Se evidencia así la ausencia de planificación y conservación de estos espacios aunque poseen una elevada biodiversidad y suministran numerosos SE (Foley et al., 2011; O'Mara, 2012; Bengtsson et al., 2019).

En síntesis los resultados alcanzados permiten afirmar que el área de estudio se caracteriza por un reemplazo de áreas de pastizales y pasturas, que debieran presentar un mayor grado de conservación en virtud de los SE que brindan, por áreas de cultivos agrícolas. Este escenario

es justificado, esencialmente, por el aumento en la demanda mundial de alimentos, y por la aparente mayor rentabilidad en el corto plazo que posee la actividad agrícola (Tamagno et al., 2018), sin considerar los costos de la pérdida de SE.

Esta situación concuerda con las tendencias observadas por Volante et al. (2015) para el sur de Latinoamérica, donde la superficie cultivada se incrementó un 43 % entre 2000/01 y 2010/11.

Dentro de la RPArg Vazquez et al. (2012a), por ejemplo, establecieron que la cuenca del río Quequén Grande manifestó un crecimiento del 39,58 % de la superficie agrícola entre 1988 y 2008; en detrimento del área ganadera que disminuyó en un 36,30 %. Asimismo, a menor escala, regiones cercanas al área de estudio manifiestan realidades similares, tal es el caso del partido Azul donde entre 1995 y 2011 la agricultura avanzó un 173 % y generó una disminución del 41 % de la ganadería (Vazquez et al., 2016); y el partido de Benito Juárez que si bien es una zona históricamente ganadera, demostró un incremento del 111,24 % de la superficie agrícola entre 1989/90-2002/03 y del 124,78 % en 2002/03-2014/15 (Sequeira et al., 2021). Por su parte, el partido de Tres Arroyos manifestó una expansión del 53,31 % del suelo agrícola y una merma de la superficie ganadera que alcanzó un 38,70 % entre 2002 y 2017 (Vazquez et al., 2018). Otros ejemplos que muestran al proceso de agriculturización como denominador común de la región son los partidos de Lobería con un incremento del área agrícola del 65,57 % y un decrecimiento del 34,91 % de aquella destinada a ganadería entre 2003-2011 (Vazquez et al. 2017a); y Necochea con un aumento del 37,83 % de las tierras agrícolas y un descenso del 53,75 % del área ganadera entre 2002-2017 (Vazquez et al., 2019a).

---

# CAPÍTULO III - DEFINICIÓN DE UNIDADES DE AGRICULTURIZACIÓN Y UNIDADES AMBIENTALES EN EL PARTIDO DE TANDIL

---

### **OBJETIVO ESPECÍFICO**

- III. Definir Unidades de Agriculturización (UAG) considerando la dinámica diferencial en los cambios de uso del suelo generados por el avance de la agricultura al interior del Partido.
- Determinar Unidades Ambientales (UA) a partir de la fusión de aspectos ecológicos y relacionados a la aptitud para fines rurales (UAE) y de aspectos asociados a la forma de ocupación y apropiación de los recursos naturales con fines productivos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Definición de Unidades de Agriculturización

Ante la intención de coleccionar, generar e interpretar información de aquellos recursos que permitan evaluar el uso de la tierra, el uso combinado de sistemas de información geográfica (SIG) y sensores remotos o teledetección, que posibilitan la vinculación espacial de distintas fuentes de información, juega un rol destacado para el mapeado, interpretación, cálculo de áreas y monitoreo de la dinámica espacio- temporal del uso y cobertura de la tierra a escala de paisaje (Lara, 2016; Shi et al., 2012; Fandos et al., 2019).

Con el objetivo de definir las UAG y lograr caracterizar las diferenciaciones en los cambios de uso de suelo generados por el avance de la agricultura al interior del partido, es decir, a escala de UAE, se examinaron los resultados obtenidos en los capítulos previos. Por un lado, se empleó el mapa en el cual se establecieron las trece UAE que conforman el Partido (Capítulo I). Por otro lado, se emplearon las tres clasificaciones supervisadas de las imágenes satelitales a partir de las cuales se analizaron las transformaciones de los principales usos del suelo del Partido (Capítulo II) (**Figura 13, 14 Y 15**).

En primera instancia, se construyeron en el software ENVI 5.3 máscaras para cada una de las UAE, partiendo de vectores creados en el SIG y se aplicaron individualmente a cada una de las tres clasificaciones supervisadas.

Luego, se obtuvieron los datos estadísticos pertenecientes a los píxeles asociados a los usos del suelo por UAE. Dichos datos al ser analizados y convertidos permitieron la obtención de los valores de superficie destinados a cada tipo de cobertura por año y por UAE. Si bien se procesaron los valores de superficie de todos los usos del suelo por UAE para la confección de las UAG se emplearon específicamente se calcularon las variaciones en la superficie destinada a la actividad agrícola y a pastizales y pasturas, asociados principalmente a la actividad ganadera y a zonas de recreación por año.

El análisis de los valores fue dividido en dos períodos conformados por los años 1989-2004 y 2004-2019 para los cuales se calculó el porcentaje de variación de la superficie destinada a agricultura. Luego, en el software Qgis, dichos valores se ingresaron como datos a las tablas de atributos de los *shapefile* asociados a cada UAE por año.

La definición espacial de las UAG del primer y segundo período, finalmente, resultó del proceso de categorización de los porcentajes de variación de la superficie agrícola. Para ello, se empleó el algoritmo de optimización de Jenks mediante el cual se identifican los puntos de



corte entre clases generando “*natural breaks*” o de intervalos naturales. El software busca obtener clases que presenten elevada homogeneidad interna, con máximas variaciones entre sí, para el número de intervalos que haya sido especificado previamente. Los límites entre clases son definidos teniendo en cuenta las diferencias importantes (saltos) en la distribución de las frecuencias del indicador por período seleccionado (Jenks, 1967). Las categorías cualitativas asignadas relativas al proceso de agriculturización fueron: Baja o nula, Media, Alta y Muy alta. Las clases correspondientes a las Unidades de Agriculturización de ambos períodos corresponden a los intervalos presentados en la **Tabla 23**.

**Tabla 23.** Intervalos de clases de agriculturización del período 1989 – 2004 y 2004 – 2019.

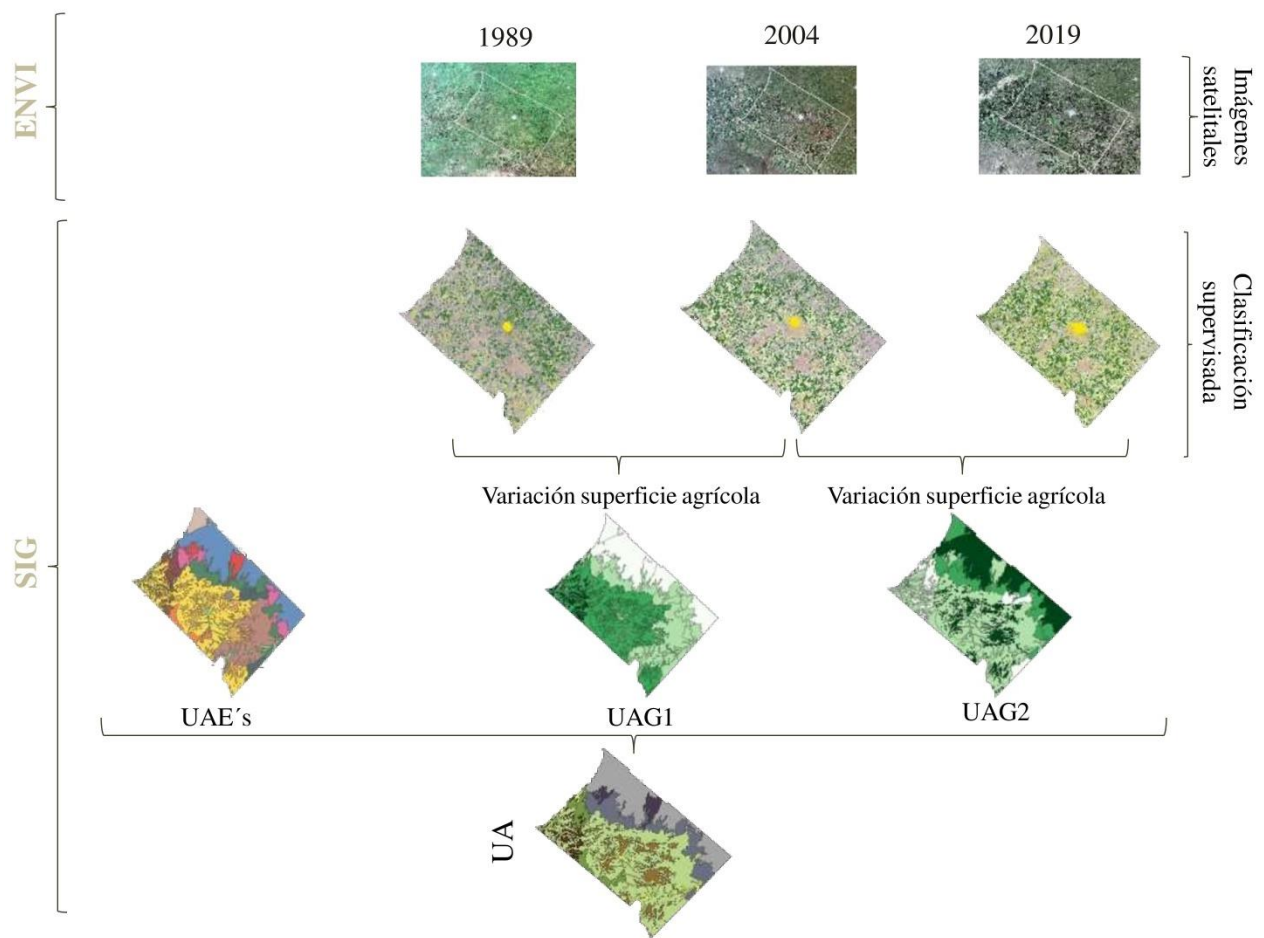
|             | 1989 – 2004 (UAG1) | 2004 – 2019 (UAG2) |
|-------------|--------------------|--------------------|
| Baja o nula | 0 - 10,7           | 0 - 13,4           |
| Media       | 10,7 - 35,9        | 13,4 - 21,1        |
| Alta        | 35,9 - 57,8        | 21,1 - 28,3        |
| Muy alta    | 57,8 - 98,3        | 28,3 - 38,9        |

### **Definición de Unidades Ambientales**

Las Unidades Ambientales (UA) contemplan no solo aspectos ecológicos y relacionados a la aptitud para fines rurales, sino también aspectos asociados a la agriculturización como proceso ligado a una forma de ocupación y apropiación de los recursos naturales con fines productivos. Por consiguiente, su establecimiento fue el resultado de la integración de las UAE y las UAG correspondientes a los períodos 1989-2004 y 2004-2019.

El procedimiento involucró la integración de los mapas temáticos desarrollados en las secciones previas (Syrbe et al. 2017; Haines-Young & Potschin, 2017; Wolff et al. 2015, Bastian et al. 2013). Para la obtención de las UA se emplearon las características y los mapas correspondientes a las UAE y a las UAG del primer y segundo período respectivamente (**Figura 16**).

**Figura 16.** Diagrama metodológico para la definición de Unidades de agriculturización y Unidades Ambientales.



## RESULTADOS

### Definición de Unidades de Agriculturización

En primera instancia, como se mencionó en el apartado metodológico, se definieron UAG de manera tal de evidenciar la territorialización del agronegocio en el partido de Tandil. Para ello, inicialmente, se calcularon las variaciones en la superficie destinada a la actividad agrícola y a PyP, asociados principalmente a la actividad ganadera y a zonas de recreación. La **Tabla 24** expone el incremento o decrecimiento evidenciado en dichas superficies en cada UAE.

**Tabla 24.** Modificaciones en la superficie agrícola y de pastizales y pasturas en las UAE del partido de Tandil durante los períodos 1989 – 2004 y 2004 – 2019.

| UAE         | Agrícolas |        |        | PyP*   |        |        | % de variación agrícola |             | % de variación PyP |             |
|-------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------------------|-------------|--------------------|-------------|
|             | 1989      | 2004   | 2019   | 1989   | 2004   | 2019   | 1989 - 2004             | 2004 - 2019 | 1989 - 2004        | 2004 - 2019 |
| <b>LLP1</b> | 44,20     | 68,88  | 82,55  | 62,29  | 37,11  | 23,44  | 55,83                   | 19,84       | -40,42             | -36,85      |
| <b>LLP2</b> | 58,75     | 92,75  | 103,70 | 72,68  | 38,55  | 27,74  | 57,86                   | 11,82       | -46,96             | -28,05      |
| <b>LLP3</b> | 565,71    | 806,71 | 977,60 | 771,26 | 524,15 | 331,07 | 42,60                   | 21,18       | -32,04             | -36,84      |
| <b>LLP4</b> | 308,62    | 389,38 | 462,62 | 291,07 | 209,77 | 137,10 | 26,17                   | 18,81       | -27,93             | -34,64      |
| <b>LLP5</b> | 80,07     | 100,08 | 113,12 | 69,61  | 49,50  | 36,56  | 25,00                   | 13,03       | -28,89             | -26,14      |
| <b>LLP6</b> | 80,74     | 109,79 | 131,67 | 89,73  | 60,57  | 38,86  | 35,98                   | 19,93       | -32,50             | -35,85      |
| <b>PD1a</b> | 212,32    | 258,75 | 318,44 | 203,53 | 156,52 | 97,44  | 21,87                   | 23,07       | -23,10             | -37,75      |
| <b>PD1b</b> | 113,81    | 137,39 | 174,88 | 127,17 | 102,91 | 66,09  | 20,72                   | 27,29       | -19,08             | -35,78      |
| <b>PD2</b>  | 73,19     | 74,12  | 86,47  | 59,55  | 58,56  | 46,27  | 1,27                    | 16,66       | -1,66              | -21,00      |
| <b>PD3a</b> | 50,37     | 55,78  | 71,57  | 63,01  | 56,60  | 41,79  | 10,74                   | 28,31       | -10,16             | -26,17      |
| <b>PD3b</b> | 385,80    | 409,26 | 568,65 | 542,38 | 516,34 | 359,53 | 6,08                    | 38,95       | -4,80              | -30,37      |
| <b>S1</b>   | 91,04     | 137,33 | 189,59 | 347,31 | 300,00 | 241,93 | 50,83                   | 38,06       | -13,62             | -19,36      |
| <b>S2</b>   | 41,85     | 83,01  | 94,16  | 107,27 | 66,10  | 54,96  | 98,35                   | 13,43       | -38,38             | -16,85      |

\*PyP: Pastizales naturales y Pasturas artificiales

En base a las modificaciones en los usos del suelo evidenciadas se calcularon las Unidades de agriculturización correspondientes a los dos períodos de análisis, 1989 – 2004 (UAG1) y 2004 – 2019 (UAG2). El algoritmo empleado en el SIG permitió obtener cuatro niveles de intensidad con respecto a las demostradas transformaciones en las superficies productivas que surgen de los intervalos cualitativos: “Baja o nula”, “Media”, “Alta” y “Muy alta” para cada

período. La configuración espacial de las UAG correspondientes al período 1989 – 2004 se observa en la **Figura 17** y aquellas UAG propias del período 2004 – 2019 en la **Figura 18**. Por otra parte, los porcentajes de variación de usos del suelo correspondientes a áreas agrícolas y ganaderas (asociadas en este caso a pastizales y pasturas) se presentan en los **Gráficos 12 y 13**.

#### ***Unidades de Agriculturización primer período: 1989 – 2004 (UAG1)***

Las UAE que exhiben un nivel de agriculturización bajo o nulo durante el primer período son las PD2, PD3b y PD3a representando el 23,80% del total del partido. El primer caso corresponde a planicies de lomas planas donde el uso del suelo imperante era agrícola. En cambio, los paisajes de PD3 están asociados a abundantes u ocasionales lomadas sobreimpuestas, respectivamente, en las que primaba la clase de uso de PyP. Por un lado, los principales obstáculos de dichas unidades para el avance de la agricultura en ese entonces se relacionan a un escurrimiento lento y permeabilidad lenta que se intensifican en PD3b. Por otro lado, la producción ganadera intensiva continuaba siendo rentable en dichos espacios.

El 31,96% de la superficie del partido reporta, en este período, un nivel de agriculturización medio. Aquellas UAE que manifestaron una intensidad media en las transformaciones agroproductivas han sido PD1a y PD1b (planicies muy suavemente inclinadas), LLP5, LLP4 (asociadas a llanuras onduladas que conforman una matriz espacial con abundantes lomas) y LLP6 (paisaje de llanuras aluviales).

En el caso de estas UAE, a excepción de LLP6, presentan índices de productividad (IP) buenos (LLP4 y 5) a muy buenos (PD1a y b), capacidad de uso agrícola (CU) y dominancia de suelos Argiudoles típicos. El grado de avance de la actividad agrícola en dichas superficies se vincula a zonas donde la agricultura ya era la actividad dominante, o compartía su dominancia con el uso ganadero, aunque era llevada a cabo con planteos menos intensivos. Si bien la UAE LLP6 corresponde a llanuras aluviales asociadas a complejos de suelos indiferenciados se comporta a semejanza de la matriz productiva en las cuales se encuentran inmersas debido a su distribución geográfica. Se observa tanto para las UAG de nivel medio como de nivel alto que responden a UAE en las cuales predominaban, previamente, establecimientos agrícolas volcados a la producción de cultivos anuales de renta (trigo, soja, maíz y girasol) (exceptuando a S1).

La mayor superficie (41,23 %) del partido (**Gráfico 14**) se encuentra, en este período, con un nivel de agriculturización alto y corresponde a LLP3, S1, LLP1 y LLP2. Con respecto a las Llanuras periserranas, sus paisajes corresponden a lomas extendidas que si bien no presenta los IP más elevados del partido resultan moderados y no presentan obstáculos para el desarrollo de la actividad agrícola.

No obstante, el paisaje relacionado a la UAE S1, paisaje serrano con abundantes afloramientos rocosos, presenta abundantes limitaciones al avance de la agricultura vinculadas a cuerpos edáficos poco evolucionados y de escasa profundidad debido a la existencia de contactos líticos, IP bajo y CU VI. Su nivel de agriculturización es resultado de la combinación de varios factores. Por un lado, un paisaje que no había sido intervenido hasta entonces por otra actividad agrícola (actividad minera y forestal dominante). Por otro lado, una distribución geográfica en parches sobre el territorio que genera que la matriz en la que se encuentra inserta la UAE la inflencie directamente (UAG de niveles altos).

Los mismos factores son aplicables para la UAE S2 (3% de la superficie total) con el nivel de agriculturización más elevado evidenciado en el partido en el primer período. En este caso, el paisaje serrano de lomas moderadamente onduladas con escasos afloramientos rocosos y cuerpos edáficos más o menos desarrollados, algunas veces profundos favoreció el intenso avance agrícola en un primer período.

**Figura 17.** Unidades de Agriculturización período 1989 – 2004 (UAG1).

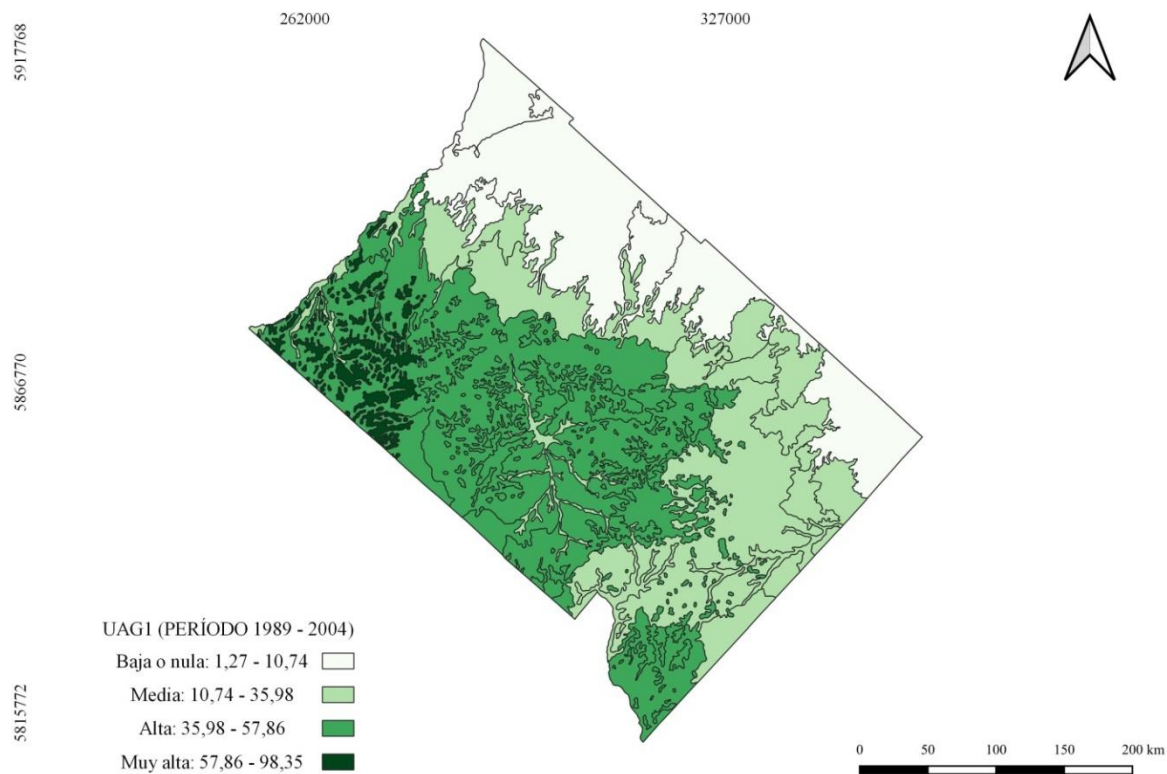
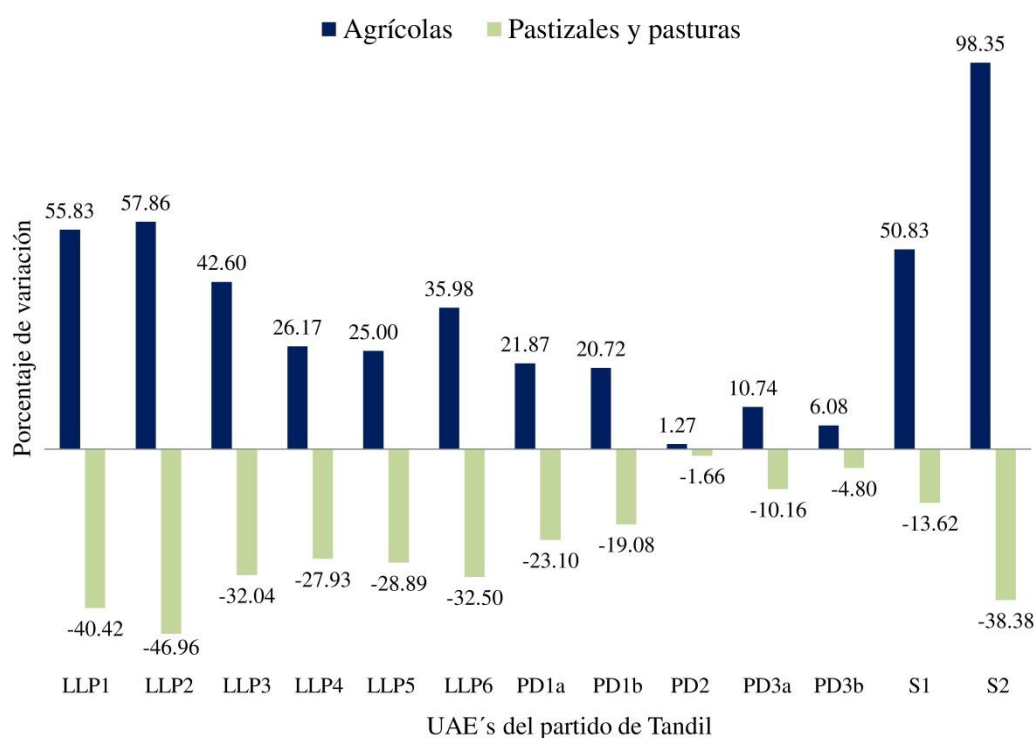


**Gráfico 12.** Variación de superficie agrícola y de pastizales y pasturas en las UAE's de Tandil (1989 – 2004).



### ***Unidades de agriculturización período: 2004 – 2019 (UAG2)***

La modificación sustancial que se desprende del **Gráfico 13** es el incremento de superficie total del Partido que posee un proceso de agriculturización de intensidad muy alta. Específicamente, las UAG2 con grado de agriculturización muy alto son las UAE PD3b, S1 y PD3a y representan el 30,03% de la superficie total del Partido. Tal y como se evidencia, las mencionadas dificultades ecológicas y productivas halladas en ambas UAE no representan obstáculos inquebrantables para la intensificación y expansión agrícola.

Particularmente en el paisaje serrano del Partido, la agriculturización avanzó en el primer período de manera intensa en S2, pero en el segundo las limitaciones impidieron la continuidad del proceso. De hecho, la UAE S2 corresponde a las UAG de nivel bajo o nulo en este período junto con las UAE's LLP5 y LLP2 cuyas superficies ya se encontraban cubiertas por cultivos anuales. En total, las UAG de intensidad baja ocupan el menor porcentaje del Partido (8,72%). De esta manera, la actividad comenzó a expandirse sobre sectores con pendientes más pronunciadas en S1 y sobre zonas ocupadas, previamente, por planteo mixto agrícola ganadero o por actividad de cría y recría de ganado sobre pastos nativos en PD3a y PD3b.

La UAG2 de nivel medio (20,48% de la superficie total de Tandil) son las UAE's LLP6, LLP1, LLP4 y PD2. Sin embargo, se observa una dinámica heterogénea del proceso de agriculturización dentro de cada unidad. Por un lado, las UAE LLP4 y 6 mantienen un avance de la actividad agrícola de nivel medio. Por otro lado, LLP1 exhibe una agriculturización decreciente ya que su nivel en período previo correspondía a un nivel alto. En estos casos, el proceso se mantiene o merma debido a que los paisajes ya estaban siendo utilizados y transformados intensivamente debido a sus potencialidades y características agroproductivas.

En cambio, PD2 exhibe un proceso contrario de agriculturización ascendente (al igual que el resto de las UAE de las Planicies Distantes) que responde a una intensificación tardía en comparación al proceso observable en las Llanuras periserranas. Este proceso se traduce en la transformación drástica de estos paisajes a través de insumos externos y el confinamiento de la actividad ganadera en producciones intensivas o en los sectores más bajos situados al noroeste del Partido.

**Figura 18.** Unidades de Agriculturización período 2004– 2019 (UAG2).

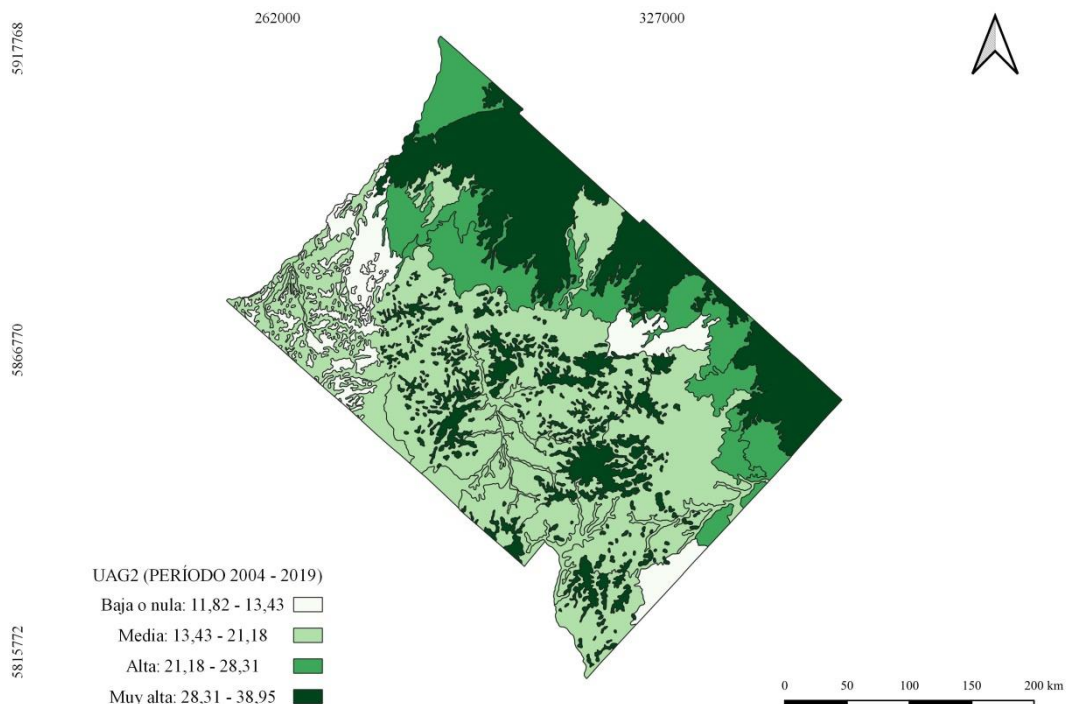
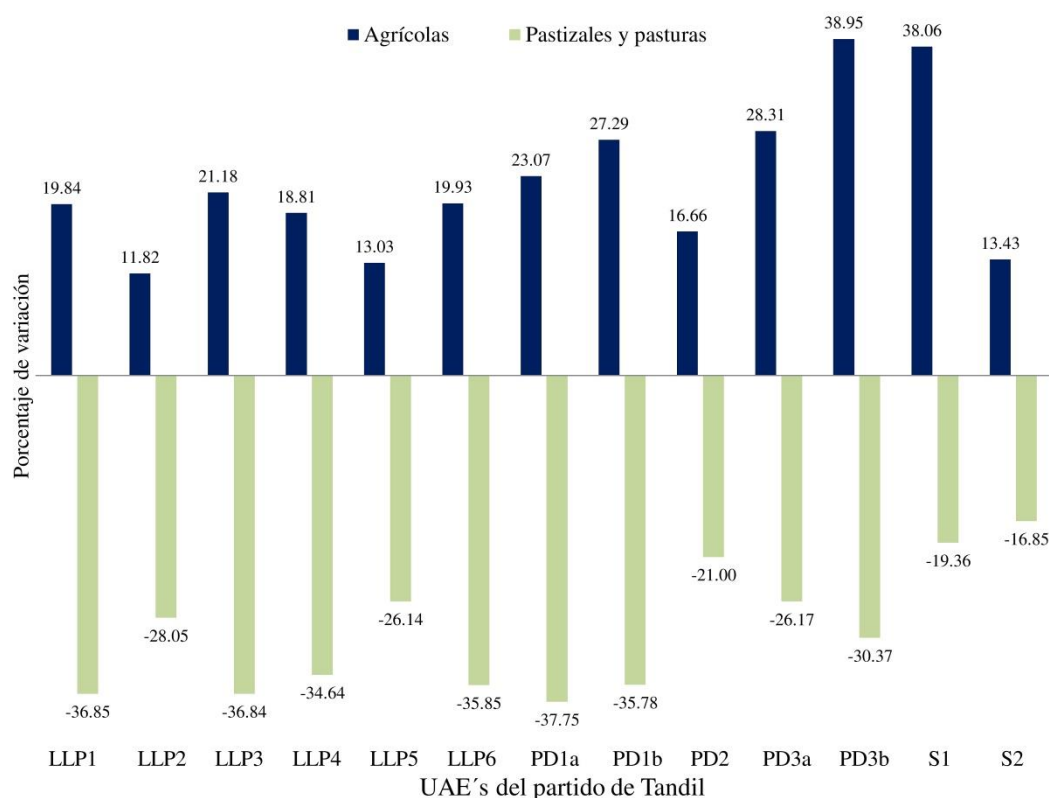


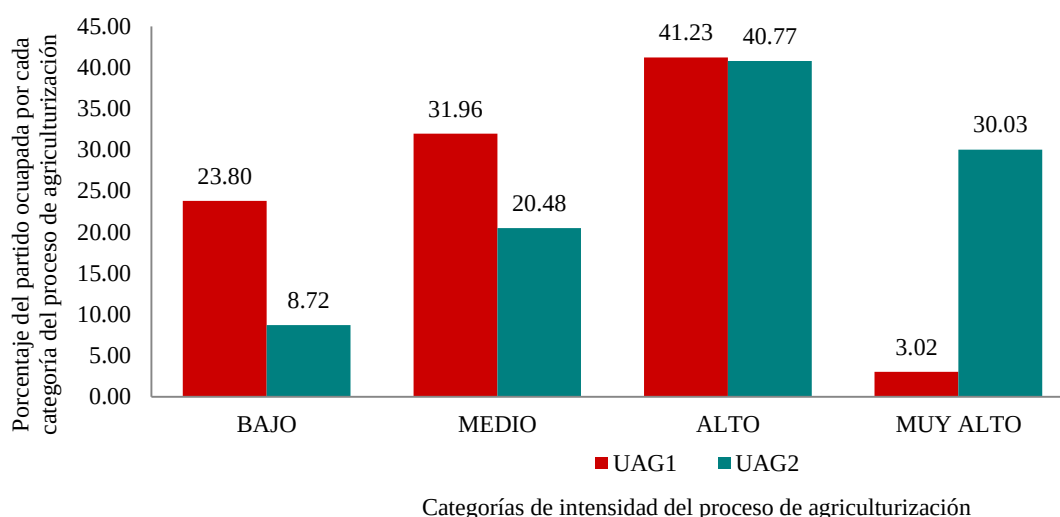
**Gráfico 13.** Variación de superficie agrícola y de pastizales y pasturas en las UAE's de Tandil (1989 – 2004).





Como acontece en el primer período, el período 2004 - 2019, presenta en la mayor parte del territorio UAG de intensidad alta (40,77% de la superficie del Partido) (**Gráfico 14**). Corresponden a este caso las UAE PD1b, PD1a y LLP3. Se observa en estas áreas una continuidad e intensificación del proceso de agriculturización de nivel medio (PD1) y alto (LLP3) evidenciado en el período previo en ellas.

**Gráfico 14.** Porcentaje del territorio correspondiente distintos niveles de intensidad del proceso de agriculturización en los dos períodos de análisis.



### Definición de Unidades Ambientales (UA)

La fusión de las UAE's y las UAG1 y UAG2 dio como resultado las ocho UA, representadas en la **Figura 19** y **Tabla 25**, que enfatizan sobre la heterogeneidad de ambientes presentes en el partido de Tandil. Es así que en cada una de ellas se integran aspectos ecológicos y productivos junto con la dinámica e intensidad asociada a los procesos de transformaciones de usos del suelo imperantes en cada una.

**Figura 19.** Unidades Ambientales.

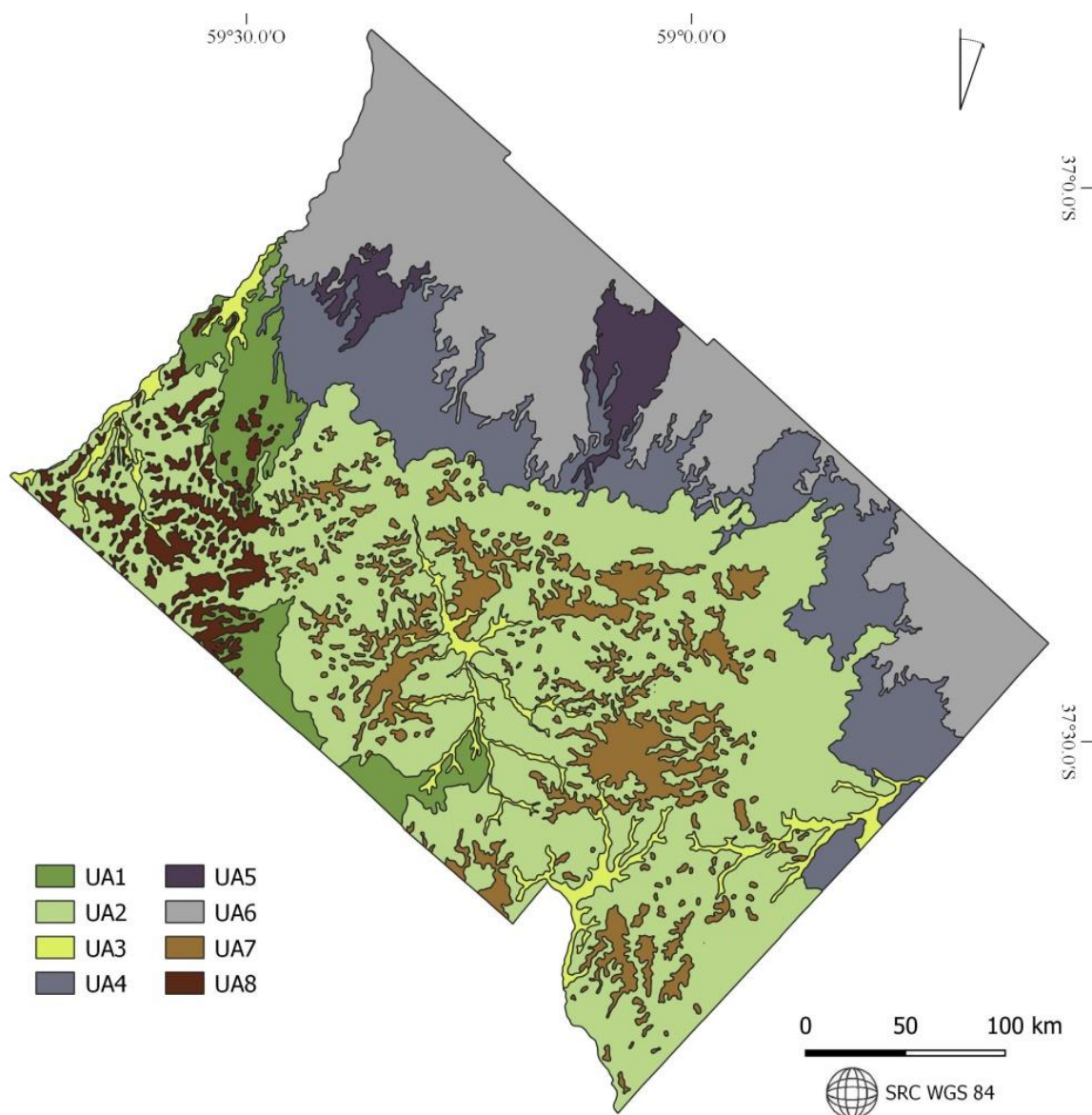


**Tabla 25.** Principales características que definen las UA.

|                                                      |      | UAE                                                             |                                                                                                                                        |                                |       |     | UAG 1 | UAG 2 | UA                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------|-----|-------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SEP                                                  | UAE  | Geoforma del paisaje                                            | Descripción morfoedáfica                                                                                                               | Suelo dominante                | IP    | C U |       |       |                                                                                                                              |
| SISTEMA ECOLOGICO PAISAJISTICO LLANURAS PERISERRANAS | LLP1 | Paisajes de lomas extendidas                                    | Llanura ligera a muy ligeramente ondulada conformando una matriz espacial en la que difunden pequeñas depresiones                      | <i>Argiudo l petro-cálcico</i> | 59,97 |     | A     | M     | UA1 - Paisajes de lomas extendidas que presentan un PA de intensidad descendente                                             |
|                                                      | LLP2 |                                                                 | Llanura ligeramente ondulada conformando una matriz espacial con lomadas sobreimpuestas, que a veces presentan crestas rocosas         |                                | 60,27 |     | A     | B     |                                                                                                                              |
|                                                      | LLP3 | Paisaje serrano ondulado con pendientes suaves, medias y largas | Llanura ondulada conformando una matriz espacial con abundantes lomadas sobre-impuestas                                                | <i>Argiudo l típico</i>        | 68,20 |     | A     | M     | UA2 - Paisaje serrano ondulado con pendientes suaves, medias y largas que presentan un PA de intensidad continua descendente |
|                                                      | LLP4 |                                                                 | Llanura ondulada conformando una matriz espacial con abundantes lomas sobre-impuestas                                                  |                                | 65,17 | III | M     | M     |                                                                                                                              |
|                                                      | LLP5 |                                                                 | Llanura ondulada conformando una matriz espacial con abundantes lomas sobreimpuestas que presentan formaciones superficiales profundas |                                | 79,29 |     | M     | B     |                                                                                                                              |
|                                                      | LLP6 | Paisajes suavemente ondulados que asocian áreas deprimidas.     | Llanuras aluviales. Asocia complejos de suelos indiferenciados                                                                         | Complejo de suelos             | 33,60 |     | M     | M     | UA3 - Paisajes suavemente ondulados que asocian áreas deprimidas que presentan un PA continua                                |
| GICO PAISAJISTICO PLANIC                             | PD1a | Planicies muy suavemente inclinadas                             | a micro depresiones, a veces integradas a vías de escurrimiento                                                                        | <i>Argiudo l típico</i>        | 74,37 | III | M     | A     | UA4 - Planicies muy suavemente inclinadas que conforman una                                                                  |

|                                          |      |                                             |                                                                                                                                                                                                                                        |                              |       |    |    |    |                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------|------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------|----|----|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SISTEMA ECOLOGICO PAISAJISTICO SERRANÍAS | PD1b | que conforman una matriz espacial asociada  | a vías de drenaje y lomas pronunciadas                                                                                                                                                                                                 |                              | 83,76 | II | M  | A  | matriz espacial que presenta un PA de intensidad ascendente                                                                                             |
|                                          | PD2  | Planicies de lomas planas                   |                                                                                                                                                                                                                                        | <i>Argiudol típico</i>       | 81,33 | II | B  | M  | UA5 - Planicies de lomas planas que presentan un PA de intensidad ascendente                                                                            |
|                                          | PD3a | Planicies que conforman una matriz espacial | Abundantes                                                                                                                                                                                                                             | <i>Argiudol típico</i>       | 57,55 | II | B  | A  | UA6 - Planicies que conforman una matriz espacial con                                                                                                   |
|                                          | PD3b | con lomadas sobreimpuestas                  | Ocasionales                                                                                                                                                                                                                            | <i>Natrudol típico</i>       | 45,18 | IV | B  | MA | lomadas sobreimpuestas que presentan un PA intensidad ascendente                                                                                        |
|                                          | S1   |                                             | Abundantes afloramientos rocosos. Cuerpos edáficos poco evolucionados y de escasa profundidad debido a la existencia de contactos líticos                                                                                              | <i>Hapludol lítico</i>       | 30,8  | VI | A  | MA | UA7 - Formaciones serranas con abundantes afloramientos rocosos que presentan un PA de intensidad ascendente                                            |
|                                          | S2   | Formaciones serranas                        | Lomas moderadamente onduladas, pronunciadas, escasos afloramientos rocosos. Cuerpos edáficos más o menos desarrollados, algunas veces profundos y más frecuentemente de escasa profundidad debido a la existencia de contactos líticos | <i>Argiudol petrocálcico</i> | 42,0  | IV | MA | B  | UA8 - Formaciones serranas con lomas moderadamente onduladas, pronunciadas, escasos afloramientos rocosos que presentan un PA de intensidad descendente |

\*Leyenda: SEP: Sistema ecológico – paisajístico; UAE: Unidad agroecológica; UAG1: Unidad de agriculturización período 1989 – 2004; UAG2: Unidad de agriculturización período 2004 - 2019; UA: Unidad ambiental; IP: índice de productividad; CU: capacidad de

uso; PA: proceso de agriculturización; B: PA nulo o bajo; M: PA medio; A: PA alto; MA: PA muy alto.

En la Llanura periserrana, las UA1, UA2 y, en menor medida la UA3, han sido el escenario donde las mutaciones descritas fueron radicales. La superficie correspondiente a dichas unidades ha sido convertida en más del 75% entre 1989 y 2019. Las UA4, UA5 y UA6, ubicadas en la Planicie distal, son áreas de PyP en las cuales la actividad ganadera aún persiste (no sólo intensivamente en sistemas de engorde a corral). No obstante, vale mencionar que, en muchos sectores, dicha actividad ha sido confinada a zonas con mayores riesgos productivos y económicos debido a las limitaciones en las condiciones de drenaje. En el SE de Serranías, UA 7 y UA8, las mayores presiones a la transformación productiva se encuentran en las áreas colindantes con la Llanura periserrana. Perduran aquí, en los sectores más elevados de dicho sistema y de roquedales, áreas de pastizales naturales en donde deberían enfocarse posibles actividades de conservación de vegetación nativa. Debido a sus peculiaridades ecológicas son las unidades de mayor vulnerabilidad ante el avance del PA.

## DISCUSIÓN

Los valores presentados dan cuenta de un cambio sustancial en el destino productivo de las áreas agropecuarias. La modificación más radical se encuentra en la variación de superficie agrícola y de PyP. Las UAG1 exhiben un PA de intensidad alta en UAE correspondientes a las Llanuras periserranas en las cuales predominaban, previamente, establecimientos agrícolas volcados a la producción de cultivos anuales de renta (trigo, soja, maíz, girasol) aunque era llevada a cabo con planteos menos intensivos.

Se observan, a escala departamental, magnitudes de cambio elevados en el primer período. El mismo, contempla como punto inicial una fecha correspondiente al contexto productivo previo a la eclosión de un importante proceso de cambio tecnológico y de una nueva lógica empresarial vinculada a la siembra directa.

Para finales de este primer período de análisis los impactos de las decisiones tomadas en el agro en la década de los noventa como el ingreso de los cultivos genéticamente modificados en especial las primeras sojas RR asociadas al herbicida glifosato, siembra directa y todo su manejo tecnológico asociado comienzan a hacerse evidentes.

Los resultados evidenciados en el período 1989-2004 dan cuenta del pasaje de una función técnica sencilla a otra más compleja con fuerte presencia de insumos industriales y conocimiento científico y tecnológico. En términos técnicos se reemplazó la tecnología de proceso (pasaje del arado a la siembra directa, fumigación/fertilización intensiva, nuevo sistema de almacenaje en silo bolsa) y la tecnología de producto (la semilla se modifica mediante modernas técnicas de biología y la maquinaria agrícola responde al concepto de SD) (Anlló et al., 2015). Se configura, entonces, un nuevo paradigma tecno-productivo en el que la producción agrícola se concentra en unos pocos cultivos de alto rendimiento y las soluciones a los problemas tienden a centralizarse en una reducida variedad de opciones (Otero, 2013).

Diversos autores (Bisang, Anlló y Campi, 2008; Campi, 2013; Gras y Hernández, 2016) señalan que entre las principales modificaciones evidenciadas en el primer período se hallan: cambios en las formas de producción, de apropiación de los recursos, del uso de la tierra y los recursos naturales, de cambio tecnológico, de intensificación en el uso de insumos, de nuevo conocimiento de gestión agropecuaria, de manejo del capital económico y financiero, de los recursos humanos y de impactos y trade-offs ambientales pobremente evaluados, más allá de la escala creciente en la producción anual de los cultivos de exportación.



Durante el segundo período de análisis se observa que los planteos agrícolas y ganaderos se vuelven más intensivos. En las UAG2 la intensidad alta del PA se asocia a UAE de las Planicies Distales zonas ocupadas, previamente, por planteos mixtos agrícola ganaderos o por actividad de cría y recría de ganado sobre pastos nativos. Se evidencia que dificultades ecológicas y productivas, principalmente vinculadas a las UAE S1 y S2, no representan obstáculos inquebrantables para la intensificación y expansión agrícola.

Desde el punto de vista económico y particularmente desde el año 2004 la tendencia en el cambio de los precios internacionales de las materias primas genera una presión de demanda de tierras para cultivos que motoriza un proceso de agricultura continua (agriculturización) y “desganaderización” de la región (Teubal, 2009; Pengue, 2014; Pengue y Rodríguez, 2018).

A la intensificación productiva se suman los incrementos de riesgos productivos y ecológicos. Se observa cómo el PA se expande hacia los sectores bajos del partido delimitados por el SEP de Planicie Distal. Auer et al. (2019), en este sentido, plantean que las nuevas tecnologías permitieron avanzar sobre suelos bajos o someros, impactando en su conservación, dado que la sustentabilidad del proceso de agriculturización está ligada a su aptitud agrícola. El PA avanza directamente en detrimento de UAE's donde primaban PyP ante el impedimento que encuentra, por un lado, en la Llanura periserrana donde el planteo agrícola, ya dominante explotaba la capacidad de los agroecosistemas al ciento por ciento y, por otro lado, en las Serranías donde imperan dificultades ecológicas y productivas. La expulsión de la ganadería de las zonas con mayor aptitud agrícola junto con su intensificación (terminación de los animales en corral) disminuyeron la superficie destinada a esta actividad, aumentaron la presión de pastoreo sobre la vegetación natural de áreas con limitantes para la siembra de cultivos (Jacobo et al., 2016) y provocaron un desplazamiento de la ganadería hacia zonas marginales Tal como sostienen Tiscornia et al. (2014) se vuelve imperante una correcta regulación y planificación de la expansión de las áreas cultivadas.

Finalmente, la definición de UA ha permitido la conjugación y armonización de aspectos ecológicos (tipos de suelo, drenaje, pendiente, geomorfología, vegetación), agrarios y productivos (aptitud de uso de las tierras e índice de productividad), y de la dinámica que surge ellos (relación sociedad – naturaleza). El análisis integrado de distintos atributos permite el reconocimiento de potencialidades y restricciones de las unidades territoriales, definir modalidades de uso y aprovechamiento sustentable de los recursos y el monitoreo del

logro de objetivos (Montico, 2013). En este contexto, la generación de estrategias en los agroecosistemas que contemplen la diversidad ecosistémica desde el enfoque de la sustentabilidad constituye un aspecto central para garantizar el mantenimiento de la capacidad productiva de los recursos y la conservación de los SE.

En este sentido, sectores donde aún persisten PyP presentan potencial para recibir estímulos tendientes a promover e incentivar la actividad ganadera en el área. Dichos incentivos, como certificaciones productivas, podrían funcionar como instrumentos de gestión con enfoque sistémico brindando competitividad a los agroecosistemas de la región y permitiendo la adopción de acciones encaminadas a lograr la máxima racionalidad en el proceso de decisión relativo a la conservación, defensa y protección del ambiente. Un claro ejemplo de estas certificaciones son los Sistemas Participativos de Garantías (SPG) que basados en la confianza garantizan la calidad de productos y procesos a través de mecanismos en los que participan directamente las organizaciones de productores, instituciones de apoyo y consumidores. Son considerados como una norma emergente de evaluación de conformidad con estándares de producción orgánica y agroecológica (Pino Andrade, 2017).

Si bien desde el ámbito académico y municipal se han elaborado, inter y multidisciplinariamente planes de ordenamiento (Erbiti y Dillon, 2006; Municipalidad de Tandil - Ordenanza N°. 9865) no han sido capaces de proponer un número significativo de líneas de actuación y propuestas con enfoque ambiental concretas a los problemas acuciantes identificados en áreas con diferentes condiciones agroecológicas.

Por este motivo, de acuerdo a Paruelo (2011) surge la necesidad de implementar un sistema de seguimiento de los cambios en el nivel de provisión de SE que vuelva factible su incorporación a la planificación del territorio y la toma de decisiones. Por consiguiente, la generación de estrategias en los agroecosistemas que contemplen la diversidad ecosistémica desde el enfoque de la sustentabilidad constituye un aspecto central para garantizar el mantenimiento de la capacidad productiva de los recursos y la conservación de los SE (Blandi et al., 2020). Parte de esta situación es producto de la superespecialización de la ciencia en la cual el pensamiento simplificador ya no posee suficiente fuerza para explicar a partir de principios simples la complejidad (Osorio Gracia, 2012). El agroecosistema debe ser percibido como sistemas abiertos en el cual su existencia y el mantenimiento de su diversidad

resultan inseparables de interrelaciones con el entorno a través de las cuales el sistema extrae materia y energía.

De esta manera, la definición de UA pretende superar la mencionada individualización de saberes en la ciencia al contemplar, temporalmente, no solo aspectos ecológicos y productivos sino también rasgos ligados a formas de ocupación y apropiación de los recursos naturales evidenciables a través del proceso de agriculturización. Este proceso, si bien se sirve de características físicas y biológicas del entorno, es un producto social motorizado por determinado contexto regional económico y sociocultural. Las transformaciones en el sistema socio-ecológico afectan directamente al territorio rural, acentuando la inequidad en términos de bienestar de la comunidad local.

Al determinar la intensidad del PA se hace referencia también al escenario socio-económico imperante en el área. Por ejemplo, aquellas unidades que exponen un PA de intensidad más elevada se asocian a territorios en los cuales, por un lado, algunos productores agropecuarios (los más grandes) y ciertos sectores de las economías regionales resultaron beneficiados económicamente como consecuencia de la concentración de la estructura agraria. Por otro lado, este mismo proceso implicó para los pequeños productores, con escasa capacidad de acceso al capital económico, el arrendamiento a terceros o la venta de sus explotaciones, llevando esto a una simplificación de la estructura social rural y generando un debilitamiento de las comunidades rurales locales, con desaparición de pequeños y medianos productores (Gras y Hernández, 2016).

Paruelo (2016) describe principios que contribuyeron a determinar el colapso de sistemas socioecológicos, por pérdida de capital natural, social o cultural, que no fueron capaces de adaptarse y/o no manifestaron un comportamiento resiliente que les permitiera mantenerse. Las UA proporcionan un diagnóstico ambiental que permite superar el obstáculo planteado por el autor que identifica como principales factores una definición deficiente del problema y la incapacidad de captar aspectos fundamentales de la dinámica o tendencias.

Por un lado, resulta indispensable considerar que los esfuerzos productivos deben enfocarse en la intensificación ecológica sostenible del uso de la tierra basada en tecnologías de procesos, en el reemplazo de ciertos factores de producción por otros (por ejemplo, procesos ecológicos para reemplazar agroquímicos) y en conocimientos transdisciplinarios. (Satorre y Bert, 2014; Andrade et al., 2017).

Por otro lado, en cuanto a aspectos sociales se deberá avanzar en el desarrollo equitativo e inclusivo de los territorios partiendo de instancias participativas de decisión estrechamente vinculadas a modelos de gobernanza que reclaman la articulación entre diversos tipos de agentes y la posibilidad de generar pactos que acuerden visiones de conjunto acerca del modelo de sociedad que se quiere consolidar (Sandoval et al., 2015). A su vez, será necesario promover procesos de transformación y agregado de valor a la producción primaria para favorecer la generación de beneficios económicos y de empleo, en línea con la economía circular. La misma, constituye una propuesta pragmática y efectiva que permitiría desvincular el crecimiento económico del incremento en el consumo de recursos a través de la redefinición e innovación en los procesos, la organización y el empleo de materiales y productos en base a criterios de eco-eficiencia (Alonso y Pozas, 2020).

A partir de la delimitación de unidades, en este caso correspondiente al partido de Tandil, pero factibles de extrapolarse a otros territorios de igual o mayor escala, se procura identificar nuevas vías de análisis para proponer políticas de actuación concretas orientadas al ordenamiento territorial tendientes al uso del territorio según las características agroecológicas y sociales de cada región.

---

## CAPÍTULO IV - INCIDENCIA DE LA AGRICULTURIZACIÓN SOBRE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE REGULACIÓN: CONSERVACIÓN DE LA CALIDAD DE SUELO Y AGUA Y CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

---

## **OBJETIVO ESPECÍFICO**

IV. Evaluar la incidencia de la agriculturización sobre la provisión de SE de regulación en las UA del partido de Tandil, en las fechas seleccionadas, empleando indicadores de sustentabilidad. Particularmente, se evalúan el estado de provisión del servicio ecosistémico de conservación de la biodiversidad y de la calidad de suelo y agua.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Según Cowling et al. (2008) la cuantificación biofísica de los SE es un paso esencial hacia la implementación exitosa de acciones para salvaguardarlos. Desafortunadamente muchos SE no pueden cuantificarse directamente por lo que el uso de indicadores es indispensable. Con la finalidad de evaluar temporalmente la pérdida de SE de regulación en el partido de Tandil y en sus diferentes UA se construyeron y aplicaron indicadores de sustentabilidad (Layke et al., 2012; Maes et al., 2016). Fue necesaria la previa identificación y análisis de las transformaciones en los usos del suelo mediante sensores remotos, la definición de Unidades de Agriculturización (UAG) y Unidades Ambientales (UA). Particularmente se evalúa el estado de provisión del SE de conservación de la biodiversidad (CB) y de la calidad de suelo y agua (CCSA).

La incidencia del PA sobre los SE se estimó mediante el cálculo de indicadores obtenidos del Software Agro-Eco-Index, desarrollado por Viglizzo (2003), con modificaciones realizadas a partir de los datos disponibles (Vazquez y Zulaica, 2012; Vazquez y Zulaica, 2013). Ambos indicadores adoptan un valor comprendido entre 0 y 1 que expresan la peor y la mejor condición de conservación, respectivamente. Han sido aplicados a escala de partido y a escala de UA de manera tal de analizar cuáles de estas son más propensas a ser afectadas por el PA, y donde se hace más relevante aplicar criterios referidos a la gestión ambiental y ordenamiento territorial, tanto por las actividades agropecuarias, como por las condiciones naturales de las mismas.

Luego, partiendo de los vectores creados en un Sistema de Información Geográfica (Qgis 3.8.1), se definieron para el primer período (1989-2004) y segundo período (2004-2019) categorías cualitativas (bajo, medio y alto) para determinar el deterioro en la provisión de los servicios. De esta manera, se expresan espacialmente las modificaciones en la provisión de los SE evaluados en cada una de las UA del partido. Para ello, se empleó el algoritmo de optimización de Jenks mediante el cual se identifican los puntos de corte entre clases generando intervalos naturales (Burkhard y Kruse, 2017).

### **Indicador del servicio de Conservación de la biodiversidad (CB)**

Para la estimación del servicio de CB se consideraron las principales actividades desarrolladas en el área de estudio. Este indicador refleja el estado de conservación del hábitat en un área determinada que depende de los procesos productivos impuestos sobre la biodiversidad mediante el uso de determinados coeficientes (**Tabla 26**). El indicador compara la vegetación

actual con la potencial (aquella que se supone habría si el ser humano no hubiese intervenido en el proceso sucesional) a través de “Puntos de Impacto”, donde mayores puntuaciones representan mayores efectos negativos sobre la biodiversidad. En este sentido, la herramienta tiene en consideración el nivel de conservación del hábitat, lo cual luego se traduce en un mayor o menor sostenimiento de la biodiversidad.

**Tabla 26.** Coeficientes utilizados para estimar el CB.

| Cantidad de especies                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Este es el coeficiente que se considera de mayor importancia relativa, y se asignan 10 puntos de impacto si existe un cambio significativo (tanto pérdida como ganancia de especies) en la cantidad de especies debido a la intervención humana y 0 puntos si no hay cambio.                                                              |
| Origen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Se asignan 7,5 puntos de impacto si una proporción significativa de las especies presentes en la vegetación actual son introducidas a un determinado ecosistema. Se parte del supuesto que la vegetación nativa, al haber coexistido con la fauna nativa, tiene mayor capacidad de servirle de hábitat que la vegetación exótica.         |
| Periodicidad                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Referida a la vegetación dominante. Si la vegetación potencial era perenne y es reemplazada por especies anuales (aún si fueran nativas), se asignan al potrero correspondiente 5 puntos de impacto. Lo mismo sucede si la vegetación potencial era mayoritariamente anual y pasa a ser perenne.                                          |
| Organización en estratos verticales                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Se asume que una mayor cantidad de estratos se corresponde con una mayor disponibilidad de sitios para su utilización como hábitats naturales. Por consiguiente, un cambio en este número determina un cambio en la capacidad de provisión de refugio y alimento de los ecosistemas. Se asignan 2,5 puntos de impacto cuando esto ocurre. |
| Organización en sub-estratos verticales                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Tiene un nivel de importancia relativa menor e incluye los cambios en la cantidad de sub-estratos dentro de alguno (o algunos) de los estratos principales.                                                                                                                                                                               |

Fuente: Vazquez y Zulaica (2012); Viglizzo (2003).

Para obtener el valor del indicador de CB en el partido de Tandil se suman los coeficientes obtenidos para cada actividad o uso del suelo, determinados por las imágenes clasificadas en trabajos antecedentes (Somoza et al., 2021; Somoza y Vazquez, 2022) y se divide dicha sumatoria por 26 (para obtener un valor de cero a uno). Posteriormente, los valores obtenidos para cada actividad se multiplican por un coeficiente de ponderación que expresa la superficie ocupada por cada actividad en el partido.

Para obtener el indicador de CB por UA el valor inicial del cpSupAc fue reemplazado por el valor de la proporción de la superficie destinada a cada actividad en cada una de las unidades



para 1989, 2004 y 2019. El CB queda expresado como se muestra a continuación en la ecuación:

$$CB = 1 - \sum cpSupAc * \left( \frac{Ce + Or + Pe + Oev + Osv}{26} \right)$$

Dónde: CB, es el indicador de Conservación de la Biodiversidad; *cpSupAc*, es el coeficiente de ponderación que indica la proporción de la superficie del partido ocupada por uso del suelo, obtenida a partir de la clasificación supervisada de imágenes satelitales; Ce, es el coeficiente relativo a la cantidad de especies; Or, indica el coeficiente referido al origen; Pe, expresa el coeficiente de periodicidad; Oev, es el coeficiente de organización de estratos verticales; y Osv, corresponde al coeficiente de estratos subverticales.

### **Indicador del servicio de Conservación de la calidad de suelos y agua (CCSA)**

Refiere a la conservación de los recursos relacionada específicamente con el uso de productos fitosanitarios. Sobre la base de la información aportada por entrevistas a informantes calificados, productores del área de estudio y representantes del municipio y recetas agronómicas se obtuvieron datos sobre el empleo de los principales herbicidas, insecticidas y funguicidas aplicados en 1989, 2004 y 2019.

Una vez obtenido el conjunto de fitosanitarios más utilizados en cada fecha se obtuvo el promedio en litros de cada producto para, finalmente, aplicar la fórmula:

$$CCSA = 1 - \frac{\left( \frac{1000}{DL50} \left[ \frac{Ksp + R}{2} + Koc + T^{1/2} \right] \times C \times S \right)}{1000000000}$$

Dónde: DL 50, es el promedio de la dosis letal de los principales plaguicidas utilizados, que determina la toxicidad de los compuestos; Ksp, es el promedio de la solubilidad en agua de los principales plaguicidas utilizados; R, expresa la permeabilidad del suelo en las capas superficiales; Koc, es el promedio de coeficientes de adsorción de los compuestos por la fase orgánica del suelo; T<sup>1/2</sup>, es el promedio de la vida media de los productos utilizados; C, expresa la cantidad de producto aplicada por unidad de superficie; y S, es la superficie total en la cual se aplica el producto (en este caso, corresponde a las áreas agrícolas del partido obtenidas a partir de la clasificación supervisada de imágenes satelitales).

La toxicidad, expresada como 1000/DL50 (mil dividido la dosis letal media oral para ratas macho, expresada en mg/Kg de peso corporal), es el único factor que no es relativo. Los valores de toxicidad de cada producto, teniendo en cuenta su formulación comercial, se obtienen de la clasificación recomendada por la OMS de los plaguicidas por el peligro que presentan y directrices para la clasificación (OMS, 2020). Los datos correspondientes a los factores restantes se obtuvieron de diversas fuentes como: Acciaresi y Principiano (2019); EPA (2021) y NPIC (2021). Para ellos se utilizan valores relativos de 1 a 5, obtenidos de Viglizzo (2003).

El primero de los factores relativos corresponde a la solubilidad en agua del producto (KSP), asociada al riesgo de que el mismo (o alguno de sus metabolitos) llegue al acuífero y pueda, por consiguiente, afectar a la población humana, al ganado abrevado o a los cultivos irrigados. Este factor se asocia (a través de una semisuma) con la capacidad de recarga del acuífero (R), estimada a partir de la permeabilidad del suelo en las capas superficiales. También se incluye como coeficiente a la adsorción del compuesto por la fase orgánica del suelo (KOC) ya que aquellos plaguicidas que tengan altos valores relativos de adsorción tendrían en teoría menor movilidad en el suelo y no presentarían toxicidad durante mayor cantidad de tiempo mientras se encuentren adsorbidos por el mismo. El último de los factores por los que se afectó a la toxicidad fue la vida media del producto ( $T_{1/2}$ ) relacionada directamente con la posibilidad de que el mismo entre en contacto con seres vivos a los que podría afectar negativamente.

Finalmente, se multiplican los factores descriptos por la dosis aplicada y la superficie de aplicación en cada caso y se suman los valores de todos los productos fitosanitarios empleados tanto a escala de partido como de UA.

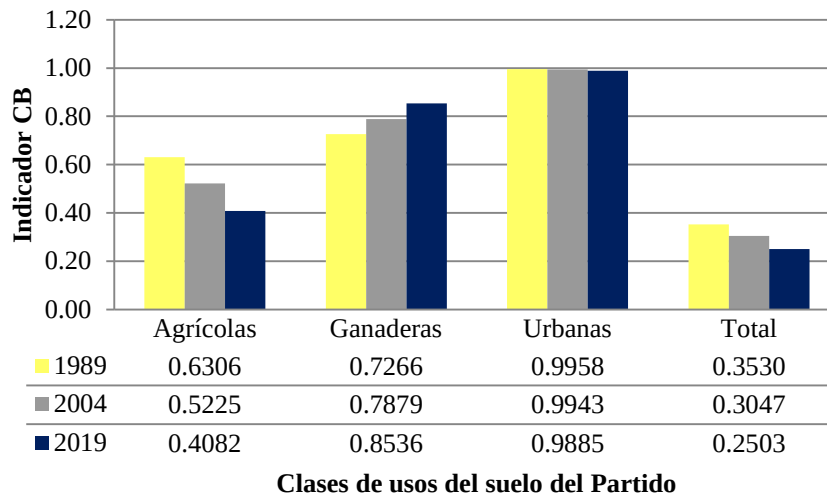
## RESULTADOS

### Indicador del servicio ecosistémico: Conservación de la biodiversidad

#### *Conservación de la biodiversidad en el partido de Tandil y en sus Unidades Ambientales*

Tanto en el partido de Tandil en general como en cada una de sus UA se observa una mayor incidencia de la actividad agrícola sobre el SE de CB en concordancia con el avance del PA (Gráfico 1 y 2). A escala de partido, en el primer período (1989 – 2004) el valor del indicador disminuye un 13,68%. Luego, en el segundo período (2004 - 2019) se evidencia un descenso mayor de 17,86%. El **Gráfico 15** expone que la superficie con mayor deficiencia en la provisión del SE es aquella correspondiente a áreas agrícolas. En contraste, la provisión del servicio es mayor en áreas de pastizales y pasturas naturales dedicadas a la ganadería. Si bien, las áreas urbanas presentan los mejores valores para el diagnóstico del CB cabe destacar que dichos datos se vinculan a una superficie menor en comparación a la dedicada a actividades agropecuarias.

**Gráfico 15.** Indicador CB para las distintas clases de uso del suelo del partido de Tandil en los años 1989, 2004 y 2019.



En todas las UA el indicador decrece año a año y por consiguiente la provisión del servicio resulta cada vez más afectada. Se desprende del **Gráfico 16** y la **Figura 20** que las UA que presentan la peor situación con respecto a la CB en 1989 son las UA5 y UA4 correspondientes a las Planicies Distales, seguidas por las UA de paisajes de Llanuras Periserranas. La mejor situación con respecto al indicador en 1989 es la de las UA asociadas a paisajes serranos. Dicha condición se perpetúa tanto en 2004 como en 2019. No obstante, vale

destacar que particularmente la UA8 exhibe el mayor porcentaje de incremento de la incidencia del proceso productivo en sus ecosistemas correspondientes al primer período 1989 – 2004. Sin embargo, en el segundo período 2004 - 2019 las UA correspondientes a las Llanuras Periserranas (UA1, UA3 y UA2) poseen los valores más bajos del indicador, por tanto la situación más comprometida.

**Gráfico 16.** Indicador CB para las UA del partido en 1989, 2004 y 2019.

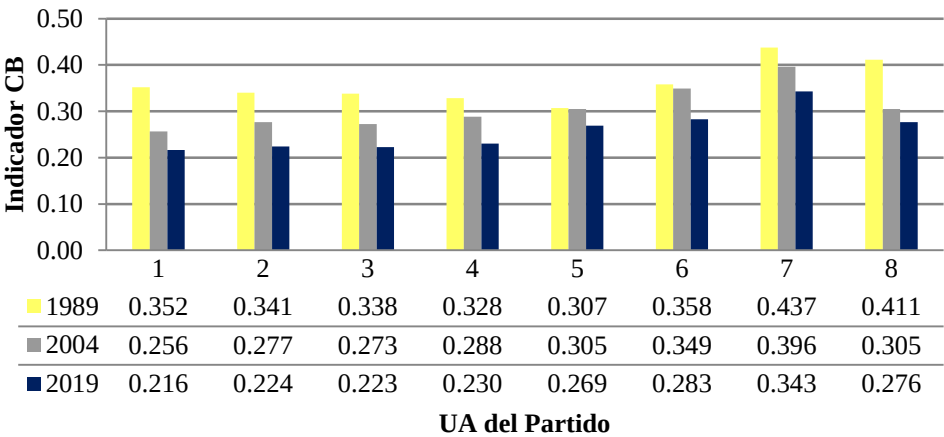
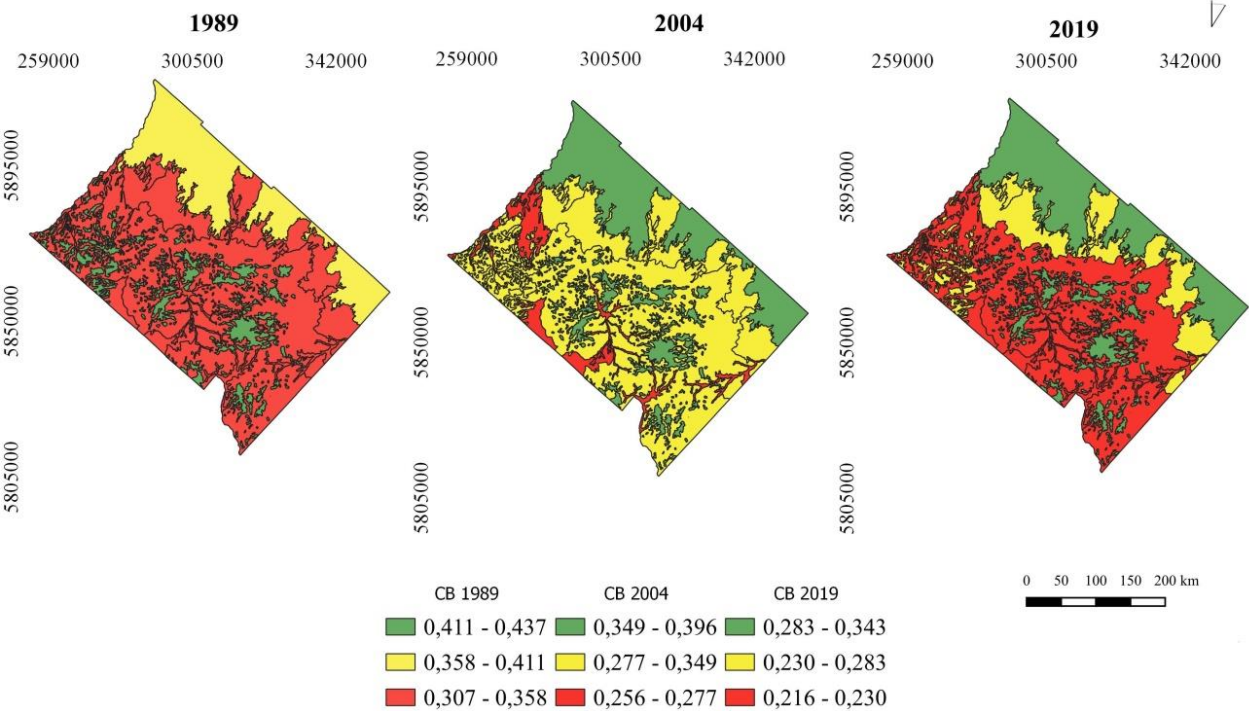


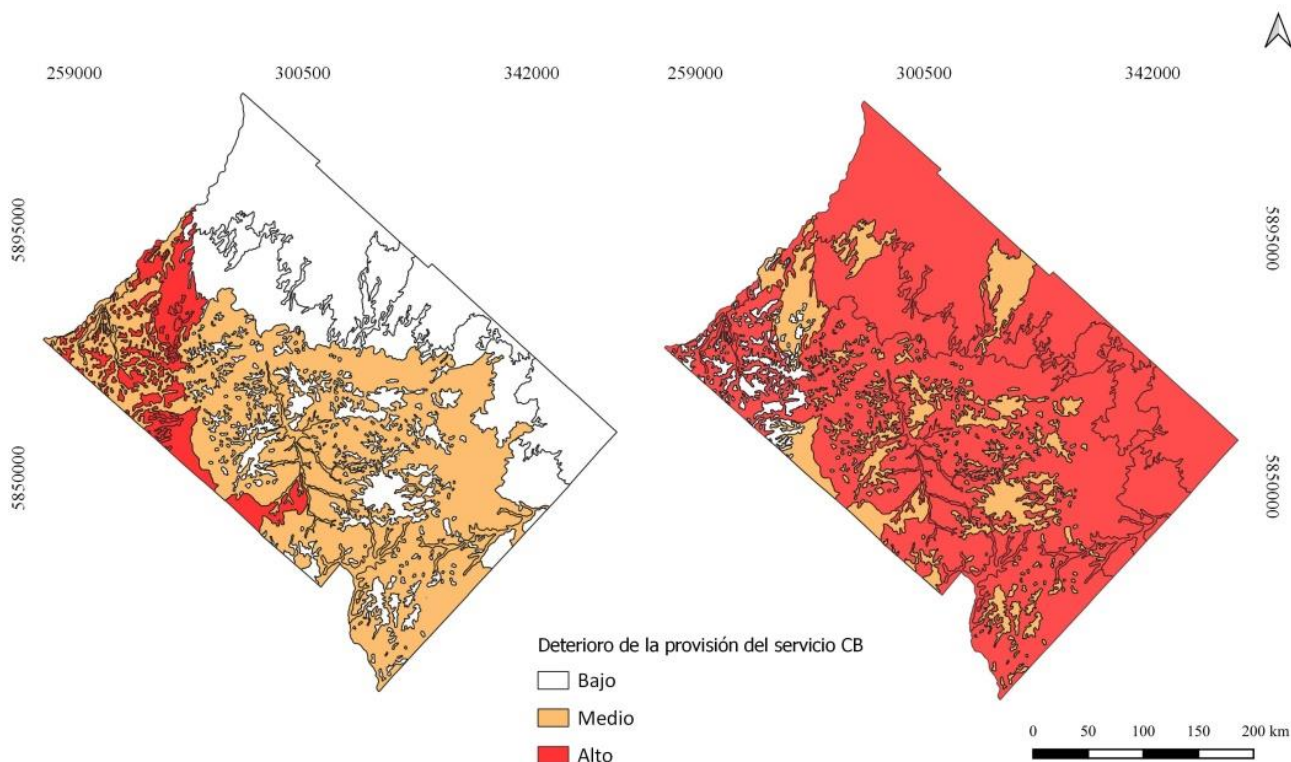
**Figura 20.** Evolución de la provisión del servicio CB en las UA de Tandil.



Por otro lado, la **Figura 21** exhibe, espacialmente, las modificaciones evidenciadas en el deterioro de la provisión del servicio de CB de cada UA del partido por períodos de análisis

(1989-2004 y 2004-2019) clasificado en bajo, medio y alto. A partir de ella, se describe el estado de provisión del servicio de CB para las UA de cada sistema ecológico paisajístico.

**Figura 21.** Tasa de variación del servicio de CB entre 1989-2004 y 2004-2019 por UA.



#### *Provisión del servicio CB en las UA de la Llanura Periserrana*

Con respecto a los porcentajes de cambio en el valor del indicador todas las UA de las LLP presentan valores elevados de descenso en ambos períodos. Los resultados muestran que el PA impacta con elevada incidencia y constantemente a través del tiempo en dichos ecosistemas. En la UA1, paisaje de lomas extendidas que históricamente han sido explotados y transformado por sus características agroecológicas, el elevado porcentaje de descenso en el indicador (27% más bajo) durante el primer período de análisis coincide con un PA alto. Luego, en el segundo período los valores medios de descenso en el indicador en estas unidades responden a un declive en la intensidad del PA asociado principalmente a la dominancia histórica de la actividad agrícola. En estos sistemas ambientales la intensificación de la actividad lleva al límite la capacidad productiva de los ecosistemas.

En el caso de la UA2, paisaje ondulado con pendientes suaves, medias y largas y elevados índices de productividad, si se considera el cambio en la situación con respecto al indicador de CB dentro de la propia unidad, este resulta constante en ambos períodos de análisis. El

riesgo para la CB aumenta un 18,7% en el primer período y un 19% en el segundo. Sin embargo, al analizar la situación con respecto al resto de las UA se observa que mientras que en el primer período posee un porcentaje de cambio medio, en el segundo período posee uno de los valores más elevados (el 2º más alto). Si bien el PA es descendente, al igual que en UA1, en este caso en particular los sistemas ambientales no están completamente dedicados a la actividad agropecuaria intensiva en el primer período (agriculturización media en la mayoría de su territorio). Por este motivo, el proceso continúa su intensificación durante el segundo período lo cual se traduce en valores constantes de cambio en el indicador.

En la UA3 con paisajes suavemente ondulados pero, a diferencia de UA2, asociados a áreas deprimidas y llanuras aluviales y un PA de intensidad media continua durante el período de estudio, las modificaciones en el descenso del indicador CB también resultan constantes. En este sentido, se comprueba un comportamiento semejante al de la UA2, sistema paisajístico en el cual esta unidad se encuentra inserta.

#### *Situación de la provisión del servicio CB en las UA de la Planicie distal*

Se observa en las UA asociadas a paisajes de planicies suaves, UA4, UA5 y UA6 un salto abrupto en el porcentaje de cambio del indicador de un período a otro 12% a 20%, 0,80% a 11,87% y de 2,51% a 19%, respectivamente. Dicha modificación en los valores es coincidente con las transformaciones evidenciadas en el PA. Las mencionadas UA pasan de un proceso productivo caracterizado por una intensidad baja relacionada a sistemas productivos mixtos, rotaciones y ganadería extensiva, a una intensidad alta y muy alta llevada a cabo en sistemas agrícolas desacoplados de la actividad ganadera y dependiente de insumos externos para superar obstáculos relacionados a tierras bajas. Para 1989 la situación con respecto al indicador CB es la más desfavorable para las UA5 y UA4, que presentan los valores más bajos. No obstante, para las fechas 2004 y 2019, el escenario en estas unidades es más favorable que en las LLP. Esto no quiere decir, sin embargo, que se haya evidenciado una mejora en la CB y el panorama se haya revertido, sino que la situación es más crítica en los territorios asociados a las Llanuras Periserranas.

#### *Situación de la provisión del servicio CB en las UA de las Sierras*

Los paisajes de formaciones serranas se comportan de manera diferencial no sólo con respecto al PA sino también a la variación en el valor del indicador CB. Vale destacar que ambas UA, 7 y 8, exhiben la situación menos crítica con respecto al indicador CB durante los períodos

considerados. Particularmente, la UA7 pasa de una caída en el valor del indicador de 9,49% durante 1989 – 2004 a 13,29% durante 2004 – 2019 vinculado a un PA ascendente cuya intensidad varía de alta a muy alta. Por su parte, la UA8 presenta el comportamiento contrario ya que en esta unidad ambiental la actividad agrícola se expandió durante el primer período (PA de intensidad muy alta) para luego disminuir su intensidad para el período 2004 – 2019 (PA de intensidad baja). En asociación, el porcentaje de cambio en el CB es el más elevado durante el primer período (pasa de 25,80 a 9,44 en el segundo período).

### **Indicador del servicio ecosistémico: Conservación de la calidad de suelos y agua**

#### ***Modificaciones en el empleo de productos fitosanitarios y CCSA***

Al analizar este indicador se evidencia que la provisión del servicio de regulación de calidad de suelos y agua disminuye 2,8% en el período 1989 – 2004 y un 8,93% en el período 2004 – 2019. Por un lado, esto sucede debido a la cantidad de producto aplicado por unidad de superficie (con un aumento del 5357,70%) y, por otro lado, al aumento del 60,22% de la superficie en la que se emplean durante los 30 años de estudio.

Las **Tabla 27, 28 y 29** muestran los principales productos fitosanitarios empleados en las áreas de cultivo en 1989, 2004 y 2019, con los parámetros a evaluar. El indicador que refleja la calidad del SE de calidad de suelo y agua, en 1989 arroja un valor de 0,991, en 2004 de 0,963 mientras que, en 2019 desciende a 0,877.

**Tabla 27.** Indicador CCSA para el partido de Tandil - 1989.

|      | Plaguicidas  | 1000/DL50 | KSP | R | Koc | T 1/2 | C | S     | CCSA |
|------|--------------|-----------|-----|---|-----|-------|---|-------|------|
| 1989 | Herbicidas   |           |     |   |     |       |   |       |      |
|      | Picloran     | 0,122     | 5   | 4 | 5   | 3     |   |       |      |
|      | Paraquat     | 6,667     | 5   | 4 | 5   | 5     |   |       |      |
|      | Clorimurón   | 0,244     | 4   | 4 | 4   | 3     |   |       |      |
|      | 2,4 D        | 1,333     | 3   | 4 | 5   | 2     |   |       |      |
|      |              |           |     |   |     |       |   | 0,200 |      |
|      | Insecticidas |           |     |   |     |       |   |       |      |
|      | Cipermetrina | 4,000     | 1   | 4 | 2   | 3     |   |       |      |
|      | Endosulfán   | 12,500    | 1   | 4 | 2   | 3     |   |       |      |
|      | Clorpirifos  | 3,700     | 1   | 4 | 3   | 3     |   |       |      |
|      | Metamidifós  | 47,620    | 5   | 4 | 5   | 1     |   |       |      |
|      | Aldrin       | 25,641    | 2   | 4 | 2   | 2     |   |       |      |
|      | DDT          | 8,850     | 1   | 4 | 1   | 5     |   |       |      |
|      |              |           |     |   |     |       |   | 0,100 |      |
|      | Funguicidas  |           |     |   |     |       |   |       |      |

|               |       |       |       |       |       |       |            |       |  |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|-------|--|
| Propiconazole | 0,658 | 3     | 4     | 4     | 3     |       |            |       |  |
| Tebuconazole  | 0,588 | 2     | 4     | 4     | 5     |       |            |       |  |
|               |       |       |       |       |       | 0,150 |            |       |  |
| Totales       | 9,327 | 2,750 | 4,000 | 3,500 | 3,167 | 0,450 | 210648,036 | 0,991 |  |

Referencias: DL 50: dosis letal media de los principales plaguicidas utilizados, que determina la toxicidad de los compuestos (mg kg<sup>-1</sup>); Ksp: la solubilidad en agua de los principales plaguicidas utilizados (g g<sup>-1</sup>); R: expresa la permeabilidad del suelo en las capas superficiales (4 corresponde al valor establecido para la Pampa Austral); Koc: coeficientes de adsorción de los compuestos por la fase orgánica del suelo (g g<sup>-1</sup>); T½: vida media de los productos utilizados (días); C: expresa la cantidad de producto aplicada por unidad de superficie (l ha<sup>-1</sup>); S: es la superficie total en la cual se aplica el producto (ha); y CCSA: Conservación de la calidad de suelos y agua.

**Tabla 28.** Indicador CCSA para el partido de Tandil - 2004.

| Plaguicidas           | 1000/<br>DL50 | KSP | R | Koc | T 1/2 | C      | S | CCSA |
|-----------------------|---------------|-----|---|-----|-------|--------|---|------|
| <b>Herbicidas</b>     |               |     |   |     |       |        |   |      |
| 2,4-D                 | 1,333         | 3   | 4 | 5   | 2     |        |   |      |
| M C P A               | 1,428         | 5   | 4 | 5   | 2     |        |   |      |
| Dicamba               | 0,586         | 5   | 4 | 5   | 1     |        |   |      |
| Metsulfuron           | 0,200         | 4   | 4 | 5   | 3     |        |   |      |
| Imazapir              | 0,200         | 4   | 4 | 4   | 2     |        |   |      |
| Imazapir + Imazetapir | 0,200         | 4   | 4 | 5   | 4     |        |   |      |
| Atrazina              | 0,500         | 2   | 4 | 4   | 3     |        |   |      |
| Glifosato             | 0,178         | 5   | 4 | 2   | 3     |        |   |      |
| Acetocolor            | 0,419         | 3   | 4 | 4   | 2     |        |   |      |
| Foramsulfuron +       |               |     |   |     |       |        |   |      |
| Iodosulfuron          | 0,200         | 5   | 4 | 5   | 2     |        |   |      |
| Prosulfuron +         |               |     |   |     |       |        |   |      |
| Triasulfuron          | 0,290         | 4   | 4 | 5   | 4     |        |   |      |
|                       |               |     |   |     |       | 13,848 |   |      |
| <b>Insecticidas</b>   |               |     |   |     |       |        |   |      |
| Clorpirifos           | 3,700         | 1   | 4 | 3   | 3     |        |   |      |
| Acefato               | 1,058         | 5   | 4 | 5   | 1     |        |   |      |
| Cipermetrina          | 4,000         | 1   | 4 | 2   | 3     |        |   |      |
| Gamma Cialotrina      | 1,953         | 1   | 4 | 2   | 3     |        |   |      |
|                       |               |     |   |     |       | 2,162  |   |      |
| <b>Funguicidas</b>    |               |     |   |     |       |        |   |      |
| Epoxiconazole         | 0,500         | 1   | 4 | 4   | 5     |        |   |      |

2004



|                      |       |   |   |   |   |
|----------------------|-------|---|---|---|---|
| Tebuconazole         | 0,588 | 2 | 4 | 4 | 5 |
| Diniconazole + Tiram | 1,565 | 1 | 4 | 4 | 5 |
| Propiconazole        | 0,658 | 3 | 4 | 4 | 3 |
| 1,979                |       |   |   |   |   |

Totales 1,029 3,105 4,000 4,053 2,947 12,384 272321,80 0,963

Referencias: DL 50: dosis letal media de los principales plaguicidas utilizados, que determina la toxicidad de los compuestos (mg kg-1); Ksp: la solubilidad en agua de los principales plaguicidas utilizados (g g-1); R: expresa la permeabilidad del suelo en las capas superficiales (4 corresponde al valor establecido para la Pampa Austral); Koc: coeficientes de adsorción de los compuestos por la fase orgánica del suelo (g g-1); T½: vida media de los productos utilizados (días); C: expresa la cantidad de producto aplicada por unidad de superficie (l ha-1); S: es la superficie total en la cual se aplica el producto (ha); y CCSA: Conservación de la calidad de suelos y agua.

**Tabla 29.** Indicador CCSA para el partido de Tandil - 2019.

| Plaguicidas                                     | 1000/<br>DL50 | KSP | R | Koc | T 1/2 | C | S | CCSA |
|-------------------------------------------------|---------------|-----|---|-----|-------|---|---|------|
| Herbicidas                                      |               |     |   |     |       |   |   |      |
| 2,4-D                                           | 1,333         | 3   | 4 | 5   | 2     |   |   |      |
| M C P A                                         | 1,428         | 5   | 4 | 5   | 2     |   |   |      |
| Dicamba                                         | 0,586         | 5   | 4 | 5   | 1     |   |   |      |
| Iodosulfuron Metil sodio +<br>Metsulfuron Metil | 0,200         | 5   | 4 | 5   | 1     |   |   |      |
| Picloram                                        | 0,122         | 5   | 4 | 5   | 3     |   |   |      |
| Imazetapir                                      | 0,200         | 4   | 4 | 5   | 4     |   |   |      |
| Atrazina                                        | 0,500         | 2   | 4 | 4   | 3     |   |   |      |
| Paraquat Dicloruro                              | 6,667         | 5   | 4 | 5   | 5     |   |   |      |
| Flumioxazin                                     | 0,500         | 2   | 4 | 5   | 4     |   |   |      |
| Flurocloridona                                  | 0,250         | 2   | 4 | 5   | 3     |   |   |      |
| Cletodim                                        | 0,200         | 4   | 4 | 5   | 1     |   |   |      |
| Diclosulam                                      | 0,200         | 1   | 4 | 4   | 3     |   |   |      |
| Glifosato                                       | 0,178         | 5   | 4 | 2   | 3     |   |   |      |
| Bromoxinil                                      | 5,260         | 2   | 4 | 4   | 1     |   |   |      |
| Aclonifen                                       | 0,200         | 2   | 4 | 2   | 2     |   |   |      |
| Fomesafen                                       | 0,800         | 2   | 4 | 3   | 4     |   |   |      |
| Saflufenacil                                    | 0,500         | 4   | 4 | 5   | 2     |   |   |      |
| Pinoxaden + Cloquintocet                        |               |     |   |     |       |   |   |      |
| Mexil                                           | 0,500         | 3   | 4 | 4   | 1     |   |   |      |
| Carfentrazone Etil                              | 0,250         | 2   | 4 | 4   | 1     |   |   |      |
| Sulfentrazone                                   | 0,480         | 3   | 4 | 5   | 5     |   |   |      |

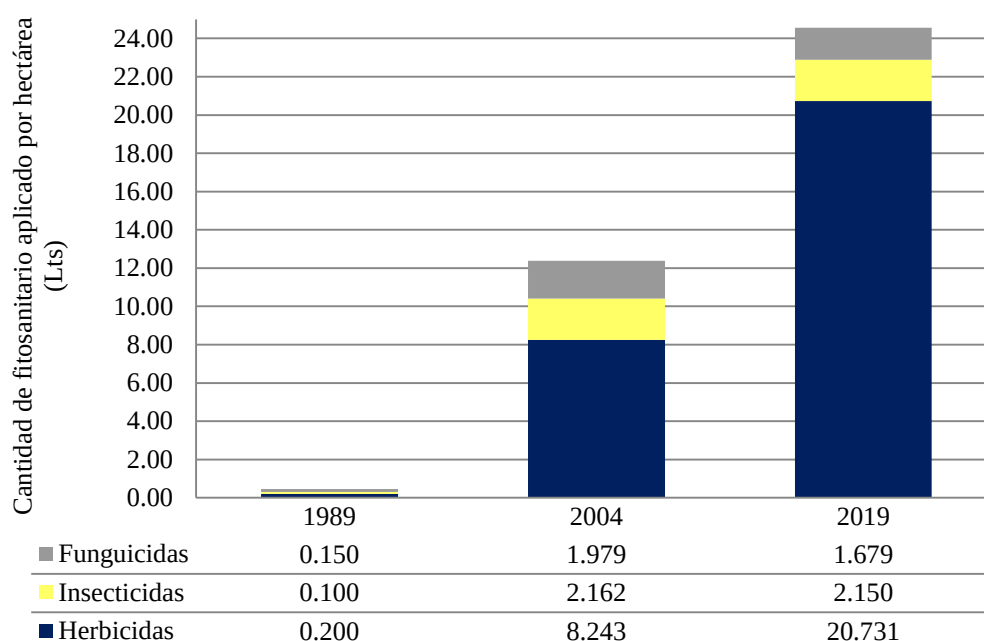
2019

|                            |        |       |       |       |       |        |            |       |
|----------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|-------|
| S-Metolaclo                | 0,345  | 3     | 4     | 4     | 3     |        |            |       |
| Clopyralid                 | 0,232  | 5     | 4     | 5     | 2     |        |            |       |
| Haloxifop-P-Metil Ester    | 3,334  | 1     | 4     | 5     | 1     |        |            |       |
| Glufosinato de amonio      | 0,200  | 5     | 4     | 4     | 1     |        |            |       |
|                            |        |       |       |       |       | 20,731 |            |       |
| Insecticidas               |        |       |       |       |       |        |            |       |
| Lamdacialotrina            | 12,750 | 1     | 4     | 1     | 2     |        |            |       |
| Clorpirifos                | 3,700  | 1     | 4     | 3     | 3     |        |            |       |
|                            |        |       |       |       |       | 2,150  |            |       |
| Funguicidas                |        |       |       |       |       |        |            |       |
| Isopirazam + Azoxistrobina | 0,200  | 1     | 4     | 4     | 4     |        |            |       |
| Fluxapyroxad               | +      |       |       |       |       |        |            |       |
| Pyraclostrobin             | +      | 0,500 | 1     | 4     | 4     | 5      |            |       |
| Epoxiconazole              |        |       |       |       |       |        |            |       |
| Picoxystrobin              | +      |       |       |       |       |        |            |       |
| Ciproconazole              | 0,500  | 1     | 4     | 4     | 2     |        |            |       |
|                            |        |       |       |       |       | 1,679  |            |       |
| Totales                    | 1,452  | 2,931 | 4,000 | 4,172 | 2,552 | 24,560 | 337503,010 | 0,877 |

Referencias: DL 50: dosis letal media de los principales plaguicidas utilizados, que determina la toxicidad de los compuestos (mg kg<sup>-1</sup>); Ksp: la solubilidad en agua de los principales plaguicidas utilizados (g g<sup>-1</sup>); R: expresa la permeabilidad del suelo en las capas superficiales (4 corresponde al valor establecido para la Pampa Austral); Koc: coeficientes de adsorción de los compuestos por la fase orgánica del suelo (g g<sup>-1</sup>); T<sub>1/2</sub>: vida media de los productos utilizados (días); C: expresa la cantidad de producto aplicada por unidad de superficie (l ha<sup>-1</sup>); S: es la superficie total en la cual se aplica el producto (ha); y CCSA: Conservación de la calidad de suelos y agua.

Por otro lado, al hacer distinción entre los productos fitosanitarios empleados se observa que los herbicidas son los productos aplicados en mayor cantidad en las tres fechas: 44,44% en 1989, 66,56% en 2004 y 84,40% en 2019 del total de productos (**Gráfico 17**). El segundo lugar corresponde en 1989 a los funguicidas (33,33%) mientras que en 2004 y 2019 corresponde a insecticidas (22,22% y 17,45%, respectivamente).

**Gráfico 17.** Evolución del empleo de fitosanitarios en el partido de Tandil.



Se observa a su vez cómo se amplía la variedad de productos aplicados a lo largo de los años (12 productos fitosanitarios en 1989; 19 en 2004 y 29 en 2019), correspondiente no sólo al avance tecnológico que trae aparejados nuevos formulados químicos sino también con la necesidad de combatir malezas resistentes empleando productos que posean distintos sitios de acción.

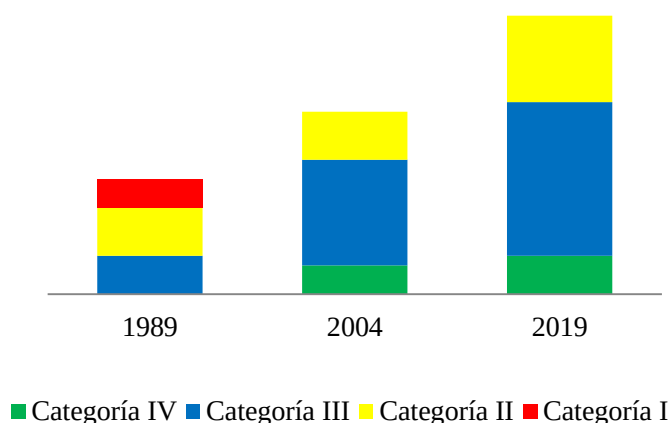
Con respecto a las categorías toxicológicas de los productos aplicados se destaca (**Gráfico 18**):

- ~ La eliminación de productos de categoría I (altamente peligrosas – tóxicas) que fueron aplicados como insecticidas en 1989.
- ~ La aparición, desde la segunda fecha de análisis, de productos correspondientes a la categoría IV.
- ~ Los productos de categoría III son los que aumentan en mayor cantidad.
- ~ La aplicación de productos de categoría II se mantiene relativamente constante.

En relación a la variación de la categoría toxicológica de los productos empleados es importante mencionar la disminución general del valor de la dosis letal 50 de los mismos. Al analizar los promedios de los datos de 1000/DL50 de las **Tabla 27, 28 y 29** se desprende que el valor ha disminuido un 89% desde 1989. El elevado promedio de la primera fecha de estudio corresponde a los elevados valores de productos como el Metamidifós (prohibido en 2017 por la resolución SENASA 149/16), Aldrín (perteneciente a la docena sucia - prohibido por la resolución SENASA 2121/90), Endosulfán (prohibido en 2013 por la resolución

SENASA 511/2011) y DDT (perteneciente a la docena sucia - prohibido por la resolución SENASA 2121/90) cuya aplicación es inexistente en fechas posteriores.

**Gráfico 18.** Cantidad de productos fitosanitarios empleados por categoría toxicológica en 1989, 2004 y 2019.



### ***Conservación de la Calidad de Suelos y Agua en el partido de Tandil y en sus Unidades Ambientales***

Al hacer referencia específica a los valores que toma el indicador en los paisajes heterogéneos del partido y coincidiendo con lo evaluado a escala de partido se observa un descenso en la provisión del servicio en las distintas UA a lo largo del período de estudio (**Gráfico 19 – Figura 22**).

**Gráfico 19.** Indicador de CCSA para Tandil y sus UA (1989, 2004 y 2019).

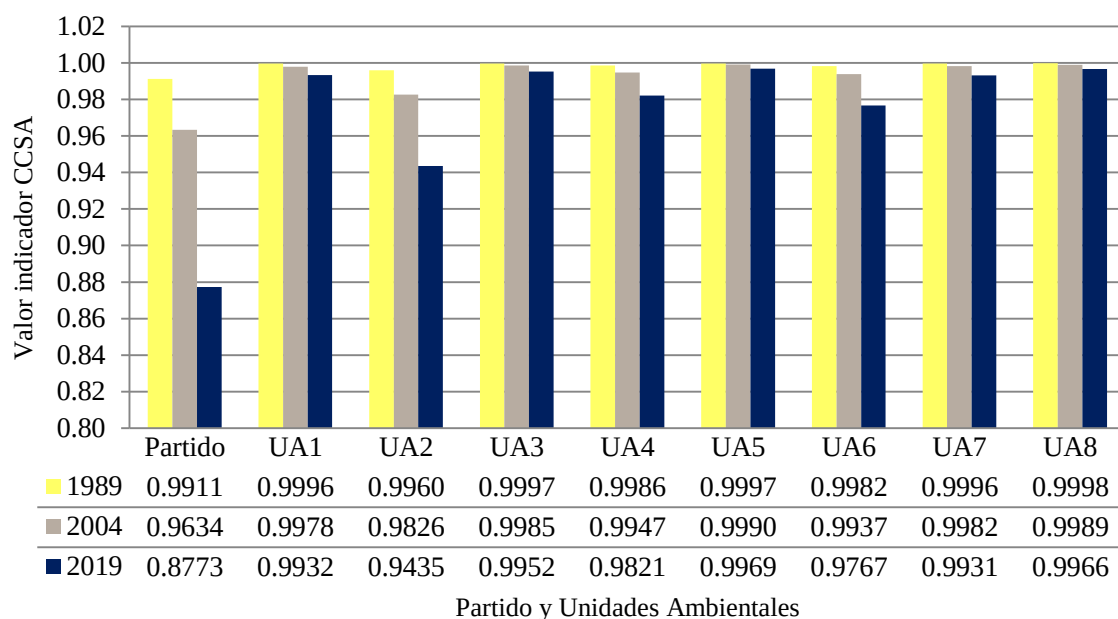
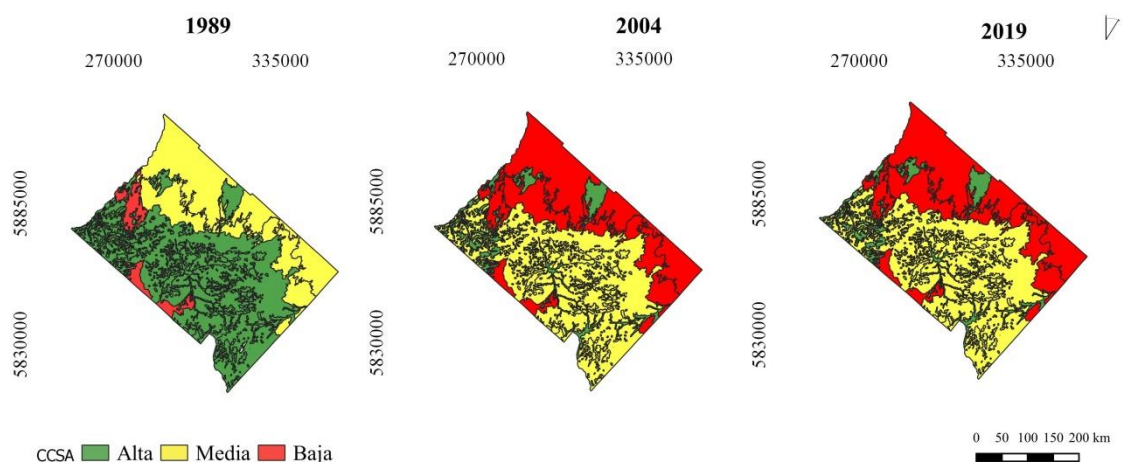


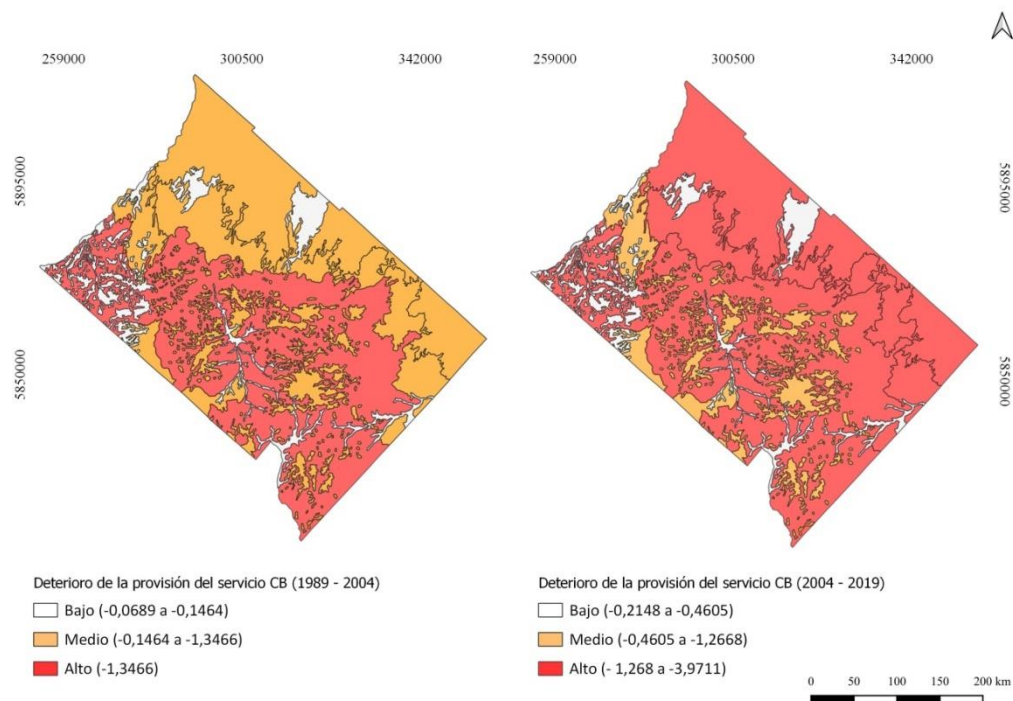
**Figura 22.** Evolución de la provisión del servicio CCSA en las UA de Tandil.



Del **Gráfico 19** y de la **Figura 22** se desprende que en 1989 las ocho UA presentan valores similares superiores al 0,99. No obstante, tanto en 2004 como en 2019 los valores del indicador descienden diferencialmente. La **Figura 23** exhibe de manera esquemática y geográfica cómo es la variación de la provisión del servicio de CCSA en las UA a través de período de análisis empleando tres categorías (Alta, Media y Baja). En 1989 la mayoría de las UA presentan una provisión del SE de CCSA “Alta” (UA8, UA3, UA5, UA2 y UA7 – en color verde). Es decir, la provisión del servicio en ellas es la mejor en comparación a las UA con un estado de provisión “Media” (UA4 y UA6) y con provisión “Baja” (UA1). No obstante, tanto en 2004 como en 2019 la provisión del servicio de CCSA en la mayoría del territorio es “Baja” (UA4, UA6 y UA1) y “Media” (UA3, UA7, UA2).

Considerando la tasa de variación del indicador CCSA se determinó cómo ha sido, en los períodos parciales de estudio, el deterioro en la provisión del servicio (**Figura 23**). En ambos períodos de estudio la UA que exhibe la situación más comprometida con respecto al indicador CCSA es la UA2. Dicha unidad presenta el mayor deterioro en la provisión del servicio de calidad de suelo y agua puesto que el indicador posee una merma de -1,347% en el primer período y de -3,971% en el segundo período (**Figura 23**).

**Figura 23.** Tasa de variación del servicio de CCSA entre 1989-2004 y 2004-2019 por UA.



Luego, como se observa espacialmente, es la UA6 la que presenta el descenso más importante en los valores del indicador tanto en el período 1989-2004 como en 2004-2019 (0,443 y 1,712, respectivamente). Se incorpora a la clase de unidades con alto deterioro en la provisión del servicio la UA4 (sumada a las mencionadas UA2 y 6) que presenta un descenso en el valor del indicador de 0,396 para el primer período y de 1,267 para el segundo período. Las UA8, correspondiente a las Serranías, y la UA5, asociada a la Planicie Distal muestran la situación menos comprometida de provisión del servicio en ambos períodos.

## DISCUSIÓN

### **Selección de indicadores para determinar la provisión de SE de CB y CCSA**

El principal fundamento para el estudio de los SE de CB y CCSA radica en analizar cómo ha sido la aplicación práctica en el territorio de uno de los principales lemas de la agricultura industrial “ambiente al servicio del genotipo” (Sarandón, 2020). Bajo esta concepción la actividad ha modificado el ambiente para expresar el mayor potencial de rendimiento, proveyéndose de insumos externos e impactando directamente en el SE de CCSA, en lugar de conservar una alta variabilidad genética que pueda adaptarse a la diversidad del ambiente, atentando en consecuencia, contra el SE de CB.

La provisión de los SE de conservación de la biodiversidad y regulación de la calidad de suelo y agua resultan vitales como servicios de regulación para motorizar al resto de las funciones y SE tanto de regulación como culturales y de abastecimiento. No obstante, los indicadores empleados demuestran un deterioro en la provisión de dichos servicios de un 29% y un 11,48% respectivamente en el período de estudio en el partido. En todos los paisajes del área de estudio se evidencia que el estado de provisión de los servicios está en concordancia con el avance del proceso de agriculturización.

La elección del SE relativo a la biodiversidad reside en que la pérdida de la misma, ocasionada por el reemplazo de la cobertura del suelo original, es una de las consecuencias ambientales más importantes del modelo productivo (Cousins et al., 2015). Es un SE esencial “paraguas” ya que se comporta como un indicador general de la salud de un ecosistema (Eguiguren, 2020). Siempre y cuando exista una combinación espacial y temporal de los componentes de la biodiversidad dicho servicio contribuirá a la provisión en forma sostenida de una amplia gama de otras funciones y SE (UNEP, 2000; Pérez Casar, 2019). Es así que su adecuada provisión se relaciona directamente con el ciclado de nutrientes, la descomposición de la materia orgánica y el mantenimiento de la fertilidad de los suelos, la regulación de plagas y enfermedades, polinización, el mantenimiento y la mejora de la fauna y la flora silvestres y los hábitats locales en sus paisajes, el mantenimiento del ciclo hidrológico, control de la erosión, y la regulación del clima y absorción del carbono (Tschamntke et al., 2012).

Por otro lado, el SE de CCSA permite conocer directamente cómo ha sido el proceso de incorporación de tecnología (principalmente insumos) que ha afectado decisivamente la estructura y la funcionalidad de los ecosistemas. A raíz del ingreso a la agricultura de una gran cantidad de hectáreas, debido principalmente a la adopción de la siembra directa, el

mercado de protección de cultivos creció en forma sostenida. Se estima que, sin la aplicación de fitosanitarios en la Argentina, las pérdidas potenciales de producción que podrían sufrir los tres cultivos más importantes, soja, maíz y trigo, podría ser del 26,4%; 31,3% y 28,2%, respectivamente (Bedmar, 2011; Andrade, 2017). Este dato da cuenta de la dependencia tecnológica de la elevada productividad que pone en riesgo el modelo. Su vulnerabilidad se evidencia en la necesidad permanente de ingresar energía (insumos químicos ajenos al sistema que debe importar y pagar en divisas) para mantener sus características y poder funcionar (Sarandón, 2021).

Coincidiendo, Aparicio et al. (2018) expresan que, en las últimas décadas, se ha profundizado un modelo basado en cultivos y animales de alto potencial de rendimiento expresado mediante el uso intensivo de energía (fósil) y agroquímicos (fertilizantes, herbicidas, insecticidas, fungicidas). Esta característica del modelo productivo ha impactado significativamente sobre funciones ecológicas esenciales como el flujo de energía, la relación stock-flujo de carbono, el ciclado de nutrientes, el proceso hidrológico y el patrón ecotoxicológico regional (Modernel et al., 2016).

### **Situación del SE de Conservación de la biodiversidad**

Un paisaje rural diverso, así como un agroecosistema heterogéneo, proveerá una mayor oferta y una combinación de SE más diversa que paisajes y agroecosistemas altamente simplificados (Barral et al., 2015; Andrade, 2020). Paradójicamente, a pesar de la importancia que tiene la biodiversidad para la agricultura, es la actividad que más atenta contra la biodiversidad (Sarandón, 2020). La estabilidad de los sistemas paisajísticos y su capacidad de proveer SE depende de los usos del suelo y de su evolución temporal. En el marco del enfoque de SE la agricultura es de hecho la transformación de un ecosistema natural para maximizar SE de abastecimiento, mediante la aplicación de energía externa y tecnología, en detrimento de SE de regulación y culturales (Rodríguez et al., 2006; Laterra, 2012; Mastrangelo y Laterra, 2015; Paruelo et al., 2016).

La merma en el SE de biodiversidad que acompañó al PA en Argentina obedece al menos a cuatro componentes críticos: la extensión o magnitud del proceso, su homogeneidad, la falta de diseño a escala de paisaje para proteger áreas críticas y la aplicación de un paquete tecnológico basado excesivamente en tecnologías de insumos (Andrade, 2017). En sintonía, en el partido de Tandil y en sus UA se observa cómo el contexto de transformaciones agroproductivas resulta propicio para la provisión de servicios de abastecimiento (Somoza et



al., 2021). Dichos servicios poseen un reflejo en el mercado y por lo tanto son los considerados en la toma de decisiones.

En aquellas áreas con mayor aptitud agrícola, como las UA de las LLP, la provisión del SE de CB es indirectamente proporcional al ingreso de insumos al paisaje. Dichas áreas exhiben los valores más críticos del indicador en el segundo período (2004 – 2019) y las tasas de cambio más importantes en el deterioro de su provisión. En consecuencia, se observa en éstas UA: fragmentación de parches serranos en superficies cada vez más pequeñas con la consecuente pérdida de biodiversidad; falta de conectividad entre los parches debido a la dominancia de una agricultura intensiva y altamente tecnificada en superficies que encierran a las serranías y una uniformidad genética del espacio rural que aumenta la vulnerabilidad del ecosistema ante patógenos o plagas (Bilenca y Miñarro, 2004; Codesio, 2010; Vazquez y Zulaica, 2011; Linares y Picone, 2018; De Rito et al., 2020). De esta manera, las modificaciones en la provisión de SE, en este caso de CB, evidencia las implicancias de un proceso productivo de intensidad continua en las LLP como lo demuestran trabajos antecedentes (Somoza y Vazquez, 2022).

Los resultados obtenidos para las UA de las PD se asocian a un PA de intensidad ascendente en este período en el cual la actividad ganadera, y por tanto las áreas de pastizales y pasturas, comienzan a perder protagonismo. En consecuencia, también resulta disminuida la capacidad de los suelos para proporcionar numerosos SE que actúan tanto a escala local y regional (polinización, regulación del agua, regulación climática, recreación) e impactaran a largo plazo sobre el suministro de alimentos y fibra para lograr la seguridad alimentaria (Steffen et al., 2015; Kopittke et al., 2019). Pese a la relevancia de esta unidad paisajística que debiera presentar un mayor grado de conservación en virtud de los SE que brindan los resultados alcanzados en esta investigación permiten afirmar que el estado de provisión del indicador de CB en las UA4 y UA5 es el más comprometido en el primer período (1989 – 2004). Este escenario se produce con ausencia de planificación evidenciando la falta de importancia otorgada a estas áreas que, poseen una elevada biodiversidad y suministran numerosos SE (Foley et al., 2011; Bengtsson et al., 2019).

El sistema de Serranías exhibe una mejor situación con respecto al indicador CB en los dos períodos de estudio. Esto reviste gran importancia ya que estas sierras, pertenecientes al sistema de Tandilia, ofrece otros múltiples SE: hábitat para diversos insectos que actúan como controladores biológicos de plagas y polinizadores de pasturas y cultivos agrícolas (Gilarranz

et al., 2014); abastecimiento de forraje para el ganado, hierbas de valor medicinal; control de la erosión; retención de sustancias contaminantes en sus raíces (Herrera et al., 2019), entre otros.

### **Situación del SE de Conservación de la calidad de suelos y agua**

Históricamente la demanda global de productos agrícolas ha crecido, y continuará creciendo, debido al incremento poblacional y al aumento de la calidad de la dieta por incrementos en el poder adquisitivo (Andrade, 2017). En esta línea, CropLife manifiesta que el incremento de la productividad desde 1951 a la actualidad se debió básicamente a un aumento en los rendimientos de los cultivos (70%), seguido por la expansión de la agricultura hacia nuevas tierras (23%), siendo la intensificación de la producción el menor aporte a este incremento de la productividad en solo 7%. Ante este escenario, la producción mundial de alimentos en la Argentina se ve motorizada dadas sus amplias ventajas comparativas para la actividad agropecuaria (Hall et al., 1992). De hecho, de acuerdo a Andrade (2017), su sector agroindustrial ha sido pionero en la adopción e innovación tecnológica y organizacional en los últimos 25 años. En síntesis, el aumento en la demanda de alimentos por cambios demográficos trajo aparejado un aumento de superficie agrícola; luego una imperiosa necesidad de incrementar rendimientos y finalmente un aumento en la cantidad de productos aplicados.

El descripto panorama mundial y nacional se reproduce en el área de estudio. El partido de Tandil manifiesta, a través de los años 1989 y 2019 no sólo un aumento de superficie agrícola (60,22%) (Somoza et al., 2021), una acentuación del rendimiento en los principales cultivos (cebada 60,71%; girasol 49,97; maíz 64%; soja 22% y trigo 22,85 (Estimaciones Agrícolas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2020), sino también un incremento en el volumen de productos fitosanitarios aplicados por unidad de superficie (5357,70%).

En consecuencia, el uso exponencial de fitosanitarios a través del tiempo genera que la provisión de SE de regulación referidos al indicador de CCSA disminuya 2,8% en el período 1989 – 2004 y un 8,93% en el período 2004 – 2019. Incluso los resultados expresan que, si bien para el año 1989 la provisión del SE era “Alta” en gran parte del partido, tanto en 2004 como en 2019 la provisión pasa a ser “Baja” (UA4, UA6 y UA1) y “Media” (UA3, UA7, UA2) en la mayoría del territorio.

Considerando la tasa en la que el SE fue deteriorándose, se observa a escala de UA, que en ambos períodos de estudio las UA que exhiben la situación más comprometida con respecto al

indicador son las UA2 y UA6. En cambio, la UA8 (Serranías) y la UA5 (Planicies Distales) muestran la situación menos comprometida de provisión del servicio en ambos períodos.

A su vez, el deterioro en la provisión del SE de CCSA encuentra justificación en el mayor uso de herbicidas para erradicar malezas resistentes. El fenómeno de la resistencia de plagas potencia el uso de fitosanitarios ya que continúa incentivando un mayor control químico por unidad de superficie en el tiempo y está considerado actualmente como la amenaza más significativa para la sustentabilidad de los agroecosistemas (Powles, 2008). La diferencia temporal en que se observan las consecuencias de un efecto inmediato para la mortalidad de individuos no deseados en los cultivos vs. un efecto en un rango de tiempo variable desde 4 a 20 años es una de las principales razones por la que el uso de herbicidas ha aumentado en las últimas décadas hasta convertirse en el principal método de control de las malezas (Powles y Yu, 2010; Scursoni et al., 2019). En consonancia, globalmente, los mayores controles corresponden a las malezas, luego a los insectos y por último a las enfermedades (Oerke, 2006). Particularmente, el volumen global anual de producción de plaguicidas se multiplicó desde el inicio de los registros en 1960 hasta hoy y que creció de 2,3 millones a alrededor de 4 millones de toneladas de principio activo entre 1990 y 2017 (Rosegrant et al., 2014; FAO, 2020). En el mercado argentino la cantidad de herbicidas utilizados en volumen aumentó dos veces y media, mientras que el de insecticidas se duplicó y el de fungicidas aumentó una vez y media en ese lapso durante los últimos 15 años (CASAFE, 2021). El presente trabajo evidenció que la situación se reproduce también en el partido de Tandil ya que son los herbicidas los productos aplicados en mayor cantidad en 1989 (44,44%), 2004 (66,56%) y en 2019 (84,40%).

Las entrevistas a productores e informantes calificados indican que luego de la recorrida por los predios se considera primordialmente el umbral de daño económico a corto plazo dejando de lado completamente mecanismos de diagnóstico y monitoreo. Es decir que no se contemplan medidas de manejo previas al desarrollo de los organismos dañinos evitando o disminuyendo el uso innecesario de productos químicos (Satorre, 2019).

La Red de Manejo de Plagas (REM, 2021) de AAPRESID realizó su distinguido mapeo de malezas resistentes presentes en el territorio agrícola argentino. Este año, al igual que en las últimas ediciones y en sintonía con el crecimiento de los biotipos resistentes declarados, aumentó la cantidad de malezas mapeadas, alcanzando un total de 27 especies, de las cuales 22 corresponden a resistencias y 5 a tolerancias. Específicamente en el partido de Tandil,

Somoza et al. (2019) comprueba la existencia de malezas resistentes (*Digitaria insularis*, *Raphanus sativus*, *Brassica rapa* y *Conyza bonaerensis*) que tienen su origen en una conjunción de factores concurrentes como la siembra directa, escasas rotaciones, y un manejo volcado casi un 100% a un control químico indiscriminado que no siempre resulta eficaz si este actúa aislado de otros factores de manejo. Por lo tanto, para conservar la sustentabilidad de esta herramienta tecnológica, es necesario el conocimiento de sus ventajas y riesgos y tender a la diversificación en el uso de los mismos, integrados a otras prácticas de manejo agronómico (Vila-Aiub y Fischer, 2014).

Por último, puede listarse como fundamento (y no de menor importancia) del marcado incremento en el uso de fitosanitarios al desacople de actividades agrícolas y ganaderas producto de la especialización productiva y la mayor rentabilidad (meramente económica) de la agricultura. Tanto a escala regional como en el área de estudio, antes de la década de los '90, los sistemas de producción extensivos se caracterizaban por un predominio del uso ganadero sobre el agrícola puro. Gran parte del sistema ganadero era llevado a cabo sobre pastizales naturales que a través de su gran biodiversidad y sus funciones ecosistémicas constituía un freno a un mayor uso de pesticidas (Iermanó y Sarandón, 2016). No obstante, dicho desacople de actividades dio lugar al predominio de la agricultura, actividad que utiliza mucho más pesticidas que la ganadería y que es, por lo tanto, potencialmente más peligrosa (Sarandón, 2020).

Los resultados obtenidos exponen que el aumento de las cantidades de fitosanitarios aplicados, si bien mantiene los rendimientos productivos sosteniendo la rentabilidad económica, ocasiona externalidades ambientales que no son consideradas en los cálculos monetarios como la merma en la provisión de SE. Debido a su amplia presencia y distribución en matrices ambientales constituyen un riesgo para la salud humana y ambiental en general (Tittonell, 2018; Aparicio et al., 2018). Si bien estos efectos se deben principalmente al aumento en las dosis aplicadas también son responsables las deficiencias en la aplicación, a la poca conciencia sobre el impacto ambiental y a los escasos controles de las autoridades locales. La situación no es sólo característica del partido de Tandil sino que se reproduce tanto a escala regional (Booman et al., 2012; Orue et al., 2011) como a escala local en partidos limítrofes con similares condiciones agroproductivas como Necochea (Vazquez et al., 2019a), Tres Arroyos (Vazquez et al., 2019b), Benito Juárez (Sequeira et al., 2021), Azul (Vazquez et

al., 2016), Lobería (Vazquez et al., 2017) y Cuencas Agroproductivas de la región como la Cuenca del río Quequén Grande (Vazquez y Somoza, 2020), entre otros.

Vale destacar que el riesgo de los fitosanitarios surge de la combinación de dos factores: su peligrosidad (inherente a la composición de cada producto químico, no existen productos inocuos) y la exposición a los mismos (capacidad de la sustancia de ingresar al organismo dada por la frecuencia, duración e intensidad de la exposición). En este sentido, el nivel de incertidumbre con respecto al efecto de los fitosanitarios en el ambiente es alto. Se desconocen los efectos sinérgicos entre las sustancias o los efectos sobre poblaciones de individuos de distintas condiciones de salud (Wolansky, 2011). Además, poco se conoce acerca de sus efectos crónicos (a largo plazo) y de sus interacciones con otros factores de riesgo (Herrera, 2019). Incluso instituciones reconocidas mundialmente han tenido declaraciones contrarias en los últimos años. En el año 2015 la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer, ámbito especializado de la Organización Mundial de la Salud (OMS), emitió un documento en el cual declaraba que “hay pruebas convincentes de que el glifosato puede causar cáncer en animales de laboratorio y hay pruebas limitadas de carcinogenicidad en humanos (linfoma no Hodgkin)” (IARC, 2016). Sin embargo, la Agencia de Protección del Ambiente (EPA) de Estados Unidos y el Instituto Alemán de Evaluación del Riesgo (BfR) -este último a pedido de la Unión Europea- estudiaron el glifosato durante cuatro años y concluyeron que no produce cáncer (EFSA, 2017). Asimismo, la OMS un año después de su declaración, en 2016, junto con la FAO realizaron una reunión conjunta para reevaluar algunos productos fitosanitarios, entre ellos el glifosato, dado el número de nuevos estudios que habían aparecido desde la última evaluación y concluyeron que es improbable que el glifosato tenga riesgos cancerígenos (OMS, 2016).

El elemento de incertidumbre científica es una particularidad muy característica en la política regulatoria ambiental y el derecho ambiental en general. Por este motivo, resulta primordial emplear el concepto de principio precautorio, definido en la Ley General del Ambiente de Argentina (Ley 25.675), que establece que “cuando haya peligro de daño grave o irreversible la ausencia de información o certeza científica no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces, en función de los costos, para impedir la degradación del medio ambiente”.

Por otro lado, la acción de los plaguicidas no se limita solo a los organismos denominados plaga en la agricultura, sino que también afecta a aquellos benéficos para el suelo,

considerados no blanco. Como ejemplo del impacto de los plaguicidas en el ambiente se menciona que diferentes relevamientos en arroyos, ríos, aire y suelos de distintos lugares del país, en los que se evaluaron glifosato y su principal producto de degradación (AMPA), piretroides totales, fungicidas, endosulfán, clorpirifós y otros agroquímicos, indican alta frecuencia de presencia y concentraciones en agua que suelen superar los umbrales establecidos por algunos países desarrollados (Aparicio et al., 2018; Colombo y Sarandón, 2015). En la Cuenca del Arroyo Chapaleofú, inserta en los límites del partido de Tandil, se evaluó la Dosis Letal 50 (DL50) del insecticida clorpirifos sobre el molusco *Physa acuta* y se concluyó que el molusco posee una DL50 de 0.55 mg/L, presentando al mismo tiempo efectos subletales, pese a tratarse de una especie tolerante al químico en cuestión. Los resultados obtenidos son similares a los observados en la exposición de la especie *Chilina parchappii* al insecticida cipermetrina (Fernández San Juan et al., 2020) y a los obtenidos por Salvio et al. (2015) que evaluaron el efecto de clorpirifos sobre *Scarites anthracinus* (Coleoptera), un predador de organismos considerados plagas de los cultivos, y confirmaron que la sustancia es altamente tóxica. Con una concentración ocho veces menor que la recomendada a campo la población bajo estudio se redujo a la mitad.

Vale destacar la importancia de la incorporación de los avances científicos y tecnológicos en la actividad agropecuaria. El uso de las tecnologías existentes y el desarrollo de nuevas herramientas son fundamentales para responder al mayor desafío de la agricultura responder a esta demanda de una forma sustentable. Los plaguicidas actualmente utilizados son activos en dosis bajas, menos tóxicos (considerando toxicidad aguda), menos persistentes dependiendo del tipo de producto y, por lo tanto, más seguros comparados con los plaguicidas antiguos (Viglizzo et al., 2011; CASAFA; 2021).

Los resultados del presente estudio junto con investigaciones de escala nacional exhiben que la toxicidad de los productos empleados ha disminuido paulatinamente como consecuencia de la introducción al mercado nacional de nuevas moléculas (Andrade, 2020). Paralelamente a lo ocurrido a nivel global, en el país, los productos han disminuido 75 veces la dosis letal (DL50) marcando un claro esfuerzo de la industria en desarrollar productos de protección de cultivos que cumplen con exigencias cada vez mayores para registrar nuevas moléculas, no solo de los consumidores, sino que también de los reguladores (SENASA). El porcentaje de plaguicidas empleados correspondientes a las categorías menos peligrosas (banda verde y azul) creció de 24 % en 1985 a 50 % en 1995 y a 77 % en 2013 (Casafe, 2013; Viglizzo et al.,

2011). Si bien también aumentó la cantidad de productos registrados de la Clase Toxicológica II, su utilización, en volumen de productos, de una banda respecto a la otra, es mayor en favor de la Banda Verde o Clase IV. Esto se explica en gran parte por el uso de herbicidas, sobre todo el glifosato (CASAFE, 2021). En el partido los resultados obtenidos muestran la misma evidencia: un aumento en el uso de productos menos tóxicos (banda toxicológica III y IV) a partir de 2004, y la desaparición en 2004 y 2019 del empleo de fitosanitarios de banda I (Altamente peligrosos) que fueron aplicados como insecticidas en 1989.

A modo de síntesis y en base a los resultados alcanzados para ambos indicadores es posible determinar que a escala de UA las áreas más afectadas respecto de los SE de regulación son las UA 1, 2 y 3, de las Llanuras Periserranas. Dichos sectores presentan las transformaciones en los usos del suelo más radicales. Sus aptitudes ecológicas y agrarias favorecen el avance de la actividad agrícola y por consiguiente dichos paisajes han sido adaptados a la provisión de servicios de abastecimiento de importancia comercial. Por otro lado, las UA de las Planicies Distales (UA 4, 5 y 6) pueden ser gestionadas como paisajes de oportunidad a partir de la integración de la producción ganadera y agrícola en sistemas mixtos. De esta manera, en ellas, es posible un potencial balance entre la provisión de servicios de abastecimiento, como así también de regulación y culturales (brindados principalmente por la actividad ganadera en pastizales y pasturas). Por su parte, los paisajes serranos, UA 7 y 8, se presentan como unidades estratégicas para la conservación dadas las peculiaridades ecológicas y su vulnerabilidad.

El sector agrícola gestionado de forma adecuada ofrece soluciones claves para el desarrollo y resulta vital para promover la agricultura sostenible. El desempeño de estos servicios es suplido por el empleo de insumos externos puesto que los insumos tecnológicos intensivamente empleados son capaces de transformar la identidad ecosistémica en pos de objetivos eminentemente económicos. En el caso del SE de CB resulta fundamental la determinación de áreas prioritarias de conservación considerando aquellas áreas serranas y de las Planicies Distales que aún mantienen relictos de pastizales naturales asociados a la biodiversidad nativa. Con respecto al SE de CCSA se observa que las aplicaciones de productos fitosanitarios han ido aumentando progresivamente en el tiempo (tanto en lts/ha como en la cantidad de aplicaciones) por lo que es indispensable la incorporación de buenas prácticas agrícolas que velen por el uso eficientemente de los productos, por la disminución

de la intensidad de selección que genera resistencia de malezas y por la diversificación de las técnicas de control más allá de un control exclusivamente químico.

Vale mencionar que si bien en este capítulo se desarrollan las implicancias de la expansión e intensificación agrícola en la calidad del recurso hídrico es necesario considerar en investigaciones futuras la dimensión hídrica a nivel espacial. Se reconoce la importancia de evaluar los cambios en los balances hídricos en las UA para valorar las capacidades agroproductivas de las mismas.

Sin embargo, su desarrollo en este trabajo no fue realizado debido a que el análisis estuvo enfocado en obtener resultados asociados a la aplicación de insumos en el agro y su impacto en características cualitativas en el recurso hídrico. A su vez, sería aún más provechoso para el estudio aplicar los límites geográficos de las distintas cuencas hídricas del partido y sus respectivas dinámicas. Por este motivo, en próximos estudios sería preciso incorporar el estado de provisión de otros servicios de regulación para obtener un diagnóstico integral de las vulnerabilidades territoriales.



---

## CAPÍTULO V - INCIDENCIA DE LA AGRICULTURIZACIÓN SOBRE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE REGULACIÓN: CONSERVACIÓN DEL STOCK DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO

---

## **OBJETIVO ESPECÍFICO**

V. Evaluar la incidencia de la agriculturización sobre la provisión de SE de regulación en las UA del partido de Tandil, en las fechas seleccionadas, empleando indicadores de sustentabilidad. Particularmente, se evalúa el estado de provisión del servicio ecosistémico de conservación del stock de carbono orgánico del suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La conversión de tierras y la incorporación de tecnología (principalmente insumos) durante el último siglo han afectado decisivamente la estructura y la funcionalidad de los ecosistemas. Sus impactos han sido significativos sobre funciones ecológicas esenciales como el flujo de energía, la relación stock-flujo de carbono, el ciclado de nutrientes, el proceso hidrológico y el patrón ecotoxicológico regional (Modernel et al., 2016). En consecuencia, tanto el clima, el uso de la tierra y la tecnología son tres factores directos de control que influyen sobre la relación economía-ecología, y por ende, sobre la oferta de SE.

En los últimos años la agenda internacional ha sido testigo de un incremento en la cantidad y profundidad de los debates relativos a la relación entre agricultura y cambio climático lo cual también se observa en las agendas de investigación respectivas (Newell, 2012). En este sentido, diversos informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) afirman que los impactos negativos del cambio climático sobre la producción agropecuaria superan a aquellos que podrían ser considerados como positivos (IPCC, 2014).

El aumento histórico y continuo de la producción agrícola en todo el mundo ha tenido un impacto profundo en los ciclos globales del carbono, el agua y los nutrientes (Johnson et al., 2014). El suelo es un claro ejemplo de cómo las formas de producción actuales erosionan los recursos naturales y por consiguiente amenazan la oferta e interrelación de las funciones y SE a ellos relacionados (Pereira et al., 2018). Si bien los océanos constituyen el reservorio principal del ciclo natural del C (93%) los suelos le siguen en orden de importancia y son el principal reservorio terrestre (4%) (IPCC, 2019). Mantener el carbono en los suelos significa sostener sus propiedades físicas y los SE relacionados como una mejor infiltración de agua, capacidad de retención de agua, así como un aumento potencial de la productividad agrícola y resiliencia ecológica (Zomer et al., 2017). A su vez, el carbono orgánico es indispensable para la biodiversidad del suelo ya que proporciona el principal hábitat a los organismos edáficos (microorganismos y meso, macro y microfauna) que desempeñan un papel básico en la funcionalidad de los ecosistemas terrestres tanto en el establecimiento de los ciclos biogeoquímicos como en la formación de la estructura de los suelos y el mantenimiento de su fertilidad (Soong et al. 2020).

Este servicio resulta de interés puesto que es la base de temáticas asociadas con la seguridad alimentaria, la mitigación y la adaptación al cambio climático (Hicks Pries; 2017; IPCC, 2021).

Debido a la importancia que tienen los suelos en el ciclo del C representan tanto una amenaza como una oportunidad en lo que respecta al cambio climático (Powlson et al., 2011). La amenaza se debe a su potencialidad para liberar grandes cantidades de CO<sub>2</sub> a la atmósfera principalmente por la conversión de bosques y pastizales a tierras de cultivo que representa hasta el 24% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI). La oportunidad se debe a su capacidad de secuestrar CO<sub>2</sub> (Stockman et al., 2013). A su vez, el stock de carbono orgánico del suelo (COS) es el principal componente que determina la calidad y la salud del suelo (Powlson et al., 2011). Por lo tanto, conocer los contenidos de COS bajo distintos escenarios de uso del suelo es una necesidad fundamental para el desarrollo de estrategias que contribuyan a la mitigación del cambio climático y prácticas de manejo para un uso sustentable del suelo. Sin embargo, las técnicas disponibles para cuantificar el COS a escala regional aún se encuentran poco desarrolladas, tienen grandes niveles de incertidumbre y, cuando incluyen mediciones directas, son muy costosas (Stockmann et al., 2013).

El ciclo natural del carbono (C) juega un rol esencial en la definición del clima futuro ya sea determinando los niveles de CO<sub>2</sub> atmosféricos en respuesta a las emisiones antropogénicas o por su contribución en la limitación de emisiones, requerida para alcanzar la estabilización buscada de CO<sub>2</sub>. Además del SE de regulación climática el COS es primordial en la definición de otros SE tales como la retención de agua, la regulación hídrica, la protección contra la erosión, la provisión de nutrientes para los vegetales y el procesamiento de sustancias tóxicas (Powlson et al., 2011). En los sistemas agrícolas el aumento de los niveles del COS genera situaciones de beneficios múltiples debido a que al mismo tiempo que se reducen los niveles de CO<sub>2</sub> atmosférico se mejoran la fertilidad, la productividad, la resistencia y la resiliencia del recurso suelo (Lal, 2004). Es innegable que el almacenaje de C orgánico del suelo posiblemente será el aspecto más importante del ciclo global de C en las próximas décadas (Zomer et al., 2017). Tanto la provisión de sus SE asociados como su captura dependen de las características y actividades de las sociedades, y en particular, de sus actores sociales.

Para desarrollar el presente capítulo se ha tomado como marco metodológico las directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en el que se describen metodologías para estimar emisiones/secuestro de CO<sub>2</sub> para realizar los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (IPCC, 2006; 2021). Particularmente el Volumen 4: “Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra” describe un método de inventario de carbono

para estimar los stocks y flujos del carbono orgánico del suelo (COS) en respuesta a los cambios de uso del suelo (IPCC, 2006; 2021).

El IPCC describe tres aproximaciones para estimar los cambios en el COS y asume que cuanto mayor sea el nivel mayor será la precisión de las estimaciones como también lo serán la complejidad y la necesidad de información. En el caso del Nivel 1 se utilizan los valores por defecto propuestos por el IPCC y, en el Nivel 2, los valores son derivados a partir de información local. Por último, el Nivel 3 incluye modelos más complejos en que los sistemas de inventario son generados a partir de datos de alta resolución que capturan mejor la variabilidad de las condiciones locales.

Se llevó a cabo una metodología donde se combinan estrategias metodológicas correspondientes a los Nivel 1 y 2. Se derivó del Nivel 1 el dato inicial del COS de referencia. Sin embargo, a los fines de mejorar las estimaciones, el Nivel 2 (que emplea el mismo abordaje metodológico que en el Nivel 1) ha sido aplicado en este trabajo utilizando factores de cambio que se basan en datos específicos de la región y de cada UA, sobre todo en lo referido a las categorías más importantes de uso de la tierra, utilizándose datos de resolución temporal y espacial y de actividad más desagregados.

La fórmula diseñada por el IPCC ha sido aplicada a las UA del partido de Tandil en dos períodos de análisis, 1989 – 2004 y 2004 – 2019. Para determinar las modificaciones en el stock de carbono en el suelo se han empleado exclusivamente los datos asociados a las clases de usos del suelo correspondientes a áreas agrícolas y de pastizales y pasturas derivadas de la clasificación supervisada de imágenes satelitales.

Para estimar las existencias carbono asociadas a las actividades productivas se necesita información que represente a varias categorías de uso de la tierra estratificadas en base a prácticas de uso y a características biofísicas, como por ejemplo la zona ecológica, el suelo, el tipo de vegetación, entre otras. Así se crean unidades espaciales más homogéneas que se utilizan en la estimación y en la evaluación de los cambios en las existencias de carbono. Por este motivo, es que se tienen en cuenta el uso de las UA como unidades territoriales de análisis. Los factores asignados a las UA han sido iguales para aquellas unidades que conforman un mismo SEP puesto que las formas de producir en cada sistema son homogéneas.

### **Estimación del COS por hectárea**

Para las estimaciones, en primera instancia, se clasifica el total del área de estudio (todas las UA) en función de su clima y suelo característicos y se asignan contenidos de COS de referencia

(COS<sub>ref</sub>) que representan la condición nativa por defecto por hectárea. Luego, se corrigen dichos contenidos por factores de cambio (Fc) que dependen del uso del suelo y su gestión:

$$COS_{it} = COSI * FLU_i * FMG_i * FI_i * A_i$$

Dónde:

- *i* es la *eliéima* UA con un determinado clima, suelo y combinación de uso del suelo,
- *t* es el año correspondiente al inicio del período inventariado,
- COS es el stock de carbono orgánico del suelo estimado (Mg C ha<sup>-1</sup>), corresponde al COS final (COS<sub>F</sub> del período 1989-2004 y 2004-2019. Para cada período mencionado se estimó: COS<sub>I</sub>: primer año de análisis y COS<sub>F</sub>: último año de análisis
- COS<sub>I</sub> es el contenido inicial de COS (Mg C ha<sup>-1</sup>), corresponde al COS<sub>ref</sub> para el cálculo del COS inicial del año 1989 y al COS<sub>I</sub> del período 1989 – 2004 y 2004 - 2019.
- FLU es el factor de cambio del stock debido a un uso del suelo particular (adimensional),
- FMG es el factor de cambio del stock debido a un determinado régimen de manejo (por ejemplo, diferentes métodos de labranza en áreas cultivadas) (adimensional),
- FI es el factor de cambio del stock debido a un input de C en el suelo (adimensional),
- A es el área con el mismo clima, tipo de suelo, uso del suelo y manejo en un período de tiempo inventariado (ha).

A continuación, se calculó la diferencia entre el COS inicial y final para conocer el cambio en el período y se divide por la cantidad de años (Y) para calcular la tasa de cambio anual:

$$\Delta COS_i = \frac{COS_F - COS_I}{Y}$$

Para este análisis se realizó la combinación de áreas agrícolas “viejas” (que ya eran agrícolas en la fecha previa) y “nuevas” (que poseían un uso del suelo de PyP que se transformaron a agricultura) a partir de la proporción de superficie que ocupa cada una en el territorio.

El stock de referencia de COS (COS<sub>I</sub> período 1989 – 2004) se obtuvo de la literatura local. Villarino et al. (2014) realizaron un promedio de valores obtenidos de diversos artículos en los que se evaluó el COS en condiciones prístinas o semiprístinas (Andriulo, 2012; Roldán, 2012).

Para determinar los valores de los factores de cambio empleados para el cálculo de COS se realizaron entrevistas a informantes calificados del área de estudio. Las mismas permitieron conocer las producciones y métodos característicos de cada unidad y permitieron derivar distintos supuestos. Por ejemplo, para ambos períodos de análisis se consideró que existieron modificaciones en los usos del suelo, así como también continuidades. De esta manera, los factores de cambio se determinaron para:

- ~ Áreas de PyP que continúan siendo de PyP,
- ~ Áreas que al inicio del período poseían un uso del suelo de PyP pero fue reemplazado por un uso del suelo agrícola al finalizar el período,
- ~ Áreas agrícolas que continúan con dicha actividad.

Se consideró que los campos de la RPA en general se gestionaron como campos naturales hasta las últimas décadas del siglo XIX. Hasta 1990, por un lado, las zonas más deprimidas de la región, representadas en el área de estudio por las Planicie distal estaban ocupadas por hacienda que se alimentaba de praderas naturales o sembradas con pastos perennes o introducidos. Por otro lado, en las zonas de la Llanura periserrana y sectores lindantes de las Serranías primaba un sistema extensivo o semi-extensivo de producción agropecuaria basado en una rotación en el mismo predio de cultivo de granos con la siembra de pasturas perennes para alimentar el ganado.

### **Descripción de los Factores de Cambio empleados**

#### ***Factor de uso del suelo (FLU)***

Para determinar el factor FLU se emplearon tres clasificaciones que representan los usos característicos del área de estudio a lo largo del período de análisis (**Tabla 30**):

- ~ Ecosistemas nativos o manejados de manera nominal (ENAT): tierras bajo vegetación nativa, con mínima perturbación humana, sobre las que se basan las reservas de carbono de referencia. Se consideraron ENAT a las UA de las Serranías para conocer el stock de COSI de 1989.
- ~ Pastizales y Pasturas: representan tierras cubiertas de pastos continuos donde el uso principal de la tierra es pasto. Los factores de gestión se utilizan para expresar el grado de mejora o degradación de la gestión.
- ~ Áreas cultivadas a largo plazo: representan el área que se ha gestionado de forma continua durante más de 20 años, hasta cultivos predominantemente anuales.
- ~ Sin uso productivo por menos de 20 años/Apartado: representan el apartamiento temporal de tierras de cultivo anuales (por ejemplo, reservas de conservación) u otras tierras de cultivo inactivas que han sido revegetadas con pastos perennes.

**Tabla 30.** Valores adoptados por el factor de uso del suelo.

| Uso del suelo                  | Valor |
|--------------------------------|-------|
| Pastizales y pasturas          | 1     |
| Ecosistemas nativos            | 1     |
| Áreas cultivadas a largo plazo | 0,71  |

**Factor sistema de manejo (FMG)**

Por un lado, para tierras de cultivo el factor de gestión constituye el tipo de labranza que puede estar representado por dos opciones (**Tabla 31**) (IPCC, 2019):

- ~ Siembra directa: sin labranza primaria, con una mínima alteración del suelo en la zona de siembra. Los herbicidas se utilizan normalmente para el control de malezas.
- ~ Labranza convencional: implica una alteración sustancial del suelo con inversión total y/o operaciones de labranza frecuentes (dentro de un año). En el momento de la siembra, poco (por ejemplo, menos del 30%) de la superficie está cubierta por residuos.

Para 1989 se consideró que la labranza convencional representaba el sistema de manejo en la totalidad del Partido. No obstante, hacia 2004 y 2019 la siembra directa gana protagonismo. Dicha técnica se introdujo en 1990 y a partir de 1996 fue adoptada crecientemente por los productores (Villarino et al, 2014). Por consiguiente, para cada año se multiplicó el FMG por el porcentaje de área bajo cada sistema de manejo, como se observa que en las **Tabla 33, 34 y 35**. Según datos de AAPRESID (2012), en 2004 el 70% de la superficie agrícola de Argentina se encontraba bajo un sistema de siembra directa. Particularmente, para el área de estudio los valores son mayores ya que es uno de los primeros Partidos pioneros en su implementación y en el cual su apropiación se dio de forma temprana y extendida de acuerdo a AACREA.

Por otro lado, para áreas de PyP el factor de gestión constituye el nivel de mejora o degradación de la gestión:

- ~ Pastizales no degradados: representan pastizales no degradados y gestionados de forma sostenible, pero sin mejoras de gestión significativas.
- ~ Pastizales mejorados: representan pastizales que se gestionan de forma sostenible con una presión de pastoreo moderada y que reciben al menos una mejora (por ejemplo, fertilización, mejora de especies, riego).

**Tabla 31.** Valores adoptados por el factor sistema de manejo.

| Uso del suelo                  | Sistema de Manejo     | Valor |
|--------------------------------|-----------------------|-------|
| Pastizales y pasturas          | No degradados         | 1     |
|                                | Mejorados             | 1,14  |
| Áreas cultivadas a largo plazo | Siembra directa       | 1     |
|                                | Labranza convencional | 1,16  |
| Ecosistemas nativos            | No aplica             | -     |



|                                         |           |   |
|-----------------------------------------|-----------|---|
| Sin uso productivo por menos de 20 años | No aplica | - |
|-----------------------------------------|-----------|---|

### ***Factor de input (FI)***

Los factores de entrada representan el efecto de cambiar el ingreso de carbono al suelo en función del rendimiento de los residuos del cultivo, la frecuencia del barbecho desnudo, la intensidad del cultivo o la aplicación de enmiendas (**Tabla 32**) (IPCC, 2019):

- ~ Bajo: el bajo retorno de residuos se debe a la eliminación de residuos (mediante recolección o quema), el frecuente barbecho desnudo o la producción de cultivos que producen pocos residuos (por ejemplo, hortalizas, tabaco, algodón). soja
- ~ Medio: los sistemas de cultivo de insumos medios representan el cultivo anual de cereales en el que todos los residuos de cultivos se devuelven al campo. Si se eliminan los residuos se agrega materia orgánica suplementaria (por ejemplo, estiércol). Esta categoría fue la utilizada para caracterizar la mayoría de las UA ya que el IPCC reconoce que la misma es representativa para cultivos anuales con cereales donde todos los residuos del cultivo son devueltos al territorio.
- ~ Alto: las rotaciones de insumos altos (sin estiércol) tienen insumos de residuos de cultivos significativamente mayores debido a la producción de cultivos con alto rendimiento de residuos, el uso de abonos verdes, cultivos de cobertura, barbechos con vegetación mejorada, uso frecuente de pastos perennes en las rotaciones anuales de cultivos, pero sin la aplicación de abono.

**Tabla 32.** Valores adoptados por el factor input.

| Nivel de input | Valor |
|----------------|-------|
| Bajo           | 0,91  |
| Medio          | 1     |
| Alto           | 1,11  |

A continuación, se describen en las **Tablas 33, 34 y 35**, las categorías de Fc empleados específicamente en cada período y en cada unidad con sus respectivos valores:

**Tabla 33.** Factores de cambio empleados para el cálculo del COS inicial de 1989 asociado a áreas de Pastizales y Pasturas y áreas Agrícolas.

| Desde un sistema |    |     |        |    | A un sistema                 |                     |              | A un sistema                 |               |        |           |                              |
|------------------|----|-----|--------|----|------------------------------|---------------------|--------------|------------------------------|---------------|--------|-----------|------------------------------|
| Nativo           |    |     |        |    | 1989 - Pastizales y Pasturas |                     |              | 1989 - Agrícola              |               |        |           |                              |
| SEP              | UA | FLU | FMG    | FI | FLU                          | (FMG                | FI           | COS<br>Ref<br>(Mg C<br>ha-1) | FLU           | FMG    | FI        | COS<br>Ref<br>(Mg C<br>ha-1) |
| LLP              | 1  | PyP | ND (1) | -  | PyP (1)                      | Mejorado<br>(1,14)  | Medio<br>(1) | 86,00                        | CLP<br>(0,71) | LC (1) | Medio (1) | 61,06                        |
|                  | 2  | PyP | ND (1) | -  | PyP (1)                      | Mejorado<br>(1,14)  | Medio<br>(1) | 86,00                        | CLP<br>(0,71) | LC (1) | Medio (1) | 61,06                        |
|                  | 3  | PyP | ND (1) | -  | PyP (1)                      | Mejorado<br>(1,14)  | Medio<br>(1) | 86,00                        | CLP<br>(0,71) | LC (1) | Medio (1) | 61,06                        |
| PD               | 4  | PyP | ND (1) | -  | PyP (1)                      | No degradado<br>(1) | -            | 86,00                        | CLP<br>(0,71) | LC (1) | Medio (1) | 61,06                        |
|                  | 5  | PyP | ND (1) | -  | PyP (1)                      | No degradado<br>(1) | -            | 86,00                        | CLP<br>(0,71) | LC (1) | Medio (1) | 61,06                        |
|                  | 6  | PyP | ND (1) | -  | PyP (1)                      | No degradado<br>(1) | -            | 86,00                        | CLP<br>(0,71) | LC (1) | Medio (1) | 61,06                        |
| S                | 7  | NE  | -      | -  | PyP (1)                      | -                   | -            | 86,00                        | PyP (1)       | -      | -         | 86,00                        |
|                  | 8  | NE  | -      | -  | PyP (1)                      | -                   | -            | 86,00                        | PyP (1)       | -      | -         | 86,00                        |

Referencias: PyP (pastizales y pasturas); NE (ecosistemas nativos); ND (no degradados); - (no aplica); CLP (cultivado a largo plazo); LC (labranza convencional).

**Tabla 34.** Factores de cambio empleados para el cálculo del COSF de 2004 a partir del COSI de 1989 en sus respectivas modificaciones o continuidades en los usos del suelo.

| Desde un sistema |    |         |                 |           | A un sistema   |                                          |             | A un sistema        |                                          |             |
|------------------|----|---------|-----------------|-----------|----------------|------------------------------------------|-------------|---------------------|------------------------------------------|-------------|
| 1989 - 2004      |    |         |                 |           |                |                                          |             |                     |                                          |             |
| PyP a PyP        |    |         |                 |           | PyP a Agrícola |                                          |             | Agrícola a Agrícola |                                          |             |
| SEP              | UA | FLU     | FMG             | FI        | FLU            | FMG                                      | FI          | FLU                 | FMG                                      | FI          |
| LLP              | 1  | PyP (1) | Mejorado (1,14) | Medio (1) | CLP (0,71)     | $\frac{LC (30\%) (1)}{SD (70\%) (1,16)}$ | Medio (1)   | CLP (0,71)          | $\frac{LC (30\%) (1)}{SD (70\%) (1,16)}$ | Medio (1)   |
|                  | 2  | PyP (1) | Mejorado (1,14) | Medio (1) | CLP (0,71)     | $\frac{LC (30\%) (1)}{SD (70\%) (1,16)}$ | Medio (1)   | CLP (0,71)          | $\frac{LC (30\%) (1)}{SD (70\%) (1,16)}$ | Medio (1)   |
|                  | 3  | PyP (1) | Mejorado (1,14) | Medio (1) | CLP (0,71)     | $\frac{LC (30\%) (1)}{SD (70\%) (1,16)}$ | Medio (1)   | CLP (0,71)          | $\frac{LC (30\%) (1)}{SD (70\%) (1,16)}$ | Medio (1)   |
| PD               | 4  | PyP (1) | Mejorado (1,14) | Medio (1) | CLP (0,71)     | $\frac{LC (40\%) (1)}{SD (60\%) (1,16)}$ | Alto (1,11) | CLP (0,71)          | $\frac{LC (40\%) (1)}{SD (60\%) (1,16)}$ | Alto (1,11) |
|                  | 5  | PyP (1) | Mejorado (1,14) | Medio (1) | CLP (0,71)     | $\frac{LC (40\%) (1)}{SD (60\%) (1,16)}$ | Alto (1,11) | CLP (0,71)          | $\frac{LC (40\%) (1)}{SD (60\%) (1,16)}$ | Alto (1,11) |
|                  | 6  | PyP (1) | Mejorado (1,14) | Medio (1) | CLP (0,71)     | $\frac{LC (40\%) (1)}{SD (60\%) (1,16)}$ | Alto (1,11) | CLP (0,71)          | $\frac{LC (40\%) (1)}{SD (60\%) (1,16)}$ | Alto (1,11) |
| S                | 7  | PyP (1) | ND (1)          | -         | CLP (0,71)     | $\frac{LC (30\%) (1)}{SD (70\%) (1,16)}$ | Medio (1)   | CLP (0,71)          | $\frac{LC (30\%) (1)}{SD (70\%) (1,16)}$ | Medio (1)   |
|                  | 8  | PyP (1) | ND (1)          | -         | CLP (0,71)     | $\frac{LC (30\%) (1)}{SD (70\%) (1,16)}$ | Medio (1)   | CLP (0,71)          | $\frac{LC (30\%) (1)}{SD (70\%) (1,16)}$ | Medio (1)   |

Referencias: PyP (pastizales y pasturas); ND (no degradados); (no aplica); CLP (cultivado a largo plazo); LC (labranza convencional); SD (siembra directa).

**Tabla 35.** Factores de cambio empleados para el cálculo del COSF de 2019 a partir del COSI de 2004 en sus respectivas modificaciones o continuidades en los usos del suelo.

| 2004 - 2019 |    |         |                 |             |                |                                 |             |                     |                                 |             |
|-------------|----|---------|-----------------|-------------|----------------|---------------------------------|-------------|---------------------|---------------------------------|-------------|
| SEP         | UA | FLU     | PyP a PyP       |             | PyP a Agrícola |                                 |             | Agrícola a Agrícola |                                 |             |
|             |    |         | (FMG            | FI          | FLU            | FMG                             | FI          | FLU                 | FMG                             | FI          |
| LLP         | 1  | PyP (1) | Mejorado (1,14) | Alto (1,11) | CLP (0,71)     | LC (5%) (1)<br>SD (95%) (1,16)  | Medio (1)   | CLP (0,71)          | LC (5%) (1)<br>SD (95%) (1,16)  | Medio (1)   |
|             | 2  | PyP (1) | Mejorado (1,14) | Alto (1,11) | CLP (0,71)     | LC (5%) (1)<br>SD (95%) (1,16)  | Medio (1)   | CLP (0,71)          | LC (5%) (1)<br>SD (95%) (1,16)  | Medio (1)   |
|             | 3  | PyP (1) | Mejorado (1,14) | Alto (1,11) | CLP (0,71)     | LC (5%) (1)<br>SD (95%) (1,16)  | Medio (1)   | CLP (0,71)          | LC (5%) (1)<br>SD (95%) (1,16)  | Medio (1)   |
| PD          | 4  | PyP (1) | Mejorado (1,14) | Alto (1,11) | CLP (0,71)     | LC (10%) (1)<br>SD (90%) (1,16) | Alto (1,11) | CLP (0,71)          | LC (10%) (1)<br>SD (90%) (1,16) | Alto (1,11) |
|             | 5  | PyP (1) | Mejorado (1,14) | Alto (1,11) | CLP (0,71)     | LC (10%) (1)<br>SD (90%) (1,16) | Alto (1,11) | CLP (0,71)          | LC (10%) (1)<br>SD (90%) (1,16) | Alto (1,11) |
|             | 6  | PyP (1) | Mejorado (1,14) | Alto (1,11) | CLP (0,71)     | LC (10%) (1)<br>SD (90%) (1,16) | Alto (1,11) | CLP (0,71)          | LC (10%) (1)<br>SD (90%) (1,16) | Alto (1,11) |
| S           | 7  | PyP (1) | ND (1)          | -           | CLP (0,71)     | LC (5%) (1)<br>SD (95%) (1,16)  | Medio (1)   | CLP (0,71)          | LC (5%) (1)<br>SD (95%) (1,16)  | Medio (1)   |
|             | 8  | PyP (1) | ND (1)          | -           | CLP (0,71)     | LC (5%) (1)<br>SD (95%) (1,16)  | Medio (1)   | CLP (0,71)          | LC (5%) (1)<br>SD (95%) (1,16)  | Medio (1)   |

Referencias: PyP (pastizales y pasturas); ND (no degradados); (no aplica); CLP (cultivado a largo plazo); LC (labranza convencional); SD (siembra directa).

### Estimación del COS por Unidad Ambiental

Para desarrollar la estimación del valor del stock de COS en las diferentes UA del Partido el valor del COSF correspondiente a cada fecha fue multiplicado por la superficie total de áreas de PyP y agrícolas (Fórmula X y X, respectivamente). Luego, se estimó también un COSF total referido a la suma de ambos valores, es decir, considerando todas las hectáreas agroproductivas (Fórmula X).

$$COSFUA_{tPyP} = COSF_t \text{ por ha} * SupPyP$$

$$COSFUA_{tAgri} = (COSF_t \text{ por ha} * SupAgri_{PyP}) + (COSF_t \text{ por ha} * SupAgri_{Agri})$$

$$COSFUA = COSF_{PyP} + COSF_{Agri}$$

Dónde:

- $COSFUA_{PyP}$  es el stock de carbono orgánico del suelo asociado a áreas de Pastizales y Pasturas en cada Unidad Ambiental en cada fecha de análisis,
- $COSFUA_{Agri}$  es el stock de carbono orgánico del suelo asociado a áreas Agrícolas en cada Unidad Ambiental en cada fecha de análisis,

- *COSFUA* es el stock de carbono orgánico del suelo asociado a áreas de Pastizales y Pasturas y áreas Agrícolas en cada Unidad Ambiental en cada fecha de análisis,
- *t* es la fecha de análisis (1989 – 2004 – 2019)
- *COSF por ha* es el stock de carbono orgánico del suelo ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ ) correspondiente a cada hectárea de clase de uso del suelo
- *SupPyP* es la superficie correspondiente a áreas de Pastizales y Pasturas de cada UA
- *SupAgri<sub>PyP</sub>* es la superficie correspondiente a áreas de Agrícolas “nuevas” de cada UA
- *SupAgri<sub>Agri</sub>* es la superficie correspondiente a áreas Agrícolas “antiguas” de cada UA

Por otro lado, se obtuvieron los valores de variación del stock de cada UA para los períodos 1989 – 2004 y 2004 – 2019 que fueron categorizados en un SIG (QGIS 3.8.1) y expresados en un mapa del Partido. Las categorías empleadas fueron: ganancias de stock de COS (“alta” - “media” - “baja”) y pérdida (“alta” - “media” - “baja”) del mismo.

Finalmente, se analizó la evolución del stock de COS en áreas de PyP y áreas Agrícolas por UA a lo largo del período de estudio contemplando también la variación de superficie evidenciada en cada uso del suelo.

## RESULTADOS

### **Diferencias en el stock de COS por hectárea y tasa de cambio anual (períodos 1989 – 2004 y 2004 – 2019)**

En primera instancia se han analizado las variaciones en el stock de COS por hectárea y su tasa de cambio anual por período en cada UA. Se desprende de las **Tablas 36 y 37**, por un lado, que la continuidad en el uso de suelo de PyP significa un aumento en el stock de C en el suelo de todas las UA. Por otro lado, aquella superficie destinada a la agricultura al finalizar el período de análisis presenta una disminución en el stock de C. A su vez, si en dicha superficie previamente primaba la actividad ganadera (asociada a áreas de PyP) la modificación en el stock es de mayor magnitud que si en el territorio primaba ya a la actividad agrícola. Se desprende entonces que la transformación en el uso del suelo representa una merma radical en el stock de COS por hectárea.

En áreas de PyP en las cuales la continuidad de la actividad trae aparejado COSI de valores más elevados. Por consiguiente, la diferencia en el stock de COS resulta positiva y creciente en el tiempo. Por este mismo motivo aquellas áreas que modificaron su uso del suelo de PyP a agricultura la diferencia es menor en el segundo período que en el primero ya que contaban con un stock de COSI más elevado.

La situación inversa se observa en las áreas de cultivo que se mantienen en el tiempo. En ellas, las diferencias en el stock y la tasa de cambio anual son mayores en el caso del primer período de análisis, 1989 – 2004. A medida que se perpetúa la agricultura en el tiempo los stocks iniciales para el cálculo se reducen considerablemente.

**Tabla 36.** Modificaciones en el stock de COS durante el período 1989 – 2004 por hectárea en tres situaciones de cambios o continuación de usos del suelo.

| UA | De PyP a PyP                        |                                     |                                                              | De PyP a Agrícola                   |                                     |                                                              | De Agrícola a Agrícola              |                                     |                                                              |
|----|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|    | COSI<br>(Mg C<br>ha <sup>-1</sup> ) | COSF<br>(Mg C<br>ha <sup>-1</sup> ) | $\Delta$ COS<br>(Mg C ha <sup>-1</sup><br>yr <sup>-1</sup> ) | COSI<br>(Mg C<br>ha <sup>-1</sup> ) | COSF<br>(Mg C<br>ha <sup>-1</sup> ) | $\Delta$ COS<br>(Mg C<br>ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ) | COSI<br>(Mg C<br>ha <sup>-1</sup> ) | COSF<br>(Mg C<br>ha <sup>-1</sup> ) | $\Delta$ COS<br>(Mg C ha <sup>-1</sup><br>yr <sup>-1</sup> ) |
| 1  | 98,04                               | 111,77                              | 0,92                                                         | 98,04                               | 77,40                               | -1,38                                                        | 61,06                               | 48,21                               | -0,86                                                        |
| 2  | 98,04                               | 111,77                              | 0,92                                                         | 98,04                               | 77,40                               | -1,38                                                        | 61,06                               | 48,21                               | -0,86                                                        |
| 3  | 98,04                               | 111,77                              | 0,92                                                         | 98,04                               | 77,40                               | -1,38                                                        | 61,06                               | 48,21                               | -0,86                                                        |
| 4  | 86                                  | 98,04                               | 0,80                                                         | 86,00                               | 74,28                               | -0,78                                                        | 61,06                               | 52,74                               | -0,55                                                        |
| 5  | 86                                  | 98,04                               | 0,80                                                         | 86,00                               | 74,28                               | -0,78                                                        | 61,06                               | 52,74                               | -0,55                                                        |
| 6  | 86                                  | 98,04                               | 0,80                                                         | 86,00                               | 74,28                               | -0,78                                                        | 61,06                               | 52,74                               | -0,55                                                        |
| 7  | 86                                  | 86,00                               | 0,00                                                         | 86,00                               | 67,90                               | -1,21                                                        | 86,00                               | 67,90                               | -1,21                                                        |
| 8  | 86                                  | 86,00                               | 0,00                                                         | 86,00                               | 67,90                               | -1,21                                                        | 86,00                               | 67,90                               | -1,21                                                        |

**Tabla 37.** Modificaciones en el stock de COS durante el período 2004 – 2019 por hectárea en tres situaciones de cambios o continuación de usos del suelo.

| UA | De PyP a PyP                        |                                     |                                                              | De PyP a Agrícola                   |                                     |                                                              | De Agrícola a Agrícola              |                                     |                                                              |
|----|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|    | COSI<br>(Mg C<br>ha <sup>-1</sup> ) | COSF<br>(Mg C<br>ha <sup>-1</sup> ) | $\Delta$ COS<br>(Mg C<br>ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ) | COSI<br>(Mg C<br>ha <sup>-1</sup> ) | COSF<br>(Mg C<br>ha <sup>-1</sup> ) | $\Delta$ COS<br>(Mg C<br>ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ) | COSI<br>(Mg C<br>ha <sup>-1</sup> ) | COSF<br>(Mg C<br>ha <sup>-1</sup> ) | $\Delta$ COS<br>(Mg C<br>ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ) |
| 1  | 111,77                              | 141,43                              | 1,98                                                         | 111,77                              | 101,03                              | -0,72                                                        | 48,21                               | 39,43                               | -0,59                                                        |
| 2  | 111,77                              | 141,43                              | 1,98                                                         | 111,77                              | 101,03                              | -0,72                                                        | 48,21                               | 39,43                               | -0,59                                                        |
| 3  | 111,77                              | 141,43                              | 1,98                                                         | 111,77                              | 101,03                              | -0,72                                                        | 48,21                               | 39,43                               | -0,59                                                        |
| 4  | 98,04                               | 124,06                              | 1,73                                                         | 98,04                               | 87,63                               | -0,69                                                        | 47,51                               | 38,59                               | -0,59                                                        |
| 5  | 98,04                               | 124,06                              | 1,73                                                         | 98,04                               | 87,63                               | -0,69                                                        | 47,51                               | 38,59                               | -0,59                                                        |
| 6  | 98,04                               | 124,06                              | 1,73                                                         | 98,04                               | 87,63                               | -0,69                                                        | 47,51                               | 38,59                               | -0,59                                                        |
| 7  | 86,00                               | 98,04                               | 0,80                                                         | 86,00                               | 77,74                               | -0,55                                                        | 67,90                               | 55,54                               | -0,82                                                        |
| 8  | 86,00                               | 98,04                               | 0,80                                                         | 86,00                               | 77,74                               | -0,55                                                        | 67,90                               | 55,54                               | -0,82                                                        |

Las UA correspondientes a las Llanuras periserranas exhiben los valores más elevados en los COSF para las situaciones de continuidad en PyP y transformación de PyP a uso agrícola. Dichas UA se asocian a los sectores con mejores combinaciones de factores ecológicos y productivos para la actividad mixta agrícola ganadera en el primer período, que se transforma predominantemente a actividad agrícola en el segundo período. Estas áreas son en las cuales se han desarrollado los establecimientos de mayores dimensiones y con mayor capacidad de inversión.

## Evolución del stock de COS por hectárea por usos del suelo agropecuarios

### Stock de COS en hectáreas de pastizales y pasturas

Tanto la **Tabla 38** como el **Gráfico 20** enseñan cómo el stock del COS en hectáreas correspondientes a usos de suelo ganadero, vinculado a áreas de pastizales y pasturas, aumenta de manera continua a lo largo del período de estudio en todas las UA del partido de Tandil.

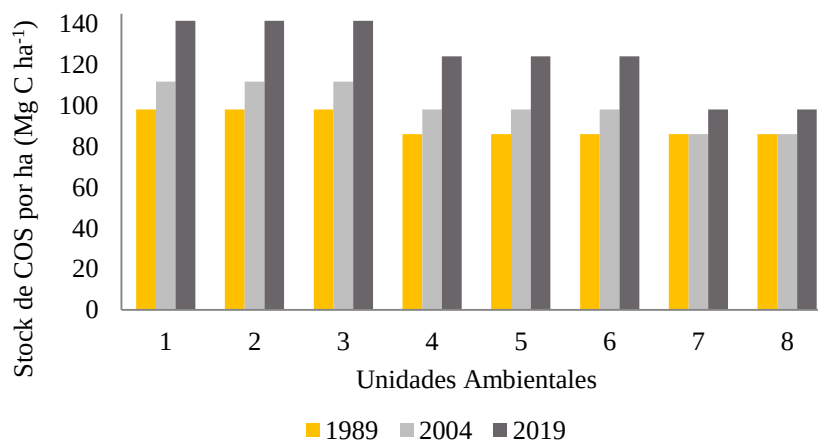
Si bien en ambos dos períodos el stock sufre un incremento positivo este es mayor en el segundo período (2004 – 2019).

Para las tres fechas de análisis las UA de las LLP son las que presentan los mayores valores seguidas por las UA correspondientes a las PD y luego por las UA que conforman las Serranías.

**Tabla 38.** Stock de COS en hectáreas de pastizales y pasturas y su variación entre períodos.

| UA | Stock COS por hectárea de pastizales y pasturas (Mg C ha <sup>-1</sup> ) |        |        | Variación por hectárea del stock de COS (%) |                     |
|----|--------------------------------------------------------------------------|--------|--------|---------------------------------------------|---------------------|
|    | 1989                                                                     | 2004   | 2019   | Período 1989 - 2004                         | Período 2004 - 2019 |
| 1  | 98,04                                                                    | 111,77 | 141,43 | 14,00                                       | 26,54               |
| 2  | 98,04                                                                    | 111,77 | 141,43 | 14,00                                       | 26,54               |
| 3  | 98,04                                                                    | 111,77 | 141,43 | 14,00                                       | 26,54               |
| 4  | 86,00                                                                    | 98,04  | 124,06 | 14,00                                       | 26,54               |
| 5  | 86,00                                                                    | 98,04  | 124,06 | 14,00                                       | 26,54               |
| 6  | 86,00                                                                    | 98,04  | 124,06 | 14,00                                       | 26,54               |
| 7  | 86,00                                                                    | 86,00  | 98,04  | 0,00                                        | 14,00               |
| 8  | 86,00                                                                    | 86,00  | 98,04  | 0,00                                        | 14,00               |

**Gráfico 20.** Modificaciones en el stock de COS en hectáreas de pastizales y pasturas.





### ***Stock de COS en hectáreas agrícolas “nuevas”***

La **Tabla 39** y el **Gráfico 21** informan la evolución del stock de COS en las hectáreas agrícolas “nuevas”, es decir aquellas hectáreas dedicadas a la agricultura que en la fecha de análisis anterior correspondían a hectáreas de PyP. Particularmente, en este caso se consideran las modificaciones entre períodos de estudio y no entre las tres fechas individuales ya que no existe una continuidad en el uso del suelo. Las columnas de la izquierda son hectáreas de pastizales y pasturas en 1989 cuyo uso de suelo se transforma a agrícola en 2004. Mientras tanto, las columnas de la derecha describen la situación de hectáreas de PyP en 2004 que pasan a ser hectáreas agrícolas en 2019.

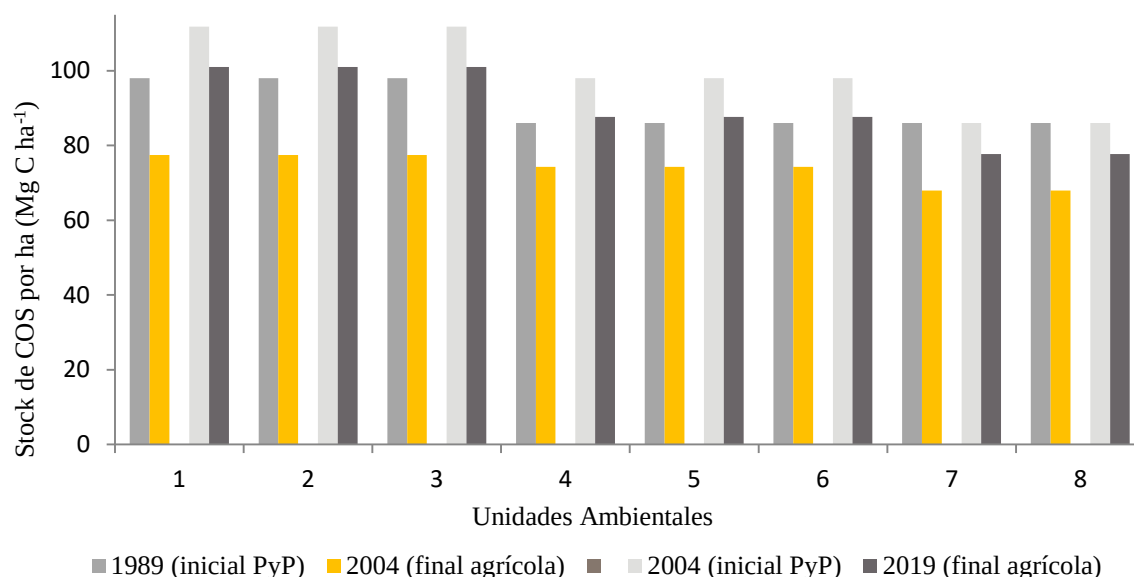
En ambos períodos se observa un descenso en el valor del stock por hectárea por lo cual la provisión del SE de retención del CO del suelo disminuye. Se distingue que el valor final del stock por hectárea es mayor en 2019. En relación, la variación negativa del stock también es más importante entre 1989 y 2004.

Como sucede en las áreas de PyP son las UA de las LLP las que presentan los valores más altos seguidas por las UA de las PD y las UA serranas.

**Tabla 39.** Stock de COS en hectáreas agrícolas “nuevas” y su variación entre períodos.

| UA | Stock COS por hectárea en áreas agrícolas "nuevas"   |                                                         |                                                                             |                                                         |                                                         |                                                                             |
|----|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
|    | 1989<br>(inicial<br>PyP) (Mg<br>C ha <sup>-1</sup> ) | 2004<br>(final<br>agrícola)<br>(Mg C ha <sup>-1</sup> ) | Variación por<br>hectárea del stock<br>de COS (%)<br>Período 1989 -<br>2004 | 2004<br>(inicial<br>PyP)<br>(Mg C<br>ha <sup>-1</sup> ) | 2019<br>(final<br>agrícola)<br>(Mg C ha <sup>-1</sup> ) | Variación por<br>hectárea del stock<br>de COS (%)<br>Período 2004 -<br>2019 |
| 1  | 98,04                                                | 77,40                                                   | -21,05                                                                      | 111,77                                                  | 101,03                                                  | -9,60                                                                       |
| 2  | 98,04                                                | 77,40                                                   | -21,05                                                                      | 111,77                                                  | 101,03                                                  | -9,60                                                                       |
| 3  | 98,04                                                | 77,40                                                   | -21,05                                                                      | 111,77                                                  | 101,03                                                  | -9,60                                                                       |
| 4  | 86                                                   | 74,28                                                   | -13,62                                                                      | 98,04                                                   | 87,63                                                   | -10,62                                                                      |
| 5  | 86                                                   | 74,28                                                   | -13,62                                                                      | 98,04                                                   | 87,63                                                   | -10,62                                                                      |
| 6  | 86                                                   | 74,28                                                   | -13,62                                                                      | 98,04                                                   | 87,63                                                   | -10,62                                                                      |
| 7  | 86                                                   | 67,90                                                   | -21,05                                                                      | 86,00                                                   | 77,74                                                   | -9,60                                                                       |
| 8  | 86                                                   | 67,90                                                   | -21,05                                                                      | 86,00                                                   | 77,74                                                   | -9,60                                                                       |

**Gráfico 21.** Modificaciones en el stock de COS en hectáreas agrícolas “nuevas”.



### ***Stock de COS en hectáreas agrícolas “antiguas”***

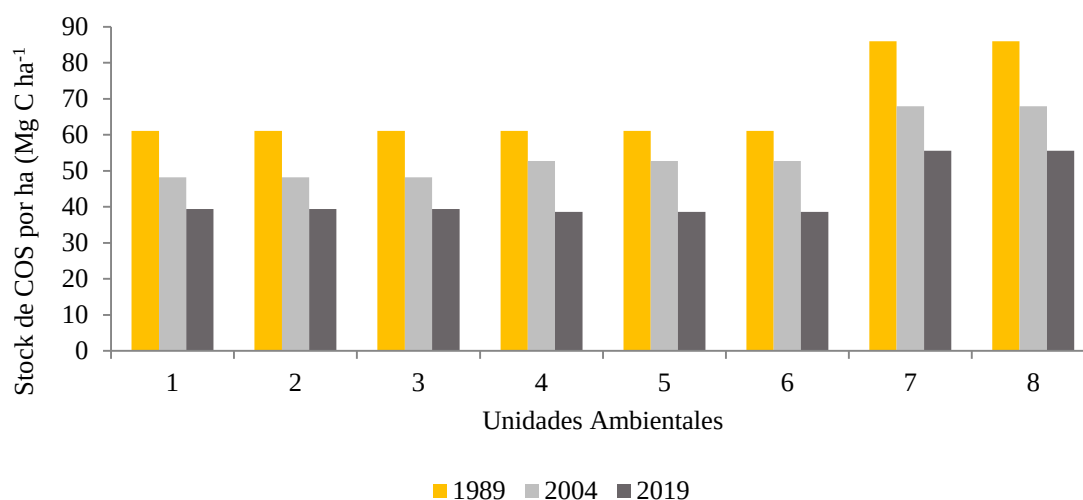
En este caso, la **Tabla 40** y el **Gráfico 22** corresponden al análisis de la modificación del stock de COS en las hectáreas agrícolas “antiguas”, es decir aquellas hectáreas dedicadas a la agricultura desde la fecha previa. Los valores finales del stock de COS decrecen progresivamente en todo el período de estudio y en todas las UA acompañado por una variación entre períodos también negativa.

A diferencia de lo observado en las áreas de PyP y las áreas agrícolas “nuevas” son las UA7 y 8 del SEP serrano las que poseen los valores más altos de stock seguidas por las UA de las PD y en último lugar por las UA de las llanuras.

**Tabla 40.** Stock de COS en hectáreas agrícolas “antiguas” y su variación entre períodos.

| UA | Stock COS por hectárea agrícolas "antiguas" (Mg C ha <sup>-1</sup> ) |       |       | Variación por hectárea del stock de COS (%) |                     |
|----|----------------------------------------------------------------------|-------|-------|---------------------------------------------|---------------------|
|    | 1989                                                                 | 2004  | 2019  | Período 1989 - 2004                         | Período 2004 - 2019 |
| 1  | 61,06                                                                | 48,21 | 39,43 | -21,05                                      | -18,21              |
| 2  | 61,06                                                                | 48,21 | 39,43 | -21,05                                      | -18,21              |
| 3  | 61,06                                                                | 48,21 | 39,43 | -21,05                                      | -18,21              |
| 4  | 61,06                                                                | 52,74 | 38,59 | -13,62                                      | -26,83              |
| 5  | 61,06                                                                | 52,74 | 38,59 | -13,62                                      | -26,83              |
| 6  | 61,06                                                                | 52,74 | 38,59 | -13,62                                      | -26,83              |
| 7  | 86                                                                   | 67,90 | 55,54 | -21,05                                      | -18,21              |
| 8  | 86                                                                   | 67,90 | 55,54 | -21,05                                      | -18,21              |

**Gráfico 22.** Modificaciones en el stock de COS en hectáreas agrícolas “antiguas”.



### **Evolución del stock de COS por Unidades Ambientales**

Las **Tablas 41, 42 y 43** presentan los resultados correspondientes al stock de *COSFUA* en las ocho UA del Partido para las tres fechas de análisis contemplando los usos del suelo PyP y agrícola individualmente y en conjunto. Se enfoca el análisis en los que sucede a escala de Unidad como territorialmente expone la **Figuras 24 y 25**. En ella se categorizan los valores de variación del stock de cada UA, derivados de las **Tablas 41, 42 y 43**, siendo los colores oscuros los que distinguen UA con una provisión del SE más comprometida.

**Tabla 41.** Stock de COS por hectárea y por superficie total de áreas de pastizales y pasturas y áreas agrícolas - Stock de COS total por UA (1989).

| UA | 1989                                 |                 |                    |                                      |                 |                    |                                   |
|----|--------------------------------------|-----------------|--------------------|--------------------------------------|-----------------|--------------------|-----------------------------------|
|    | Áreas de pastizales y pasturas       |                 |                    | Áreas agrícolas                      |                 |                    | COSF por UA Agrícola + PyP (Mg C) |
|    | COSF por ha (Mg C ha <sup>-1</sup> ) | Superficie (ha) | COSF por UA (Mg C) | COSF por ha (Mg C ha <sup>-1</sup> ) | Superficie (ha) | COSF por UA (Mg C) |                                   |
| 1  | 98,04                                | 13497           | 1323245,88         | 61,06                                | 10295           | 628612,70          | 1951858,58                        |
| 2  | 98,04                                | 113194          | 11097539,76        | 61,06                                | 95440           | 5827566,40         | 16925106,16                       |
| 3  | 98,04                                | 8973            | 879712,92          | 61,06                                | 8074            | 492998,44          | 1372711,36                        |
| 4  | 86                                   | 33070           | 2844020,00         | 61,06                                | 32613           | 1991349,78         | 4835369,78                        |
| 5  | 86                                   | 5955            | 512130,00          | 61,06                                | 7319            | 446898,14          | 959028,14                         |
| 6  | 86                                   | 60539           | 5206354,00         | 61,06                                | 43617           | 2663254,02         | 7869608,02                        |
| 7  | 86                                   | 34731           | 2986866,00         | 86                                   | 9104            | 782944,00          | 3769810,00                        |
| 8  | 86                                   | 10727           | 922522,00          | 86                                   | 4185            | 359910,00          | 1282432,00                        |

**Tabla 42.** Stock de COS por hectárea y por superficie total de áreas de pastizales y pasturas y áreas agrícolas - Stock de COS total por UA (2004).

| U<br>A | 2004                                       |                     |                       |                                            |                     |                                     |                                            |                     |                       |                       |                                            |
|--------|--------------------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------------|
|        | Áreas de pastizales y pasturas             |                     |                       | Áreas agrícolas                            |                     |                                     |                                            |                     |                       |                       | COSF por<br>UA<br>Agrícola +<br>PyP (Mg C) |
|        |                                            |                     |                       | Desde PyP "nuevas"                         |                     |                                     | Desde agrícolas "antiguas"                 |                     |                       | COSF por<br>UA (Mg C) |                                            |
|        | COSF por<br>ha (Mg C<br>ha <sup>-1</sup> ) | Superfici<br>e (ha) | COSF por<br>UA (Mg C) | COSF por<br>ha (Mg C<br>ha <sup>-1</sup> ) | Superfici<br>e (ha) | Stock <sub>2</sub> por<br>UA (Mg C) | COSF por<br>ha (Mg C<br>ha <sup>-1</sup> ) | Superfici<br>e (ha) | COSF por<br>UA (Mg C) |                       |                                            |
| 1      | 111,77                                     | 7566                | 845618,53             | 77,40                                      | 5868                | 454209,85                           | 48,21                                      | 10295               | 496302,30             | 950512,144            | 1796130,67                                 |

|   |        |       |                |       |       |                |       |       |                | 3               | 4               |
|---|--------|-------|----------------|-------|-------|----------------|-------|-------|----------------|-----------------|-----------------|
| 2 | 111,77 | 78342 | 8755940,6<br>4 | 77,40 | 34177 | 2645454,9<br>9 | 48,21 | 95440 | 4600980,2<br>2 | 7246435,21<br>5 | 16002375,8<br>5 |
| 3 | 111,77 | 6057  | 676964,24      | 77,40 | 2905  | 224860,19      | 48,21 | 8074  | 389232,13      | 614092,319<br>4 | 1291056,55<br>9 |
| 4 | 98,04  | 25943 | 2543451,7<br>2 | 74,28 | 7001  | 520056,36      | 52,74 | 32613 | 1720043,5<br>1 | 2240099,86<br>5 | 4783551,58<br>5 |
| 5 | 98,04  | 5856  | 574122,24      | 74,28 | 93    | 6908,33        | 52,74 | 7319  | 386011,66      | 392919,998<br>1 | 967042,238<br>1 |
| 6 | 98,04  | 57294 | 5617103,7<br>6 | 74,28 | 2887  | 214455,46      | 52,74 | 43617 | 2300405,9<br>0 | 2514861,36<br>5 | 8131965,12<br>5 |
| 7 | 86,00  | 30000 | 2580000,0<br>0 | 67,90 | 4629  | 314303,17      | 67,90 | 9104  | 618149,95      | 932453,121<br>8 | 3512453,12<br>2 |
| 8 | 86,00  | 6610  | 568460,00      | 67,90 | 4116  | 279471,13      | 67,90 | 4185  | 284156,14      | 563627,274<br>7 | 1132087,27<br>5 |

**Tabla 43.** Stock de COS por hectárea y por superficie total de áreas de pastizales y pasturas y áreas agrícolas - Stock de COS total por UA (2019).

| UA | 2019                                 |                 |                    |                                      |                 |                    |                                      |                 |                    |                    |                                   |
|----|--------------------------------------|-----------------|--------------------|--------------------------------------|-----------------|--------------------|--------------------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------|
|    | Áreas de pastizales y pasturas       |                 |                    | Áreas agrícolas                      |                 |                    |                                      |                 |                    |                    | COSF por UA Agrícola + PyP (Mg C) |
|    |                                      |                 |                    | Desde PyP “nuevas”                   |                 |                    | Desde agrícolas “antiguas”           |                 |                    | COSF por UA (Mg C) |                                   |
|    | COSF por ha (Mg C ha <sup>-1</sup> ) | Superficie (ha) | COSF por UA (Mg C) | COSF por ha (Mg C ha <sup>-1</sup> ) | Superficie (ha) | COSF por UA (Mg C) | COSF por ha (Mg C ha <sup>-1</sup> ) | Superficie (ha) | COSF por UA (Mg C) |                    |                                   |
| 1  | 141,43                               | 5118,00         | 723829,48          | 101,035                              | 2462            | 248747,09          | 39,43                                | 16163           | 637312,94          | 886060,03          | 1609889,50                        |
| 2  | 141,43                               | 50473,00        | 7138305,05         | 101,035                              | 25717           | 2598305,78         | 39,43                                | 129617          | 5110845,23         | 7709151,01         | 14847456,05                       |
| 3  | 141,43                               | 3886,00         | 549589,95          | 101,035                              | 2188            | 221063,62          | 39,43                                | 10979           | 432905,94          | 653969,56          | 1203559,509                       |

|   |        |          |            |        |       |            |       |       |            |            |             |
|---|--------|----------|------------|--------|-------|------------|-------|-------|------------|------------|-------------|
| 4 | 124,06 | 16353,00 | 2028750,17 | 87,626 | 9718  | 851547,90  | 38,59 | 39614 | 1528828,51 | 2380376,41 | 4409126,578 |
| 5 | 124,06 | 4627,00  | 574024,77  | 87,626 | 1235  | 108217,91  | 38,59 | 7412  | 286052,33  | 394270,24  | 968295,0069 |
| 6 | 124,06 | 40132,00 | 4978768,54 | 87,626 | 17518 | 1535029,43 | 38,59 | 46504 | 1794735,22 | 3329764,66 | 8308533,192 |
| 7 | 98,04  | 24193,00 | 2371881,72 | 77,743 | 5226  | 406283,94  | 55,54 | 13733 | 762672,06  | 1168956,00 | 3540837,719 |
| 8 | 98,04  | 5496,00  | 538827,84  | 77,743 | 1115  | 86683,24   | 55,54 | 8301  | 461002,02  | 547685,26  | 1086513,097 |

**Figura 24.** Variación del stock de COS por UA en los período 1989 – 2004.

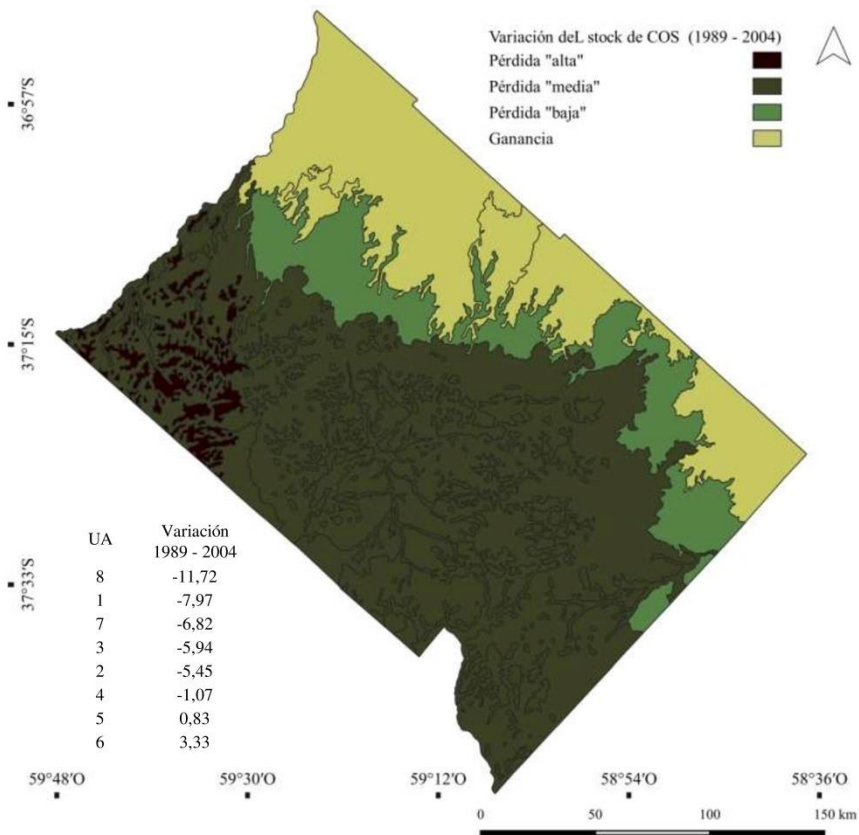
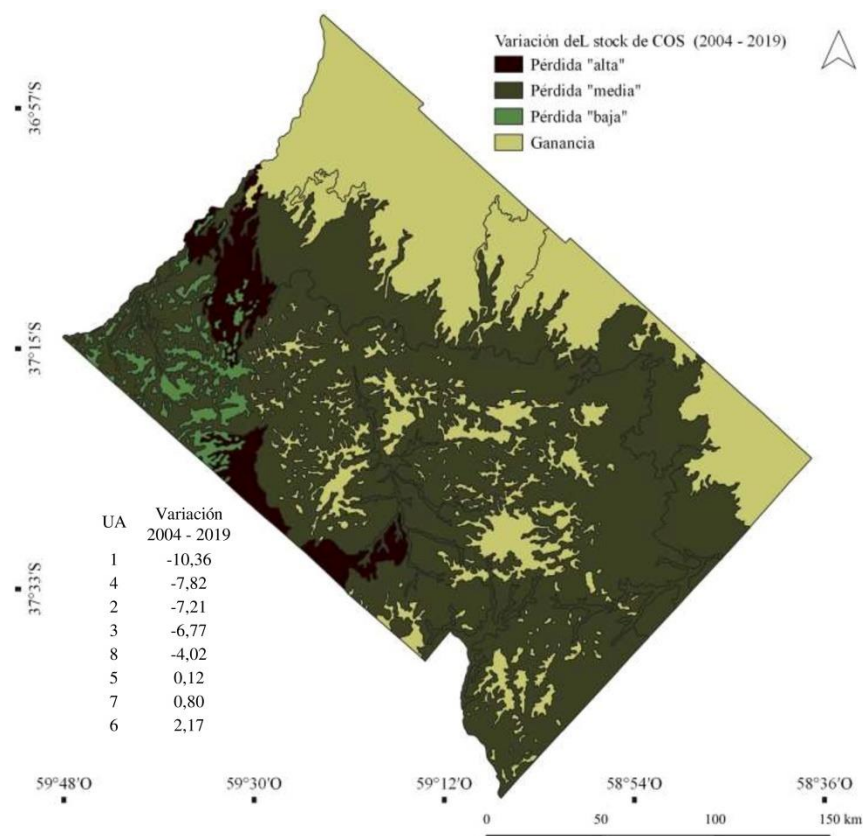


**Figura 25.** Variación del stock de COS por UA en los período 2004 – 2019.



### ***Stock de COS en superficie de pastizales y pasturas de las Unidades Ambientales***

La continuidad en el uso del suelo asociado a PyP entre 1989, 2004 y 2019 implica, como se desprende del **Gráfico 23**, una merma en el stock de COS en todas la UA con excepción de las UA5 y UA6. No obstante, esto no está dado por los factores de cambio vinculados a dichas áreas (se observa en la **Tabla 38** y el **Gráfico 20** que el stock de COS por hectárea aumenta) sino por la pérdida de superficie destinada a dicho uso.

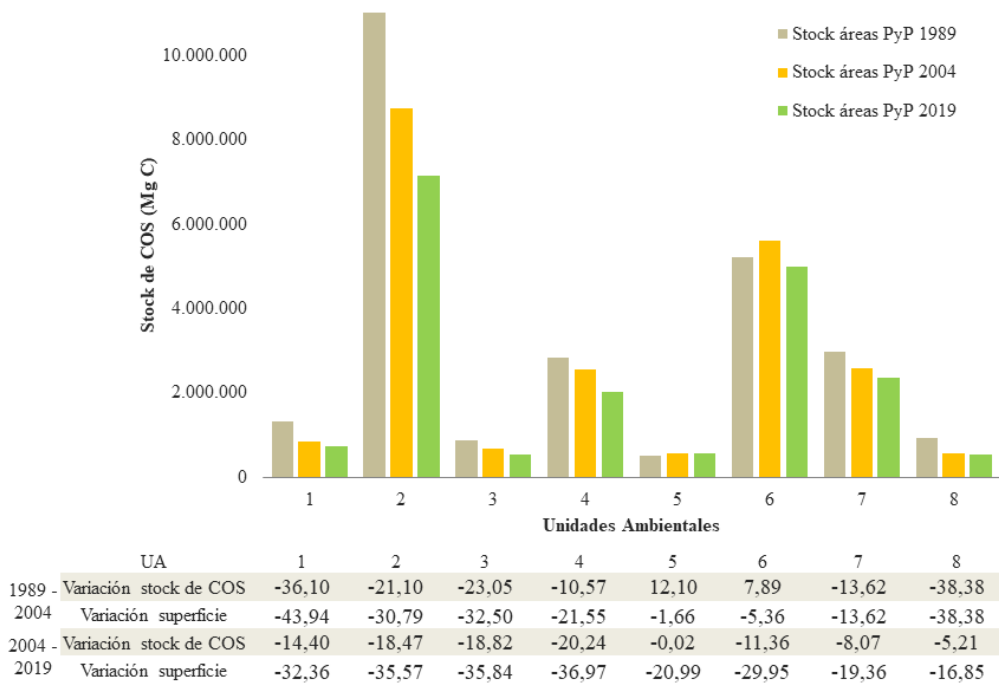
Las UA con continuidad en el uso del suelo de PyP que reportaron las mayores reducciones en el stock de COS en el primer período han sido las UA1 (-36,10), la UA2 (-21,10) y la UA3 (-23,05), pertenecientes a las LLP, y la UA8 (-38,38) perteneciente a las Serranías. Esto ocurre como resultado de una mayor pérdida de superficie de PyP en dichos SEP's. A su vez, en el caso de las UA de las LLP dichos valores se deben a otro factor: ellas presentan los valores más elevados de mejora en el stock dados por una mejor gestión de dicho territorio (mayores valores de FMG desde 1989 que se pierden por hectárea debido a dicha transformación). Por consiguiente, el proceso de agriculturización en dichas UA es determinante para la pérdida del stock de COS.



Otra situación a destacar en el primer período es que las únicas unidades que exhiben un aumento en el stock de COS son las de las PD: UA5 y UA6 que presentan un aumento del 12,10% y 7,89% respectivamente. En asociación son éstas mismas UA las que poseen los menores valores de variación de superficie de PyP en este período (-1,66% y 5,36%, respectivamente). Por otro lado, dichas UA tienen el valor del factor input alto (1,11). Este valor fue consensado dado que el ingreso de residuos al área es significativamente mayor debido a que en ella convive la producción de cultivos con alto rendimiento de residuos, con el uso de cultivos de cobertura y uso frecuente de pastos perennes en las rotaciones anuales de cultivos, inputs asociados a la actividad ganadera.

Durante el período 2004 – 2019, la UA4 (20,24%) de la PD, la UA3 (-18,82%) y la UA2 (-18,47%) exhiben los mayores valores de diferencia en el stock en áreas de PyP. Son estas mismas UA las que demuestran los avances más significativos del proceso de agriculturización en el partido (con variaciones en la superficie de PyP de: -35,57%, -35,84% y -36,97%, respectivamente).

**Gráfico 23.** Modificaciones en el stock de COS en áreas de pastizales y pasturas en las UA del partido.

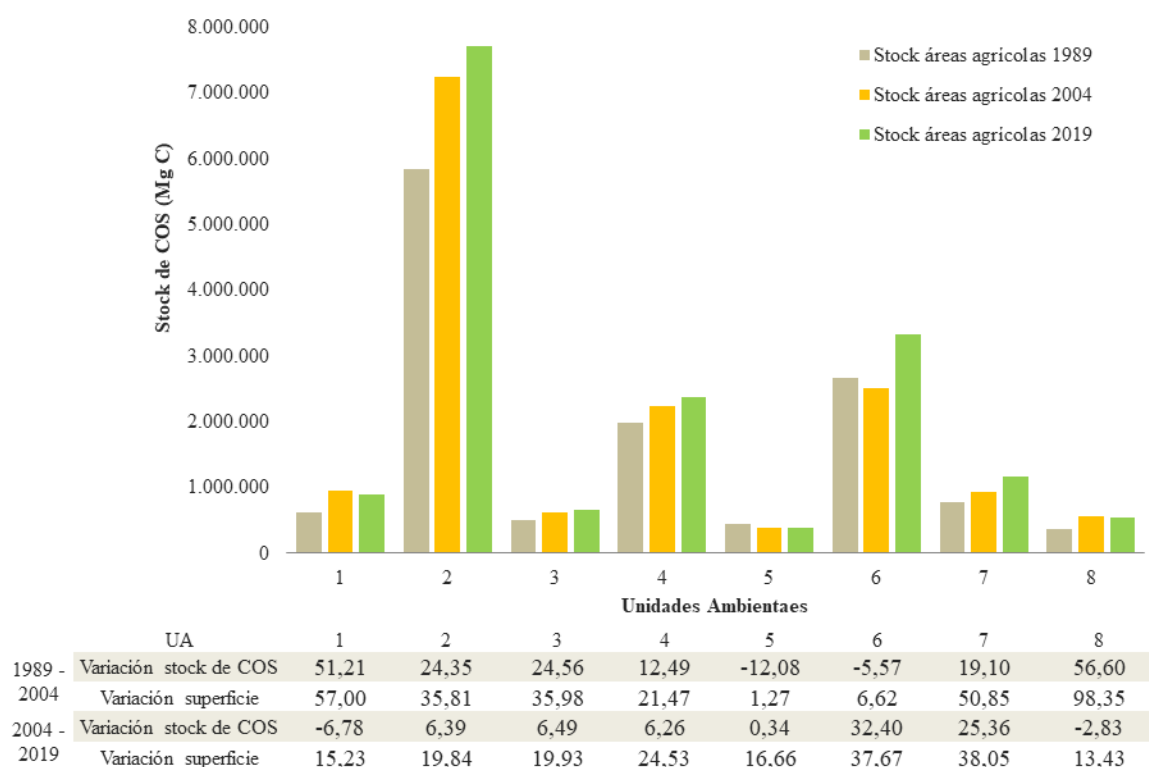


**Stock de COS en superficie agrícola de las Unidades Ambientales**

A diferencia de lo que se observa en la superficie de PyP de las UA del Partido, las áreas agrícolas presentan en general un aumento del stock de COS (**Gráfico 24**). Las variaciones en los valores son más elevadas en el primer período que en el segundo período lo cual se vincula con la modificación radical en las técnicas de tratamiento del suelo (expansión de la siembra directa).

Puede inferirse que el **Gráfico 24** es un espejo del **Gráfico 23** ya que las pérdidas de stock de COS por disminución en la superficie de PyP son ganancias en el stock de COS en áreas agrícolas dinámica derivada del proceso de agriculturización.

**Gráfico 24.** Modificaciones en el stock de COS en áreas agrícolas en las diferentes UA del partido.



## DISCUSIÓN

Los suelos son el mayor reservorio de carbono en los ecosistemas terrestres, aunque, como sostienen Lefèvre et al. (2017) los impactos antropogénicos pueden convertirlo en un sumidero neto o una fuente neta de GEI. Para que dicho balance resulte efectivo, como una forma de contrarrestar, el aumento de las emisiones, es pertinente considerar las formas de manejo de la superficie productiva de cada territorio (IPCC, 2015). Los niveles de almacenamiento de SOC se controlan principalmente gestionando la cantidad y el tipo de residuos orgánicos que entran en el suelo (es decir, el aporte de C orgánico al sistema del suelo) y minimizando las pérdidas de C del suelo (FAO y GTIS, 2015).

En este caso, a lo largo del período de análisis los sistemas productivos fueron virando desde un sistema mixto agrícola-ganadero hacia sistemas de agricultura continua y por tanto hacia formas productivas que reducen el COS y donde el mencionado balance no se percibe. El uso que hagamos del suelo determinará en gran medida la magnitud de los impactos ambientales asociados. Por este motivo, el análisis de los cambios en el uso del suelo y la situación del COS derivada de ello a escala de paisajística o de Unidad Ambiental es fundamental para la adopción de estrategias de gestión ambiental rural que adaptadas a las particularidades del territorio.

Si se contempla lo ocurrido con el stock de COS por hectárea se observa que, por un lado, la continuidad en el uso de suelo de PyP significa un aumento en el stock de C en el suelo en todas las UA. Por otro lado, aquella superficie destinada a la agricultura al finalizar el período de análisis presenta una disminución en el stock de C. En el primer período son las unidades de las LLP y las S las que exhiben las mayores variaciones negativas en el stock de COS. Luego, en el segundo período son las unidades de las PD las que ocupan los primeros lugares respecto a la pérdida de stock de COS. A su vez, si en dicha superficie previamente primaba la actividad ganadera (asociada a áreas de PyP) la modificación en el stock es de mayor magnitud que si en el territorio primaba ya a la actividad agrícola.

Al considerar las tasas de cambio en el COS del suelo por hectárea los resultados coinciden. Para aquellas hectáreas que mantienen un uso de suelo asociado a PyP las tasas son positivas siendo más elevadas en el segundo período. Las UA con las tasas más altas (mayores ganancias) son aquellas pertenecientes a las LLP, seguidas por las UA de las PD y por último las UA de las Serranías. Esto último se debe a que los valores de los factores de manejo del suelo e inputs son mayores en las unidades del SEP de LLP. Los valores de aumento en el CO

del suelo en hectáreas de PyP, no obstante, se ven opacados por la reducción de la superficie total dedicada a esta actividad.

Por el contrario, en los casos de UA en las cuales el uso de suelo de PyP se transforma a un uso agrícola o en las cuales la agricultura perdura a lo largo de las fechas analizadas las tasas de cambio son negativas. Las tasas de pérdida de stock son más elevadas en hectáreas de sistemas cultivados durante largo tiempo. Para estos casos las UA de las PD son las que poseen tasas de cambio más comprometidas seguidas por las unidades de las Serranías y las LLP.

La pérdida del stock de COS por hectárea en usos del suelo agrícola no se traduce en una pérdida de COS a escala de UA sino que éstas manifiestan un aumento en el valor ocasionado por el aumento de superficie dedicado a dicha actividad productiva. En esta línea, Álvarez et al (2014) plantea que áreas donde se ha eliminado la rotación agrícola-ganadera y se practica agricultura permanente las diferencias entre aportes de sistemas naturales y cultivados es mayor que donde se mantiene dicha rotación.

A escala de UA los resultados indican que entre 1989 y 2004 la UA8 pertenece a una categoría alta de variación en el stock de COS; las UA1, 7, 3 y 2 a la categoría media; y las UA4, 5 y 6 a una categoría baja. Por consiguiente, son las unidades de los SEP de LLP y S las áreas del partido más comprometidas con respecto a la provisión de este servicio. Con respecto a la UA1, 2 Y 3, sus paisajes corresponden a lomas extendidas, con índice de productividad moderados que no presentan obstáculos para el desarrollo de la actividad agrícola. Si bien las UA 7 y UA8 presentan abundantes limitaciones al avance de la agricultura la intensidad el proceso de agriculturización es alto en este período debido a la escasa intervención agrícola y a su distribución geográfica en parches sobre una matriz altamente productiva. De esta manera, los resultados obtenidos muestran la misma tendencia que el proceso de agriculturización en el área de estudio.

En el segundo período, es decir entre 2004 y 2019, UA1 pertenece a una categoría alta de variación en el stock de COS; las UA4, 2, 3 y 8 a la categoría media; y las UA5, 7 y 6 a una categoría baja. Los datos evidenciados en las modificaciones del stock de C para el segundo período también concuerdan con la tendencia en las transformaciones en los usos del suelo. Ante las imitaciones físicas que encuentra la actividad agrícola en las unidades serranas y en las unidades periserranas (cubiertas prácticamente en su totalidad por cultivos anuales) la agriculturización y, con ella, la merma en el stock de COS continúa ocurriendo en paisajes de

las Planicies distales. Este proceso es motorizado por insumos externos y el confinamiento de la actividad ganadera en producciones intensivas o en las planicies más deprimidas con bajo potencial de escurrimiento superficial situados al noroeste del partido (Somoza y Vazquez, 2022).

Para revertir las externalidades de la producción agrícola asociadas al C del suelo se requieren manejos más conservacionistas, la incorporación de especies con un sistema robusto de raíces, o cultivos de cobertura que mejoren el resultado del balance sumidero - fuente. Estos manejos promueven una menor intervención sobre los suelos y permiten que los rastrojos de la cosecha cubran el suelo aportando materia orgánica y protegiendo el suelo de la erosión eólica e hídrica. Por ejemplo, se han estimado aumentos de los aportes de carbono en suelos cultivados y balances de carbono menos negativos como consecuencia de los mayores aportes de residuos al suelo asociados a incrementos de rendimientos, cultivos de cobertura, *mulching*, prácticas agroforestales y pastoreo rotacional (Pabst et al., 2016; Ikabongo Mukumbuta y Ryusuke Hatano, 2020). A su vez, la sinergia entre carbono y nitrógeno permite no solamente incrementar la fertilidad y la productividad de los suelos, sino también aumentar su diversidad biológica, reducir el escurrimiento de agua y la erosión, minimizar la contaminación y actuar como un filtro moderador de los efectos del cambio climático (Vigglizo, 2018)

La cuantificación de las emisiones es fundamental para una serie de propósitos como planificación nacional para un desarrollo de bajas emisiones, la generación y comercio de bonos de carbono, la certificación de prácticas agrícolas sustentables, etc. (Zomer et al., 2016). Sin embargo, existen aún demasiadas incertidumbres acerca de los métodos de estimación, la escala de análisis y los límites de los sistemas estudiados, además de la alta heterogeneidad espacial característica de las variables asociadas al suelo (Lorenz y Lal, 2016). A pesar de ello, trabajos como el presente resultan herramientas claves para fomentar y avanzar hacia investigaciones de COS mediante metodologías más robustas, por ejemplo, derivadas de un Nivel 3 del IPCC. A su vez, resaltan la necesidad de adopción de la gestión de mejora del COS considerando las diferencias ambientales (ecológicas y productivas) de cada paisaje.

Reconocemos que el presente trabajo representa los resultados de una ubicación particular y que la magnitud de las diferencias puede variar en diferentes ubicaciones debido a las diferencias en el clima, las condiciones del suelo y otras prácticas de manejo y gestión de los

paisajes. Sin embargo, pretende ilustrar el diagnóstico de la situación del stock de COS en relación al avance de la agricultura y la intensificación productiva así como también el potencial de las áreas de pastizales y pasturas como una opción de manejo para maximizar el sumidero de carbono y otros SE vinculados.

---

## CAPÍTULO VI - INCIDENCIA DE LA AGRICULTURIZACIÓN SOBRE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE REGULACIÓN: CONTROL DE LA EROSIÓN HÍDRICA

---

## **OBJETIVO ESPECÍFICO**

- VI. Evaluar la incidencia de la agriculturización sobre la provisión de SE de regulación en las UA del partido de Tandil, en los diferentes períodos seleccionados, empleando indicadores de sustentabilidad. Particularmente, se evalúan el estado de provisión del SE de control de la erosión.



## MATERIALES Y MÉTODOS

Para determinar la pérdida de suelo por erosión hídrica se emplearon como unidades básicas para el diagnóstico las ocho UA del partido de Tandil y las taxonomías predominantes en cada unidad que constituyen un insumo fundamental para la estimación de la erosión. Se determinó el porcentaje de ocupación de cada taxonomía dominante para las ocho UA digitalizadas previamente.

La erosión hídrica puede ser representada en forma simple mediante la ecuación Universal de pérdida del suelo (USLE) (Wischmeier y Smith, 1978) y su versión revisada (RUSLE) (Renard et al., 1991). Consiste básicamente en asignar un valor numérico a diferentes factores que multiplicados entre sí proporcionan el valor de pérdida de suelo en Tn/ha/año, para una secuencia de cultivo y manejo dado, y obtener indicaciones para el establecimiento de las prácticas de manejo y conservación específicas. La Ecuación Universal de Predicción de Erosión Hídrica queda representada entonces por los siguientes factores:

$$E_{parcial} = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

Dónde:

- $E_{parcial}$ : pérdida de suelo total por hectárea ( $\text{ton ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ ) por taxonomía de suelo dominante en las UA del partido;
- R: erosividad de las lluvias ( $\text{hJ cm m}^{-2} \text{h}^{-1}$ );
- K: susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica ( $\text{ton m}^2 \text{h ha}^{-1} \text{hJ}^{-1} \text{cm}^{-1}$ );
- L: longitud de la pendiente (m);
- S: pendiente (%);
- C: factor cultivo o cobertura (adimensional) y
- P: factor práctica conservacionista (adimensional).

De esta manera, el resultado logrado a partir del producto de los factores antes mencionados ( $R \times K \times L \times S \times C \times P$ ) facilitó el cálculo de la erosión parcial ( $E_{parcial}$ ) por hectárea para cada una de las series de suelos analizadas en las distintas UA, considerando la proporción de superficie ocupada por cada taxonomía. A partir de esta ecuación fue posible determinar la erosión total ( $E_{total}$ ) por:

$$E_{total} = \sum_n^{\infty} E_{parcial}$$

Dónde:

- *E<sub>total</sub>*: pérdida de suelo total por hectárea (ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) correspondiente a cada UA del partido.
- *E<sub>parcial</sub>*: pérdida de suelo total por hectárea (ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) por taxonomía de suelo dominante en las UA.

Con respecto a los factores que conforman la ecuación de  $E_{\text{parcial}}$ , particularmente el factor R representa la erosividad de las lluvias y fue obtenido a partir de los dominios edáficos característicos del Partido (SAGyP-INTA, 1989; Gaitán et al., 2017).

Para determinar la susceptibilidad de los suelos a la erosión hídrica, o erodabilidad, (factor K) se emplearon las Cartas de Suelos de la provincia de Buenos Aires que brindan la información edáfica específica de los perfiles de suelos con respecto al porcentaje de materia orgánica, de limo y arena muy fina y de arcilla, grado de estructura y la permeabilidad. Para la información relacionada a los afloramientos rocosos, específicamente, se tomaron datos aportados por Vagaria y Gaspari (2015).

Los factores L y S, denominados en conjunto como factor topográfico “LS”, establecen la influencia del relieve a la erosión hídrica. Los datos de longitud y gradiente fueron adquiridos de información proveniente de Irurtia y Cruzate (2002) y la consulta en línea de las cartas de suelos del INTA, respectivamente.

Para el cálculo propiamente dicho de los factores K y LS se empleó el software de Erosión Hídrica INTA-USLE/RUSLE (Gvozdenovich et al., 2015; 2017). El factor C tiene en cuenta la protección aérea que la vegetación y sus residuos proporcionan al suelo y ha sido calculado en base a la información de la base de datos de Scotta y Gvozdenovich (2014) e Irurtia y Cruzate (2002). Se consideraron los cultivos, rotaciones, y sistemas de labranzas característicos de la actividad agrícola llevada a cabo en el partido en cada fecha de análisis. El valor P asciende a 1 en todos los casos debido a que no se aplica ningún tipo de prácticas conservacionistas.

Por otro lado, la ecuación USLE fue empleada para obtener la tasa de erosión potencial (EP), definida como la máxima posible para un sitio determinado, es decir, considerando un suelo desnudo durante la totalidad del año. En el caso de la EP, se realiza un producto de los mismos factores sin considerar C y P. Como se describió para el caso de A previamente fue preciso obtener valores de  $EP_{\text{parcial}}$  considerando la proporción de superficie ocupada por cada taxonomía en la unidad.

- ~ Erosión potencial parcial ( $EP_{\text{parcial}}$ ), como se describió para la erosión parcial, se utilizó la proporción de superficie ocupada por cada taxonomía en la unidad.
- ~ Erosión potencial total ( $EP_{\text{total}}$ ) para indicar la pérdida de suelo potencial por hectárea de cada UA del partido.

Para estimar la  $EP_{\text{parcial}}$  y la  $EP_{\text{total}}$  se efectuó el producto entre los factores R, K y LS, sin considerar C ni P:

$$EP_{\text{total}} = R \times K \times L \times S \quad (2)$$

Dónde:

- EP: Pérdida de suelo potencial por hectárea (ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>);
- R: Erosividad de las lluvias (hJ cm m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>);
- K: Susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica (ton m<sup>2</sup> h ha<sup>-1</sup> hJ<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>);
- L: Longitud de la pendiente (m);
- S: Pendiente (%)

Finalmente, a partir de la combinación de los valores de pérdida de suelo total ( $E_{\text{total}}$ ) por hectárea y los datos correspondientes a la superficie destinada a agricultura en cada UA en 1989, 2004 y 2019 se estimó la pérdida total de suelos en cada UA por superficie agrícola total ( $E_{\text{agrícola}}$ ) y su variación en las fechas consideradas. Para ello se emplearon imágenes satelitales clasificadas por Somoza et al (2021) de manera tal de conocer la superficie ocupada por la agricultura y luego calcular la pérdida total de suelo.

$$E_{\text{agrícola}} = E_{\text{total}} \times SUP_{\text{agrícola}} \quad (3)$$

## RESULTADOS

### Obtención de factores necesarios para el cálculo de la erosión hídrica en las Unidades Ambientales del partido de Tandil (1989, 2004 y 2019).

A continuación se detallan los valores y características correspondientes a cada uno de los factores empleados en la ecuación general de pérdida del suelo. En primera instancia, la **Tabla 44** exhibe los resultados asociados al factor de erosividad de las lluvias (R). La mayoría de las UA corresponden al Dominio 2. Dicho Dominio edáfico se caracteriza por la inclinación de los terrenos, una capa sub superficial de carbonato de calcio cementado que determina regiones someras y profundas formado a partir del loess que cubrió los faldeos serranos de la Región Pampeana. Contrariamente, la UA6 pertenece al Dominio 22 y se encuentra caracterizada por ser la zona más deprimida del Partido y con un drenaje deficiente. En consecuencia, el Dominio 22 genera un valor de R de  $306 \text{ hJ cm m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , es decir que las precipitaciones en dicha unidad generan el menor valor de erosividad. La otra excepción al Dominio 2 es la UA7 que corresponde al Dominio 1 vinculado especialmente a una geomorfología escarpada de las zonas serranas de mayores pendientes del partido. Por este motivo es que la UA7 obtiene el valor de R más elevado de  $340 \text{ hJ cm m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  ya que es la unidad en la cual las lluvias poseen el mayor valor de erosividad.

**Tabla 44.** Erosividad de las lluvias (R) por taxonomías principales.

| UA | Taxonomías principales       | Dominio | Unidad geomorfológica - Materiales parentales                                                          | R ( $\text{hJ cm m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) |
|----|------------------------------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1  | <i>Argiudol petrocálcico</i> | 2       | Pedemontes ondulados y Valles Interserranos - Sedimentos loésicos sobre roca, loess profundo en valles | 312                                        |
|    | <i>Argiudol típico</i>       |         |                                                                                                        |                                            |
|    | <i>Argiudol vértico</i>      |         |                                                                                                        |                                            |
| 2  | <i>Argiudol típico</i>       | 2       | Pedemontes ondulados y Valles Interserranos - Sedimentos loésicos sobre roca, loess profundo en valles | 312                                        |
|    | <i>Hapludol petrocálcico</i> |         |                                                                                                        |                                            |
|    | <i>Hapludol lítico</i>       |         |                                                                                                        |                                            |
| 3  | <i>Complejos</i>             | 2       | Pedemontes ondulados y Valles Interserranos - Sedimentos loésicos sobre roca, loess profundo en valles | 312                                        |
|    | <i>Argiudol típico</i>       |         |                                                                                                        |                                            |
|    | <i>Argiudol petrocálcico</i> |         |                                                                                                        |                                            |
| 4  | <i>Hapludol petrocálcico</i> | 2       | Pedemontes ondulados y Valles Interserranos - Sedimentos loésicos sobre roca, loess profundo en valles | 312                                        |
|    | <i>Argiudol típico</i>       |         |                                                                                                        |                                            |
|    | <i>Natracuol típico</i>      |         |                                                                                                        |                                            |
| 5  | <i>Argiudol típico</i>       | 2       | Pedemontes ondulados y Valles Interserranos - Sedimentos loésicos                                      | 312                                        |
|    | <i>Argiudol petrocálcico</i> |         |                                                                                                        |                                            |

|   |                              |    |                                                                                     |     |
|---|------------------------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6 | <i>Natracuol típico</i>      | 22 | sobre roca, loess profundo en valles                                                | 340 |
|   | <i>Argiudol típico</i>       |    | Subnormal. Drenaje deficiente.                                                      |     |
|   | <i>Natrudol típico</i>       |    | Sedimentos loésicos y sedimentos                                                    |     |
|   | <i>Natracuol típico</i>      |    | eólicos recientes de textura moderadamente gruesa sobre petrocálcico -Plano cóncavo |     |
| 7 | <i>Hapludoles líticos</i>    | 1  | Escarpado - Roca o sedimentos loésicos (delgdos) sobre roca                         | 306 |
|   | <i>Argiudoles típicos</i>    |    |                                                                                     |     |
|   | <i>Afloramientos rocosos</i> |    |                                                                                     |     |
| 8 | <i>Argiudol petrocálcico</i> | 2  | Pedemontes ondulados y Valles                                                       | 312 |
|   | <i>Argiudoles típicos</i>    |    | Interserranos - Sedimentos loésicos sobre roca o tosca, loess profundo en           |     |
|   | <i>Hapludoles líticos</i>    |    | valles                                                                              |     |

Luego, para determinar la susceptibilidad de los suelos a la erosión hídrica (factor K) para cada una de las series de suelos que integran las UA se llevó a cabo, en el software de INTA-USLE/RUSLE, la ecuación correspondiente (**Tabla 45**). Los valores de K varían entre 0 y 1, donde 0 es la condición menos susceptible a la erosión y 1 la condición más desfavorable. Así, por ejemplo, suelos de textura fina con alto contenido de arcilla tienen valores bajos de K (0,05-0,15) porque poseen resistencia al desprendimiento a partir de su cohesión. Mientras tanto, suelos de textura mediana poseen valores moderados de K (0,25-0,4) ya que presentan bajas tasas de escurrimiento superficial debido a su permeabilidad (Antezana, 2001). Es de esperar que el valor más elevado de K esté asociado a afloramientos rocosos en la UA7 dado que estos no poseen cohesión ni capacidad de infiltración (Gaspari et al., 2011).

**Tabla 45.** Susceptibilidad de los suelos a la erosión hídrica (factor K) por taxonomías principales.

| UA | Taxonomías pples             | MO (%) | L + AMF (%) | Grado de estructura | Permeabilidad (cm hora <sup>-1</sup> ) | Arcillas (%) | K (t m <sup>2</sup> h ha <sup>-1</sup> hJ <sup>-1</sup> cm <sup>-1</sup> ) |
|----|------------------------------|--------|-------------|---------------------|----------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 1  | <i>Argiudol petrocálcico</i> | 7,69   | 68,2        | 2                   | 3                                      | 30,3         | 0,169                                                                      |
|    | <i>Argiudol típico</i>       | 6,74   | 70          | 4                   | 3                                      | 29,4         | 0,306                                                                      |
|    | <i>Argiudol vértico</i>      | 7,39   | 68,2        | 4                   | 4                                      | 30,7         | 0,324                                                                      |
|    | <i>Argiudol típico</i>       | 6,74   | 70          | 4                   | 3                                      | 29,4         | 0,306                                                                      |
| 2  | <i>Hapludol petrocálcico</i> | 10,28  | 29,7        | 2                   | 4                                      | 29,6         | 0,066                                                                      |
|    | <i>Hapludol lítico</i>       | 12     | 58,5        | 2                   | 4                                      | 32,8         | 0,032                                                                      |
|    | <i>Complejos</i>             |        |             |                     |                                        |              | 0,238                                                                      |
| 3  | <i>Argiudol típico</i>       | 6,74   | 70          | 4                   | 3                                      | 29,4         | 0,306                                                                      |
|    | <i>Argiudol petrocálcico</i> | 7,69   | 68,2        | 2                   | 3                                      | 30,3         | 0,169                                                                      |
| 4  | <i>Argiudol típico</i>       | 6,94   | 70          | 4                   | 3                                      | 23,1         | 0,327                                                                      |
|    | <i>Argiudol petrocálcico</i> | 7,69   | 68,2        | 2                   | 3                                      | 30,3         | 0,169                                                                      |

|   |                              |      |      |   |   |      |       |
|---|------------------------------|------|------|---|---|------|-------|
|   | <i>Natracuol típico</i>      | 4,19 | 70   | 4 | 5 | 25,7 | 0,521 |
|   | <i>Argiudol típico</i>       | 6,94 | 70   | 4 | 3 | 23,1 | 0,327 |
| 5 | <i>Argiudol petrocálcico</i> | 7,06 | 70   | 2 | 3 | 25,7 | 0,233 |
|   | <i>Natracuol típico</i>      | 4,19 | 70   | 4 | 5 | 25,7 | 0,521 |
|   | <i>Argiudol típico</i>       | 6,19 | 28,4 | 4 | 4 | 24,6 | 0,216 |
| 6 | <i>Natrudol típico</i>       | 5,53 | 69,2 | 4 | 5 | 28,9 | 0,411 |
|   | <i>Natracuol típico</i>      | 4,19 | 70   | 4 | 5 | 25,7 | 0,521 |
|   | <i>Hapludoles líticos</i>    | 12   | 58,5 | 2 | 4 | 32,8 | 0,032 |
| 7 | <i>Argiudoles típicos</i>    | 6,74 | 70   | 4 | 3 | 29,4 | 0,306 |
|   | <i>Afloramientos rocosos</i> |      |      |   |   |      | 0,95  |
|   | <i>Argiudol petrocálcico</i> | 6,02 | 30,9 | 4 | 4 | 30,7 | 0,218 |
| 8 | <i>Argiudoles típicos</i>    | 6,74 | 70   | 4 | 3 | 29,4 | 0,306 |
|   | <i>Hapludoles líticos</i>    | 12   | 58,5 | 2 | 4 | 32,8 | 0,032 |

La **Tabla 46** sintetiza la información vinculada al factor LS para cada UA. Coincidiendo con los valores de los factores descriptos hasta aquí se observa que la mayoría de las UA posee un valor común de 0,47 a excepción de extremos representados por la UA6, caracterizada por poseer las menores pendientes del Partido (0,1), y la UA7 y 8 con los mayores gradientes topográficos.

**Tabla 46.** Longitud de la pendiente (L) y pendiente (S).

| UA | L (mts) | S (%) | LS   |
|----|---------|-------|------|
| 1  | 300     | 2     | 0,47 |
| 2  | 300     | 2     | 0,47 |
| 3  | 300     | 2     | 0,47 |
| 4  | 300     | 2     | 0,47 |
| 5  | 300     | 2     | 0,47 |
| 6  | 100     | 0,25  | 0,1  |
| 7  | 300     | 10    | 4    |
| 8  | 200     | 5     | 1,38 |

El valor el factor de cultivo (C) varía de acuerdo al momento considerado puesto que depende directamente de las prácticas productivas implementadas en cada fecha. Para su obtención se consideró la información de superficie sembrada en el Partido provistas por la Dirección de Estimaciones Agrícolas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (2022)<sup>11</sup>. Como muestra la **Tabla 47** para 1989 el valor de C deriva de un promedio entre los valores de C correspondientes a los planteos “Trigo en rotación”, “Girasol en rotación”, “Maíz en rotación” y “Lino en rotación” generados todos bajo el sistema de siembra convencional. Dicha técnica

<sup>11</sup> <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar>

da lugar al mayor valor de C. Para las fechas restantes, caracterizadas por la dominancia de la siembra directa, se promediaron los valores de los planteos “Soja continua”, “Cebada/Soja de segunda”, “Maíz en rotación” y “Girasol en rotación” generados bajo el sistema de labranza cero. El menor valor del factor C para las últimas fechas, en contraposición a 1989, se vincula directamente con la técnica de siembra directa que se extendía en 2004 un 70% y en 2019 en un 95% de la superficie agrícola (Somoza y Vazquez, 2022).

**Tabla 47.** Rotaciones y sistemas de labranza dominantes en 1989, 2004 y 2019 para obtener el factor cultivo (C).

| 1989    | Labranza convencional  | C parcial | C final |
|---------|------------------------|-----------|---------|
| Trigo   | en rotación            | 0,0213    | 0,134   |
| Girasol | en rotación            | 0,29      |         |
| Maíz    | en rotación            | 0,181     |         |
| Lino    | en rotación            | 0,045     |         |
| 2004    | Siembra directa        | C         | 0,087   |
| Trigo   | Trigo/Soja en rotación | 0,0393    |         |
| Soja    | continua               | 0,13      |         |
| Girasol | en rotación            | 0,08      |         |
| Maíz    | en rotación            | 0,1       |         |
| 2019    | Siembra directa        | C         | 0,087   |
| Soja    | continua               | 0,13      |         |
| Cebada  | Trigo/Soja en rotación | 0,0393    |         |
| Maíz    | en rotación            | 0,1       |         |
| Girasol | en rotación            | 0,08      |         |

Fuente: Elaboración personal a partir de datos de la Dirección de Estimaciones Agrícolas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.

Por último, el valor P asciende a 1 en la totalidad de los casos analizados ya que no fue registrada la aplicación de ningún tipo de prácticas conservacionistas que puedan generar modificaciones de significancia.

#### **Pérdida de suelo (E) y erosión potencial (EP) en las Unidades Ambientales del partido de Tandil (1989, 2004 y 2019).**

Como se describió en el apartado metodológico, por un lado, el resultado del producto de los factores ( $R \cdot K \cdot LS$ ) posibilitó el cálculo de EP. Por otro lado, la combinación de los factores ( $R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$ ) posibilitó el cálculo de E para cada una de las UA y en cada fecha de análisis. La **Tabla 48** muestra los valores alcanzados para  $E_{\text{parcial}}$ ,  $E_{\text{total}}$ ,  $EP_{\text{parcial}}$  y  $EP_{\text{total}}$ .

**Tabla 48.** Pérdida de suelo y erosión hídrica potencial (parcial y actual) por UA (1989, 2004 y 2019).

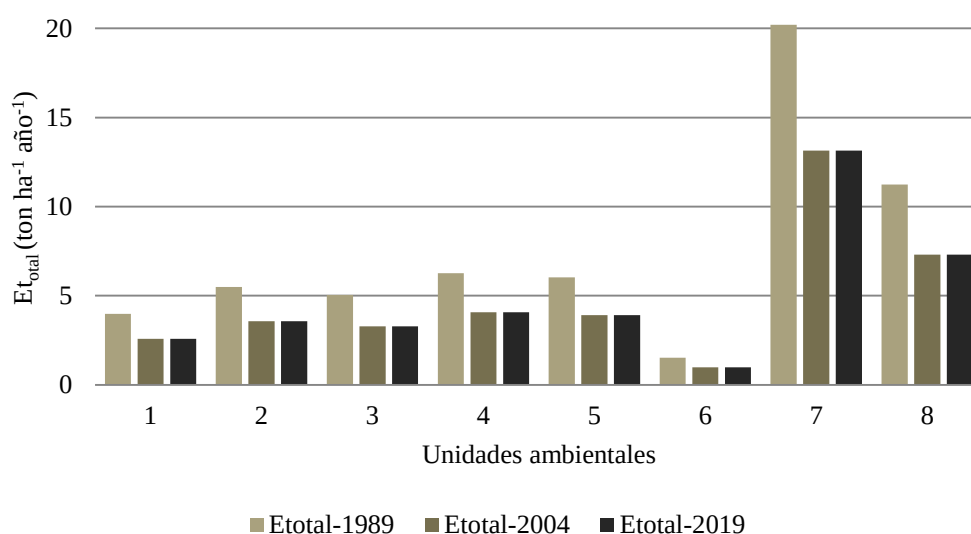
| UA | Taxonomías                   | Porcentaje de ocupación | EP <sub>parcial</sub> (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ). | EP <sub>total</sub> (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ). | 1989  |                                                              |                                                            | 2004  |                                                              |                                                            | 2019  |                                                              |                                                            |
|----|------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|    |                              |                         |                                                                |                                                              | C     | E <sub>parcial</sub> (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) | E <sub>total</sub> (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) | C     | E <sub>parcial</sub> (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) | E <sub>total</sub> (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) | C     | E <sub>parcial</sub> (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) | E <sub>total</sub> (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) |
| 1  | <i>Argiudol petrocálcico</i> | 77,01                   | 24,78                                                          | 19,08                                                        | 0,134 | 3,33                                                         | 2,56                                                       | 0,087 | 2,16                                                         | 1,67                                                       | 0,087 | 2,16                                                         | 1,67                                                       |
|    | <i>Argiudol típico</i>       | 14,73                   | 44,87                                                          | 6,61                                                         |       | 6,03                                                         | 0,89                                                       |       | 3,92                                                         | 0,58                                                       |       | 3,92                                                         | 0,58                                                       |
|    | <i>Argiudol vértico</i>      | 8,26                    | 47,51                                                          | 3,93                                                         |       | 6,38                                                         | 0,53                                                       |       | 4,15                                                         | 0,34                                                       |       | 4,15                                                         | 0,34                                                       |
|    | Total                        |                         |                                                                | 29,62                                                        |       |                                                              | 3,98                                                       |       |                                                              | 2,59                                                       |       |                                                              | 2,59                                                       |
| 2  | <i>Argiudol típico</i>       | 89,18                   | 44,87                                                          | 40,02                                                        | 0,134 | 6,03                                                         | 5,38                                                       | 0,087 | 3,92                                                         | 3,49                                                       | 0,087 | 3,92                                                         | 3,49                                                       |
|    | <i>Hapludol petrocálcico</i> | 6,12                    | 9,68                                                           | 0,59                                                         |       | 1,30                                                         | 0,08                                                       |       | 0,85                                                         | 0,05                                                       |       | 0,85                                                         | 0,05                                                       |
|    | <i>Hapludol lítico</i>       | 4,70                    | 4,69                                                           | 0,22                                                         |       | 0,63                                                         | 0,03                                                       |       | 0,41                                                         | 0,02                                                       |       | 0,41                                                         | 0,02                                                       |
|    | Total                        |                         |                                                                | 40,83                                                        |       |                                                              | 5,48                                                       |       |                                                              | 3,57                                                       |       |                                                              | 3,57                                                       |
| 3  | <i>Complejos</i>             | 52,84                   | 34,83                                                          | 18,40                                                        | 0,134 | 4,68                                                         | 2,47                                                       | 0,087 | 3,04                                                         | 1,61                                                       | 0,087 | 3,04                                                         | 1,61                                                       |
|    | <i>Argiudol típico</i>       | 36,69                   | 44,87                                                          | 16,46                                                        |       | 6,03                                                         | 2,21                                                       |       | 3,92                                                         | 1,44                                                       |       | 3,92                                                         | 1,44                                                       |
|    | <i>Argiudol petrocálcico</i> | 10,47                   | 24,78                                                          | 2,59                                                         |       | 3,33                                                         | 0,35                                                       |       | 2,16                                                         | 0,23                                                       |       | 2,16                                                         | 0,23                                                       |
|    | Total                        |                         |                                                                | 37,46                                                        |       |                                                              | 5,03                                                       |       |                                                              | 3,27                                                       |       |                                                              | 3,27                                                       |
| 4  | <i>Argiudol típico</i>       | 81,23                   | 47,95                                                          | 38,95                                                        | 0,134 | 6,44                                                         | 5,23                                                       | 0,087 | 4,19                                                         | 3,40                                                       | 0,087 | 4,19                                                         | 3,40                                                       |
|    | <i>Argiudol petrocálcico</i> | 12,90                   | 24,78                                                          | 3,20                                                         |       | 3,33                                                         | 0,43                                                       |       | 2,16                                                         | 0,28                                                       |       | 2,16                                                         | 0,28                                                       |
|    | <i>Natracuol típico</i>      | 5,87                    | 76,40                                                          | 4,49                                                         |       | 10,26                                                        | 0,60                                                       |       | 6,67                                                         | 0,39                                                       |       | 6,67                                                         | 0,39                                                       |
|    | Total                        |                         |                                                                | 46,63                                                        |       |                                                              | 6,26                                                       |       |                                                              | 4,07                                                       |       |                                                              | 4,07                                                       |
| 5  | <i>Argiudol típico</i>       | 73,85                   | 47,95                                                          | 35,41                                                        | 0,134 | 6,44                                                         | 4,76                                                       | 0,087 | 4,19                                                         | 3,09                                                       | 0,087 | 4,19                                                         | 3,09                                                       |
|    | <i>Argiudol petrocálcico</i> | 23,64                   | 34,17                                                          | 8,08                                                         |       | 4,59                                                         | 1,08                                                       |       | 2,98                                                         | 0,71                                                       |       | 2,98                                                         | 0,71                                                       |
|    | <i>Natracuol típico</i>      | 1,79                    | 76,40                                                          | 1,37                                                         |       | 10,26                                                        | 0,18                                                       |       | 6,67                                                         | 0,12                                                       |       | 6,67                                                         | 0,12                                                       |
|    | Total                        |                         |                                                                | 44,86                                                        |       |                                                              | 6,03                                                       |       |                                                              | 3,92                                                       |       |                                                              | 3,92                                                       |
| 6  | <i>Argiudol típico</i>       | 50,66                   | 7,34                                                           | 3,72                                                         | 0,134 | 0,99                                                         | 0,50                                                       | 0,087 | 0,64                                                         | 0,32                                                       | 0,087 | 0,64                                                         | 0,32                                                       |
|    | <i>Natrudol típico</i>       | 31,82                   | 13,97                                                          | 4,45                                                         |       | 1,88                                                         | 0,60                                                       |       | 1,22                                                         | 0,39                                                       |       | 1,22                                                         | 0,39                                                       |
|    | <i>Natracuol típico</i>      | 17,52                   | 17,71                                                          | 3,10                                                         |       | 2,38                                                         | 0,42                                                       |       | 1,55                                                         | 0,27                                                       |       | 1,55                                                         | 0,27                                                       |
|    | Total                        |                         |                                                                | 11,27                                                        |       |                                                              | 1,51                                                       |       |                                                              | 0,98                                                       |       |                                                              | 0,98                                                       |
| 7  | <i>Hapludoles líticos</i>    | 60,53                   | 39,17                                                          | 23,71                                                        | 0,134 | 5,26                                                         | 3,18                                                       | 0,087 | 3,42                                                         | 2,07                                                       | 0,087 | 3,42                                                         | 2,07                                                       |
|    | <i>Argiudoles típicos</i>    | 26,78                   | 374,54                                                         | 100,31                                                       |       | 50,31                                                        | 13,47                                                      |       | 32,71                                                        | 8,76                                                       |       | 32,71                                                        | 8,76                                                       |
|    | <i>Afloramientos rocosos</i> | 12,69                   | 208,08                                                         | 26,40                                                        |       | 27,95                                                        | 3,55                                                       |       | 18,17                                                        | 2,31                                                       |       | 18,17                                                        | 2,31                                                       |
|    | Total                        |                         |                                                                | 150,42                                                       |       |                                                              | 20,20                                                      |       |                                                              | 13,14                                                      |       |                                                              | 13,14                                                      |
| 8  | <i>Argiudol</i>              | 46,34                   | 93,86                                                          | 43,50                                                        | 0,134 | 12,61                                                        | 5,84                                                       | 0,087 | 8,20                                                         | 3,80                                                       | 0,087 | 8,20                                                         | 3,80                                                       |



|                           |       |        |       |       |       |       |      |       |      |
|---------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|
| <i>petrocálcico</i>       |       |        |       |       |       |       |      |       |      |
| <i>Argiudoles típicos</i> | 27,80 | 131,75 | 36,63 | 17,70 | 4,92  | 11,51 | 3,20 | 11,51 | 3,20 |
| <i>Hapludoles líticos</i> | 25,86 | 13,78  | 3,56  | 1,85  | 0,48  | 1,20  | 0,31 | 1,20  | 0,31 |
| Total                     |       |        | 83,69 |       | 11,24 |       | 7,31 |       | 7,31 |

En todos los casos, 1989 presenta resultados de  $E_{total}$  más elevados que 2004 y 2019 asociados al sistema de labranza convencional. Para las tres fechas consideradas los mayores valores se evidencian en las UA de Serranías (UA7 y UA8) vinculados a una geomorfología escarpada y materiales parentales ligados a roca o sedimentos loésicos (delgados) sobre roca. Luego, las UA que presentan mayores pérdidas de suelos por erosión hídrica en todas las fechas son UA4 y UA5. Estos resultados se relacionan con los valores más elevados de K (suelos en que predomina el limo y arenas muy finas), es decir, suelos más susceptibles a la erosión hídrica debido a falta de cohesión y de una buena capacidad de infiltración. Por el contrario, la UA6 y UA1 exhiben los menores valores de pérdida (**Gráfico 31**).

**Gráfico 31.** Pérdida de suelo por erosión hídrica en las UA del partido de Tandil.



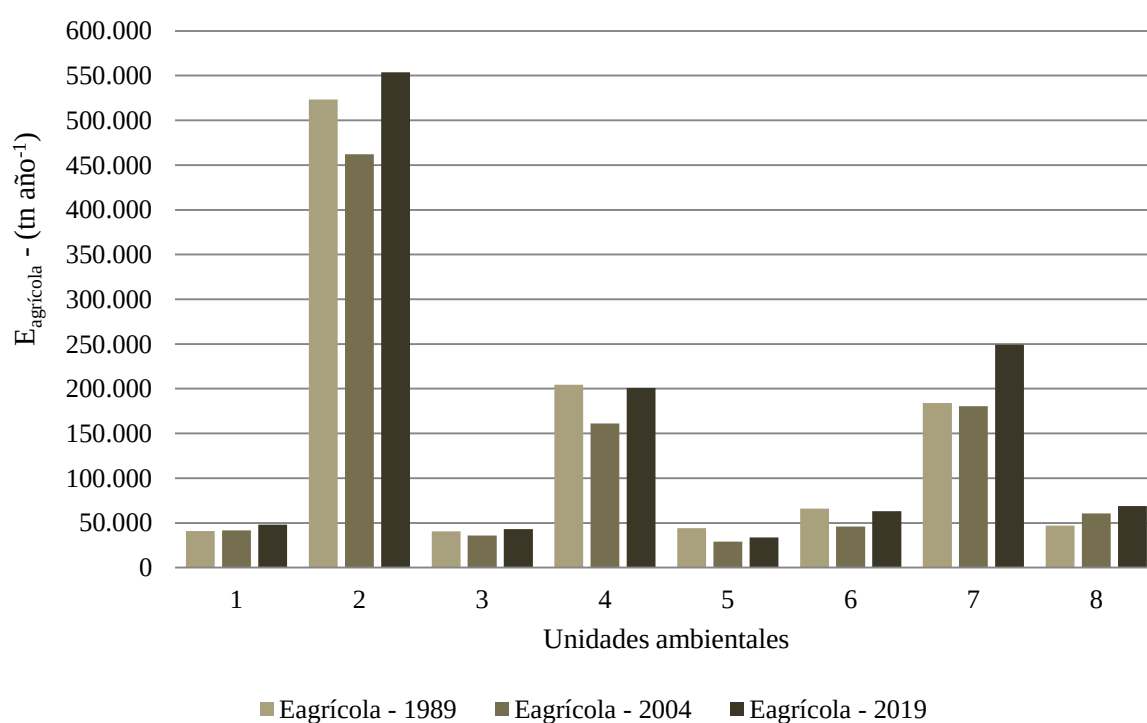
#### **Pérdida de suelos por erosión hídrica asociada a cambios en los usos del suelo: $E_{agrícola}$**

El valor de pérdida de suelo ( $E_{total}$ ) junto con los datos de la superficie agrícola de cada UA por año analizado posibilitó estimar la pérdida total de suelos por erosión hídrica ( $E_{agrícola}$ ) (**Tabla 49; Gráficos 32**).

**Tabla 49.** Pérdida de suelos por erosión hídrica evidenciada en la superficie agrícola de las UA del partido de Tandil ( $E_{agrícola}$ ) (1989 – 2004 – 2019).

| UA            | 1989               |                                               | 2004               |                                               | 2019               |                                               |
|---------------|--------------------|-----------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------|
|               | Sup. agrícola (ha) | $E_{\text{agrícola}}$ (tn año <sup>-1</sup> ) | Sup. agrícola (ha) | $E_{\text{agrícola}}$ (tn año <sup>-1</sup> ) | Sup. agrícola (ha) | $E_{\text{agrícola}}$ (tn año <sup>-1</sup> ) |
| 1             | 10.295,74          | 40.977,04                                     | 16.162,75          | 41.861,52                                     | 18.625,21          | 48.239,29                                     |
| 2             | 95.439,00          | 523.000,72                                    | 129.616,92         | 462.732,40                                    | 155.333,90         | 554.542,02                                    |
| 3             | 8.073,98           | 40.612,12                                     | 10.979,09          | 35.901,62                                     | 13.167,39          | 43.057,36                                     |
| 4             | 32.613,36          | 204.159,63                                    | 39.613,89          | 161.228,53                                    | 49.332,60          | 200.783,68                                    |
| 5             | 7.318,91           | 44.133,02                                     | 7.412,19           | 29.055,78                                     | 8.647,05           | 33.896,43                                     |
| 6             | 43.617,11          | 65.861,83                                     | 46.503,44          | 45.573,37                                     | 64.021,94          | 62.741,50                                     |
| 7             | 9.104,47           | 183.910,29                                    | 13.732,57          | 180.445,97                                    | 18.958,66          | 249.116,79                                    |
| 8             | 4.184,99           | 47.039,29                                     | 8.301,04           | 60.680,60                                     | 9.416,27           | 68.832,93                                     |
| Total Partido | 210.647,55         | 1.149.693,95                                  | 272.321,89         | 1.017.479,79                                  | 337.503,01         | 1.261.210                                     |

**Gráfico 32.** Pérdida de suelo por superficie agrícola ( $E_{\text{agrícola}}$ ) por UA del partido de Tandil (1989, 2004 y 2019).



Al examinar los datos presentados en la **Tabla 49** y el **Gráficos 32** fue posible corroborar que:

- ~ La mayor pérdida de suelo a escala de Partido se dio en 2019 (1.247.137,87 tn año<sup>-1</sup>) en concordancia con la fecha de mayor porcentaje de superficie agrícola en el partido.

- ~ La pérdida de suelo ocasionada por la erosión hídrica total no es lineal a lo largo del período de estudio. Se observa que 2004 presenta, tanto a escala de partido como de UA, menores valores de pérdida de suelo con respecto 1989. A pesar del aumento de la superficie agrícola dichos valores responderían al cambio de práctica productiva predominante determinada a través del factor C. Se produce entre 1989 a 2004 una transición de la siembra convencional a la siembra directa.
- ~ En las tres fechas de análisis son las UA2 (SEP de la Llanura Periserrana), 4 (SEP de la Planicie Distal) y 7 (Serranía) las que presentan los mayores valores de pérdida de suelo. A su vez, la UA2 posee el mayor número de hectáreas dedicado a la agricultura. No acontece lo mismo con las UA4 y UA7 en las cuales si bien predomina dicha actividad (no son las que tienen más superficie agrícola).

Si consideramos las variaciones de pérdida de suelo entre los dos períodos de análisis (**Figuras 26 y 27**) se desprende que las únicas dos UA que presentaron pérdidas de suelo entre 1989 y 2004 fueron las UA 8 y 1. Ambas UA poseen, en este período, intensidades de agriculturización muy alta y alta, respectivamente. La UA8 posee el valor más elevado correspondiente al factor LS dado por la pendiente.

El resto de las UA que pertenecen a las categorías de variación media y baja presentan, por el contrario, variaciones positivas, es decir ganancias de suelo. La mayoría de variaciones positivas en este período se asocia con el cambio en el valor del factor C que disminuye al cambiar el sistema de siembra imperante (convencional para 1989 y directa para 2004 y 2019).

En el segundo período de análisis la totalidad del Partido exhibe pérdidas de suelo (**Figura 27**). Incluso, en las UA de las LLP (1, 2 y 3) y de las S (7 y 8) el porcentaje de variación es tal que los valores finales de pérdida de 2019 son similares a las pérdidas de 1989. El incremento en el valor del indicador responde, en este caso, al aumento de superficie dedicado a la actividad agrícola dado que el resto de los factores se mantienen constantes con respecto a 2004. Entre 2004 y 2019 las pérdidas de suelo por erosión son mayores en la UA5 y 4 (PD) y UA7 (S) las cuales también poseen los mayores valores de avance de la superficie agrícola en este período.

**Figura 26.** Variación de valores de erosión hídrica evidenciada en la superficie agrícola de las UA del partido de Tandil ( $E_{\text{agrícola}}$ ) (período 1989 - 2004).

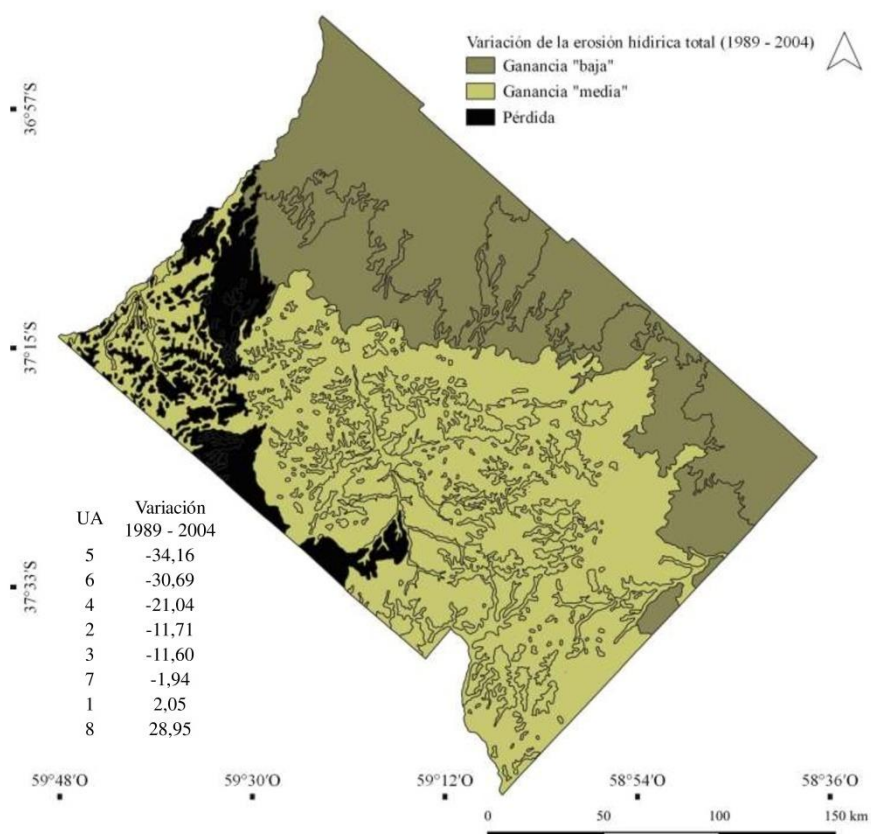
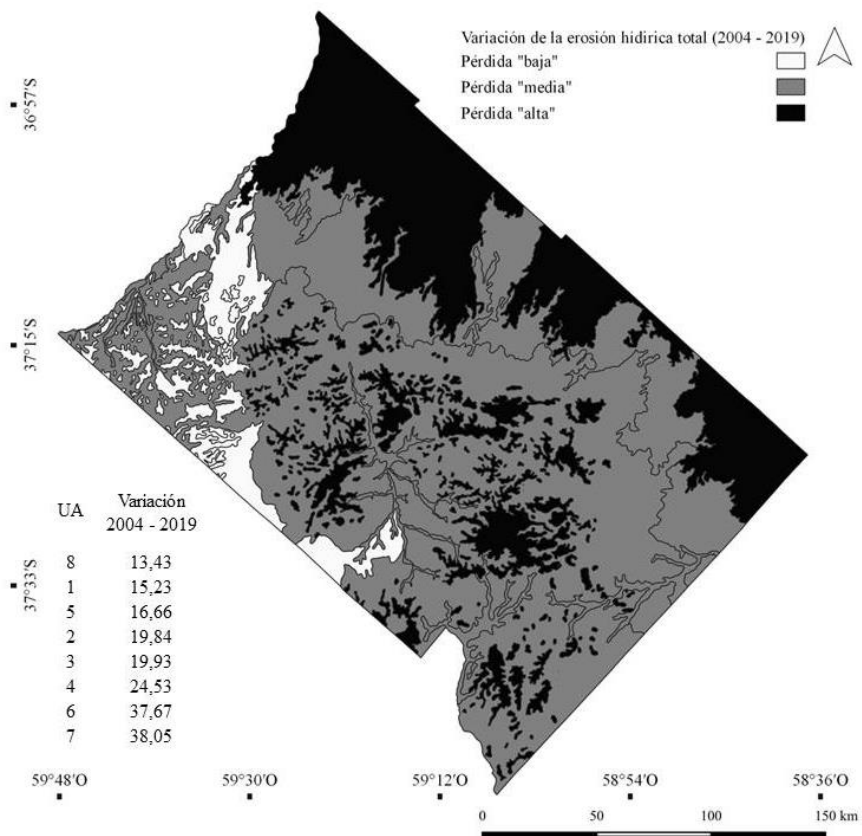


**Figura 27.** Variación del valor de erosión hídrica evidenciada en la superficie agrícola de las UA del partido de Tandil (Eagrícola) (período 2004 - 2019).



## DISCUSIÓN

El suelo ejerce un rol relevante debido a sus múltiples funciones ecológicas y productivas, sin embargo, diferentes procesos degradativos como la erosión hídrica disminuyen sus capacidades (Bouchoms et al., 2019). En la República Argentina la tasa media de erosión actual de los suelos es de aproximadamente 6 t/ha/año, que para todo el territorio nacional representan alrededor de 1500 millones de metros cúbicos de suelo o una capa de 0,5 milímetros de espesor que se pierden anualmente (Gaitán et al., 2017). Dentro de Argentina, la Región Pampeana resultó una de las áreas mayormente impactadas (Cerdá et al., 2014). En ella áreas asociadas a la ciudad de Mar del Plata (Zulaica et al., 2020); el partido de Benito Juárez (Sequeira et al., 2019); partido de Tres Arroyos (Sequeira y Vazquez, 2022) presentan evidencias de degradación de tierras a partir de procesos erosivos. Por este motivo, la situación del partido de Tandil y sus distintas unidades paisajísticas resuena entonces con lo evidenciado a escala regional.

A partir de información disponible de la clasificación de imágenes satelitales, topografía, suelos y uso del suelo y sistemas de información geográfica se ha desarrollado una metodología que permite estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica a escala departamental capaz de replicarse en otras áreas de estudio. Si bien no es una estimación directa esta aproximación resulta fundamental para iniciar un plan de gestión ambiental del espacio rural que considere las diferencias paisajísticas presentes en el territorio.

La pérdida de suelo asociada a la erosión hídrica no se expresa de manera uniforme en los paisajes del partido de Tandil. Se han establecido a partir de los resultados obtenidos tres motivos principales que influyen directamente en el aumento de la erosión hídrica: las características ecológicas inherentes a cada paisaje; las técnicas de manejo y tecnologías implementadas en los agroecosistemas; y la superficie dedicada a la actividad agrícola.

Por ejemplo, al realizar un análisis comparativo de los valores de erosión potencial ( $EP_{total}$ ) y pérdida de suelo ( $E_{total}$ ) entre las distintas UA los valores difieren notoriamente ya que dependen no sólo de las técnica de manejo dominantes (común a todas las unidades de paisaje correspondientes a una misma fecha de estudio) sino también de las características topográficas y geomorfológicas. Dichas características varían gradualmente en los paisajes de las UA del partido motivo por el cual son las Unidades asociadas a los paisajes serranos (UA7 y UA8) las que exhiben una situación crítica vinculada a una geomorfología escarpada y materiales parentales ligados a roca. Las pérdidas de suelo por erosión hídrica crecen al

aumentar la inclinación y la longitud de la pendiente como consecuencia del incremento de la velocidad y volumen de la escorrentía superficial, percibiéndose este suceso mucho más en las partes inferiores de las laderas (Cerdá et al, 2020). En esta línea, Gaitán et al (2017) sostienen la importancia de la sistematización de tierras no solo para la conservación de suelo sino también de la biodiversidad de los ecosistemas dado que hábitats lineales como bordes y terrazas constituyen ambientes favorables para el desarrollo de poblaciones de artrópodos, anfibios y pequeños mamíferos, además de aumentar la diversidad de especies vegetales especialmente en las terrazas no sembrables.

Por otro lado, al considerar los resultados de  $E_{total}$  para cada UA se observa que el cambio en las técnicas productivas da lugar una disminución de la pérdida de suelos por erosión. De hecho, la pérdida es menor en todos los casos para los años 2004 y 2019 (fechas en las que la técnica dominante es la siembra directa) con respecto a 1989 (en la cual predominaba la labranza convencional). En este sentido, se ha demostrado que la labranza convencional tiende paulatinamente a aumentar el desplazamiento y la densidad de los suelos, induciendo a la compactación, desestructuración y aumento de la erodabilidad, especialmente en prácticas agrícolas de nivelación, laboreo y tráfico de maquinaria pesada en condiciones de humedad alta. El principal impacto de esta labranza en el suelo se da en la porosidad. Afecta severamente los macroporos encargados de facilitar las interconexiones para un adecuado movimiento del agua infiltrada a través del perfil, intercambio gaseoso y de propiciar un espacio adecuado para el crecimiento de las raíces (Gómez-Calderón et al., 2018).

Dadas las evidencias de los impactos de la labranza convencional en particular en la Región Pampeana, la siembra directa no tardó en expandirse. El área manejada bajo siembra directa en el país creció exponencialmente hasta el año 2000 (López et al., 2015). A partir de este año el área continuó incrementándose pero paulatinamente (Villarino, 2016). El partido de Tandil es pionero en la aplicación de dicha técnica (Vazquez, 2004). Su masiva adopción causó cambios en las propiedades físicas y químicas de los suelos alterando especialmente la configuración del sistema poroso y las propiedades hidráulicas derivadas en comparación con sistemas de labranza convencional (Moret-Fernández et al., 2017).

Al considerar la superficie agrícola ( $E_{agrícola}$ ), el ranking de las UA más comprometidas difiere del ranking de  $E_{total}$ . Al añadir a la ecuación de pérdida de suelo el factor de superficie destinado a la agricultura se observa que el panorama más crítico se da en la UA2. En este

caso, el motivo no se debe a cuestiones topográficas sino al proceso de apropiación de los recursos naturales en dicho paisaje.

Si se dividen los años de estudio en dos períodos se reconoce que en el período 1989-2004 el valor de  $E_{agrícola}$  presenta un decrecimiento; mientras que, en contraposición, en el período 2004-2019 el valor obtenido aumentó. Esta dinámica es común a todas las UA. La merma en la pérdida de suelo por erosión hídrica del primer período se debe al impacto positivo motorizado por la implementación de la siembra directa, a pesar de un aumento en la superficie productiva. No obstante, las modificaciones productivas no resultan suficientes para impedir el aumento de la pérdida de suelo en el segundo período. Luego de 2004, el proceso de avance del área destinada a la agricultura se produce con mayor intensidad. De hecho se observa que la mayor parte del territorio (40,77%) se identifica con un proceso de agriculturización de intensidad alta (Somoza y Vazquez, 2022). El aumento más evidente de la pérdida de suelo se observa en la UA2 que posee la mayor cantidad de hectáreas destinadas a la actividad agrícola. En concordancia a los impactos evidenciados se observa durante este mismo período de análisis que los planteos agrícolas y ganaderos se vuelven más intensivos. Desde el punto de vista económico y particularmente desde el año 2004 la tendencia en el cambio de los precios internacionales de las materias primas genera una presión de demanda de tierras para cultivos que motoriza un proceso de agricultura continua y “desganaderización” de la región (Pengue y Rodríguez, 2018; Sarandón, 2020).

Vale destacar a lo largo de todo el período de estudio el rol de determinados cultivos como motores del PA: se produjo un cambio significativo en la proporción de los distintos cultivos con una tendencia creciente hacia la especialización agrícola. Es el caso del cultivo de soja (en la primer campaña ocupaba menos de 4% de la superficie sembrada y escala a más del 38% en la última campaña analizada) y de cebada asociado a la implementación de doble cultivo (oleaginosa/cereal) (Somoza et al., 2020).

Es por ello que la siembra directa no ofrece las soluciones suficientes para evitar los procesos de degradación del suelo en una agricultura dominada principalmente por el cultivo de soja en la cual los aportes de los residuos de cosecha son bajos en cantidad y relación carbono – nitrógeno. Su participación en las rotaciones agrícolas afecta la conservación de los contenidos de materia orgánica y el mantenimiento de adecuados niveles de cobertura (Capurro y Montico, 2020).



---

## CAPÍTULO VII - ÍNDICE DE PROVISIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE REGULACIÓN

---

## **OBJETIVO ESPECÍFICO**

VIII. Evaluar el estado general de provisión de SE de regulación en las Unidades Ambientales del partido de Tandil considerando su variación entre 1989-2004 y 2004-2019 a partir de un índice de sustentabilidad.

## METODOLOGÍA

La evaluación del estado general de provisión de SE de regulación en las Unidades Ambientales se estableció a partir de la variación entre 1989-2004 y 2004-2019 de los cuatro indicadores de sustentabilidad empleados:

- ~ Conservación de la Biodiversidad (CB)
- ~ Conservación de la Calidad de Suelos y Agua (CCSA)
- ~ Stock de Carbono Orgánico del suelo (SOC)
- ~ Erosión Hídrica (E)

Estos indicadores se fusionaron en el Índice de “Provisión de Servicios Ecosistémicos de Regulación” adaptado de trabajos antecedentes (Sarandón, 2002; Valarezo Beltrón, 2020). Para ello se llevaron a cabo los siguientes pasos metodológicos:

### Estandarización y ponderación de los indicadores

Con el objetivo de ajustar los resultados correspondientes a los cuatro indicadores se consideraron sus valores de variación (incremento o decrecimiento) entre los dos períodos analizados, 1989-2004 y 2004-2019. Para realizar una fusión válida de los mismos dichos valores fueron estandarizados, a una escala sencilla de 0-4, donde el valor cuatro representa una menor provisión de servicios y cero un mejor estado de provisión de SER (**Tabla 50**).

**Tabla 50.** Categorías de provisión de SER.

| Escala de estandarización      | 0         | 1         | 2        | 3          | 4       |
|--------------------------------|-----------|-----------|----------|------------|---------|
| Estado de provisión de SER (%) | 100 a 80  | 60 a 80   | 40 a 60  | 20 a 40    | 0 a 20  |
| Categorías                     | Muy buena | Aceptable | Moderada | Deficiente | Crítica |

Para categorizar los valores de variación de los indicadores en ambos períodos los mismos fueron ingresados en la tabla de atributos de un SIG (QGIS). Posteriormente cada uno se graduó en cinco clases a partir del modo “Rupturas Naturales (Jenks)”.

Los cuatro indicadores aplicados consideran diversos SE, no obstante, el SOC y el indicador de erosión refieren a la provisión de servicios asociados estrechamente al recurso suelo. Por este motivo, para obtener un índice equitativo, se decidió ponderar por dos a los indicadores CB y CCSA.

Una vez realizada la ponderación se aplicó la fórmula del Índice Global, definida a continuación, para cada UA para los períodos 1989-2004 y 2004-2019:

$$IPSER_{Uaf} = \frac{(CB * 2) + (CCSA * 2) + SOC + E}{4}$$

Dónde:

- *IPSER*: Índice de Provisión de Servicios Ecosistémicos de Regulación
- UA: Unidad Ambiental
- *f*: período de estudio
- CB: Indicador Conservación de la Biodiversidad
- CCSA: Indicador Conservación de la Calidad de Suelos y Agua
- SOC: Indicador Stock de Carbono Orgánico del suelo
- E: Indicador Erosión Hídrica

Con el objetivo de representar territorialmente los datos obtenidos para el IPSER también se cargaron en tablas de atributos de cada UA en el mencionado software de información geográfica. De esta forma los resultados logrados permitieron definir distintas categorías de provisión de SER.

Los resultados alcanzados se volcaron en un software de servicio de análisis de datos (Power BI) en el cual se construyó de una matriz de “estado de provisión de SER” que permite visual y representativamente reconocer el desempeño por UA de los indicadores considerandos y del IPSER en los dos períodos de estudio.

La matriz se encuentra diseñada para evaluar el progreso o, o por el contrario, el deterioro del estado de provisión de SER debido a los impactos generados por las transformaciones en los usos de suelos. La misma fue delineada a partir de la metodología presentada por Zhang et al. (2020) y Zhang et al. (2021) quienes desarrollan una Matriz de Agricultura Sostenible. Esta terminología apareció por primera vez como un concepto ilustrativo para la investigación y política agrícola en 1990 (Swaminathan, 1990) que tenía como objetivo destacar la naturaleza multidimensional de la agricultura sostenible e instar al pensamiento y las acciones coordinadas entre diferentes dimensiones.

Por un lado, en el centro de la matriz se visualiza el estado general de provisión de SER dado por la categoría del IPSER (PSER). Este dato se informa a su vez en la figura correspondiente a cada Unidad Ambiental de cada período. Por otro lado, también se observa el estado de provisión parcial de SER (PSER<sub>p</sub>) vinculado a los cuatro indicadores: PSER<sub>p</sub> – Conservación de la Biodiversidad (PSER<sub>p</sub> - CB); PSER<sub>p</sub> – Conservación de la Calidad de Suelos y Agua (PSER<sub>p</sub> - CCSA); PSER<sub>p</sub> – Conservación del Stock de Carbono Orgánico del Suelo (PSER<sub>p</sub> - SOC); PSER<sub>p</sub> – Control de la Erosión (PSER<sub>p</sub> - E).

La presentación gráfica de la información en diagramas transparentes es un elemento esencial y una condición necesaria para transmitir a tomadores de decisiones los parámetros utilizados en el proceso y el diagnóstico final obtenido a partir de los resultados que en este caso dan cuenta del estado de provisión de SER (Maes et al., 2017). En este sentido, este trabajo no solo es importante para mostrar el avance del proceso de agriculturización y sus impactos asociados sino también para proporcionar información para el desarrollo e implementación de políticas relacionadas.

## RESULTADOS

La metodología planteada permitió obtener como resultado la categorización de cada UA del partido de Tandil de acuerdo al IPSER, tanto para el período 1989-2004 como 2004-2019. Las siguientes **Figuras, 28 a 35**, expresan por un lado, la situación general de la provisión de SE de regulación en cada UA y en cada período. Por otro lado, exhiben el estado de provisión parcial, es decir, el diagnóstico de la provisión de los cuatro SE analizados en esta investigación (CB, CCCSA, SOC y E) individualmente en cada período.

A diferencia de los capítulos anteriores, en este caso, el estado de provisión de los SE aparece estandarizado por lo cual es posible analizar en conjunto y comparar el escenario correspondiente a dichos servicios. De esta manera se observa en las figuras la graduación adjudicada a cada servicio con respecto a su provisión. A su vez, se presenta en las figuras, mediante las flechas, la tendencia en cada período del suministro de los SE analizados en los ecosistemas de Tandil presentadas en las **Tablas 51 a 58**. Las flechas demuestran si en el período la provisión aumenta o, por el contrario, disminuye o sufre un deterioro.

Para describir los resultados obtenidos se agrupan las UA de acuerdo a su SEP de manera tal analizar la provisión de SE en el contexto agroecológico imperante en cada compartimento.

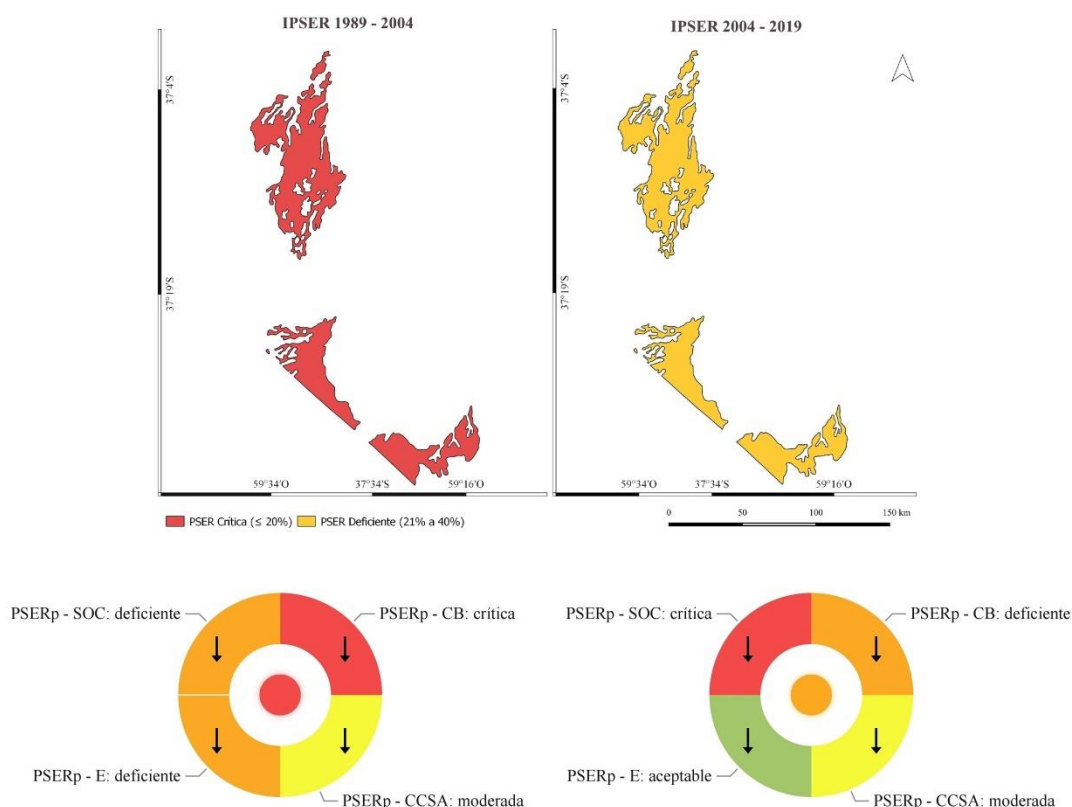
### **IPSER en UA del Sistema ecológico paisajístico de las Llanuras Periserranas**

**UA1 (Tabla 51 - Figura 28):** la provisión general de SER evoluciona de un estado “crítico” a un estado “deficiente”. La condición general mejora aunque el suministro de servicios continúa estando comprometido. Dicha modificación es motorizada por la mejora en la condición de los SE de CB y E. Para el caso de la CB la explicación reside en que el impacto en la biodiversidad es radical en el primer período mientras que en el segundo disminuye debido a que los ecosistemas ya se encontraban transformados y adaptados a las necesidades productivas. El indicador referente a la pérdida de suelo por erosión se comporta de forma similar. Si bien existe pérdida del recurso en ambos períodos en el primer período dicha unidad junto con la UA8 son las únicas que exhiben un deterioro en el servicio mientras el resto de las unidades presenta mejoras en su situación respecto al control de la erosión. En cambio, en el segundo período se observa una pérdida “baja” en la provisión de este servicio dado que la transformación en el uso del suelo e intensificación no fue tan radical como entre 1989 - 2004. El IPSEER coincide con un proceso de agriculturización de intensidad descendente que caracteriza dicha unidad.

**Tabla 51.** Variación y categorización de los indicadores e IPSEER en UA1.

|                          | 1989-2004 |                    |                | 2004-2019 |                           |                |
|--------------------------|-----------|--------------------|----------------|-----------|---------------------------|----------------|
|                          | Variación | Categoría          | % de provisión | Variación | Categoría                 | % de provisión |
| PSER <sub>p</sub> - CB   | -27,08    | 4: Crítica         | ≤ 20%          | -15,63    | 3: Deficiente             | 21% - 40%      |
| PSER <sub>p</sub> - CCSA | -0,17     | 2: Moderada        | 41% - 60%      | -0,46     | 2: Moderada               | 41% - 60%      |
| PSER <sub>p</sub> - SOC  | -7,98     | 3: Deficiente      | 21% - 40%      | -10,37    | 4: Crítica                | ≤ 20%          |
| PSER <sub>p</sub> - E    | 2,06      | 3: Deficiente      | 21% - 40%      | 15,24     | 1: Aceptable              | 61% - 80%      |
| IPSER                    |           | 4: Crítica (≤ 20%) |                |           | 3: Deficiente (21% - 40%) |                |

**Figura 28.** Estado de provisión general y parcial de SER en 1989-2004 y 2004-2019 en UA1.

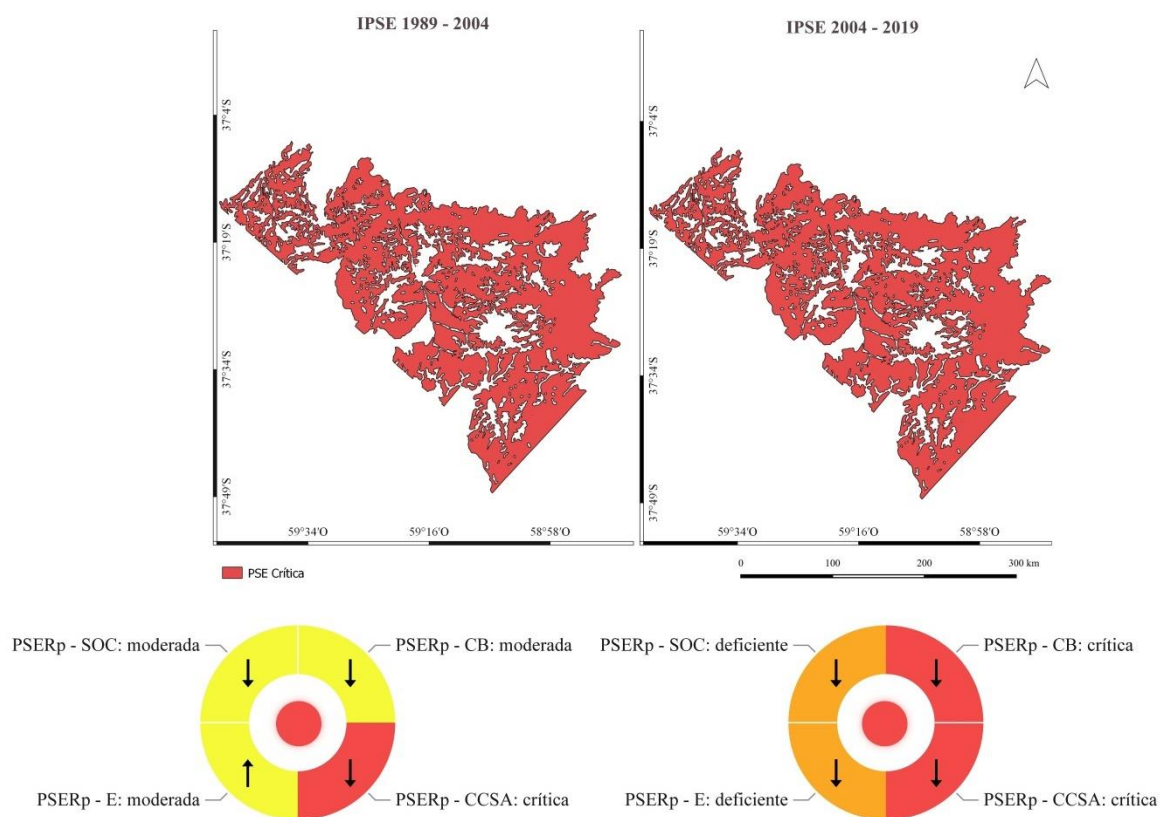


**UA2 (Tabla 52 - Figura 29):** el IPSER indica una provisión crítica de servicios que se mantiene constante en los treinta años analizados asociado a un PA de intensidad descendente en la mayor parte de su superficie (en un 71,5% exhibe un proceso descendente y el 28,5% presenta una agriculturización de intensidad continua). El panorama en esta unidad resulta preocupante ya que la situación general de la provisión es crítica o deficiente. Esto se vincula directamente a una modificación total de los ecosistemas de la unidad que presenta el escenario ecológico perfecto para la expansión (primer período) e intensificación productiva (segundo período).

**Tabla 52.** Variación y categorización de los indicadores e IPSER en UA2.

|                          | 1989-2004 |                    |                | 2004-2019 |                    |                |
|--------------------------|-----------|--------------------|----------------|-----------|--------------------|----------------|
|                          | Variación | Categoría          | % de provisión | Variación | Categoría          | % de provisión |
| PSER <sub>p</sub> - CB   | -18,73    | 2: Moderada        | 41% - 60%      | -19,05    | 4: Crítica         | ≤ 20%          |
| PSER <sub>p</sub> - CCSA | -1,35     | 4: Crítica         | ≤ 20%          | -3,97     | 4: Crítica         | ≤ 20%          |
| PSER <sub>p</sub> - SOC  | -5,45     | 2: Moderada        | 41% - 60%      | -7,22     | 3: Deficiente      | 21% - 40%      |
| PSER <sub>p</sub> - E    | -11,71    | 2: Moderada        | 41% - 60%      | 19,84     | 3: Deficiente      | 21% - 40%      |
| IPSER                    |           | 4: Crítica (≤ 20%) |                |           | 4: Crítica (≤ 20%) |                |

**Figura 29.** Estado de provisión general y parcial de SER en 1989-2004 y 2004-2019 en UA2.



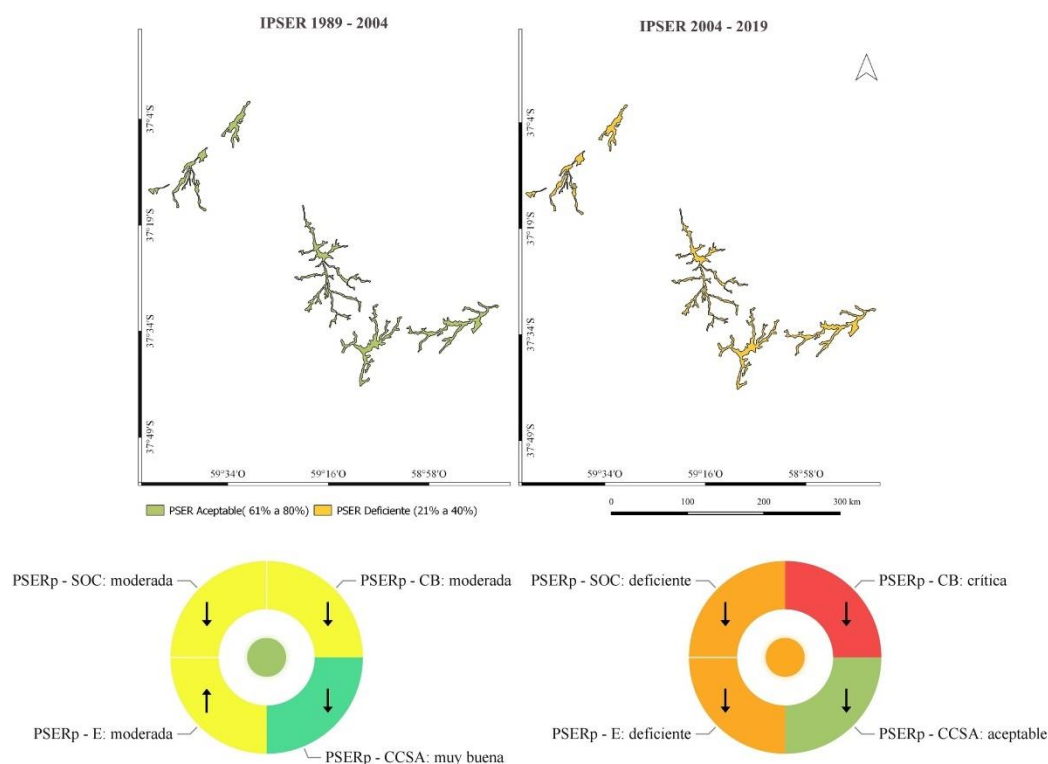
**UA3 (Tabla 53 - Figura 30):** la provisión de servicios aceptable que poseía en el primer período la unidad pasa a ser deficiente en el segundo período siendo claro el deterioro en la provisión de servicios. Dicha dinámica deriva de un PA enlazado e influenciado por un PA característico de la UA2, matriz productiva en la cual esta Unidad se inserta territorialmente. En este caso, la situación no llega a ser crítica debido a ciertos obstáculos productivos relacionados a la existencia de áreas deprimidas dentro del paisaje suavemente ondulado.

**Tabla 53.** Variación y categorización de los indicadores e IPSER en UA3.



|                          | 1989-2004                |              |                | 2004-2019                 |               |                |
|--------------------------|--------------------------|--------------|----------------|---------------------------|---------------|----------------|
|                          | Variación                | Categoría    | % de provisión | Variación                 | Categoría     | % de provisión |
| PSER <sub>p</sub> - CB   | -19,29                   | 2: Moderada  | 41% - 60%      | -18,26                    | 4: Crítica    | ≤ 20%          |
| PSER <sub>p</sub> - CCSA | -0,11                    | 0: Muy buena | 81% - 100%     | -0,33                     | 1: Aceptable  | 61% - 80%      |
| PSER <sub>p</sub> - SOC  | -5,95                    | 2: Moderada  | 41% - 60%      | -6,78                     | 3: Deficiente | 21% - 40%      |
| PSER <sub>p</sub> - E    | -11,60                   | 2: Moderada  | 41% - 60%      | 19,93                     | 3: Deficiente | 21% - 40%      |
| IPSER                    | 1: Aceptable (61% - 80%) |              |                | 3: Deficiente (21% - 40%) |               |                |

**Figura 30.** Estado de provisión general y parcial de SER en 1989-2004 y 2004-2019 en UA3.



### IPSER en UA del Sistema ecológico paisajístico de la Planicie Distal

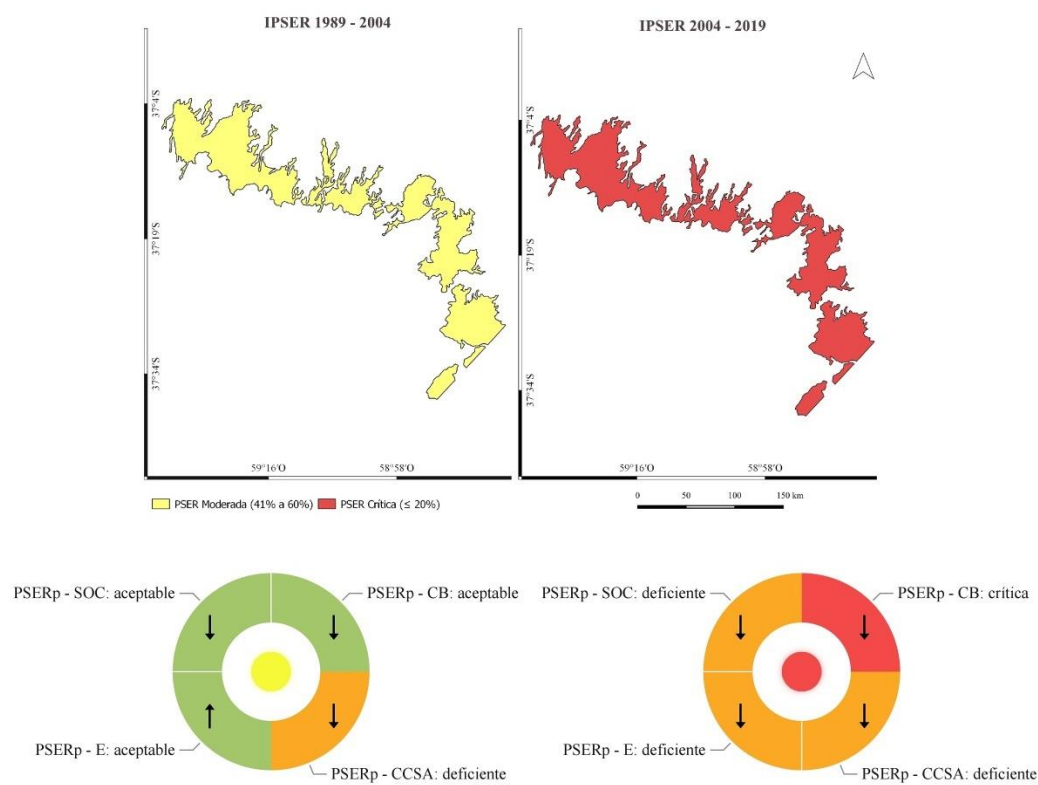
**UA4 (Tabla 54 - Figura 31):** las diferencias entre ambos períodos es notoria en este caso. Por un lado, se observa en el primer período una provisión moderada generada por un indicador CB, SOC y E cuyo suministro es aceptable y un CCSA deficiente. Por otro lado, en el segundo período las condiciones referidas a la provisión de SE se transforma radicalmente. El paisaje pasa a estar caracterizado por tres servicios, CCSA, SOC y E en situación deficiente de provisión y un CB en situación crítica dando lugar a un IPSER crítico. Al considerar la dinámica de la agriculturización se vuelve evidente que entre 1989-2004 los indicadores responden a un PA medio y que entre 2004-2019 responden a un PA de

intensidad alta. Entonces, el deterioro en la provisión general revela procesos productivos de intensidad ascendente en este paisaje.

**Tabla 54.** Variación y categorización de los indicadores e IPSER en UA4.

|                          | 1989-2004               |               |                | 2004-2019          |               |                |
|--------------------------|-------------------------|---------------|----------------|--------------------|---------------|----------------|
|                          | Variación               | Categoría     | % de provisión | Variación          | Categoría     | % de provisión |
| PSER <sub>p</sub> - CB   | -12,20                  | 1: Aceptable  | 61% - 80%      | -20,07             | 4: Crítica    | ≤ 20%          |
| PSER <sub>p</sub> - CCSA | -0,40                   | 3: Deficiente | 21% - 40%      | -1,27              | 3: Deficiente | 21% - 40%      |
| PSER <sub>p</sub> - SOC  | -1,07                   | 1: Aceptable  | 61% - 80%      | -7,83              | 3: Deficiente | 21% - 40%      |
| PSER <sub>p</sub> - E    | -21,04                  | 1: Aceptable  | 61% - 80%      | 24,53              | 3: Deficiente | 21% - 40%      |
| IPSER                    | 2: Moderada (41% - 60%) |               |                | 4: Crítica (≤ 20%) |               |                |

**Figura 31.** Estado de provisión general y parcial de SER en 1989-2004 y 2004-2019 en UA4.



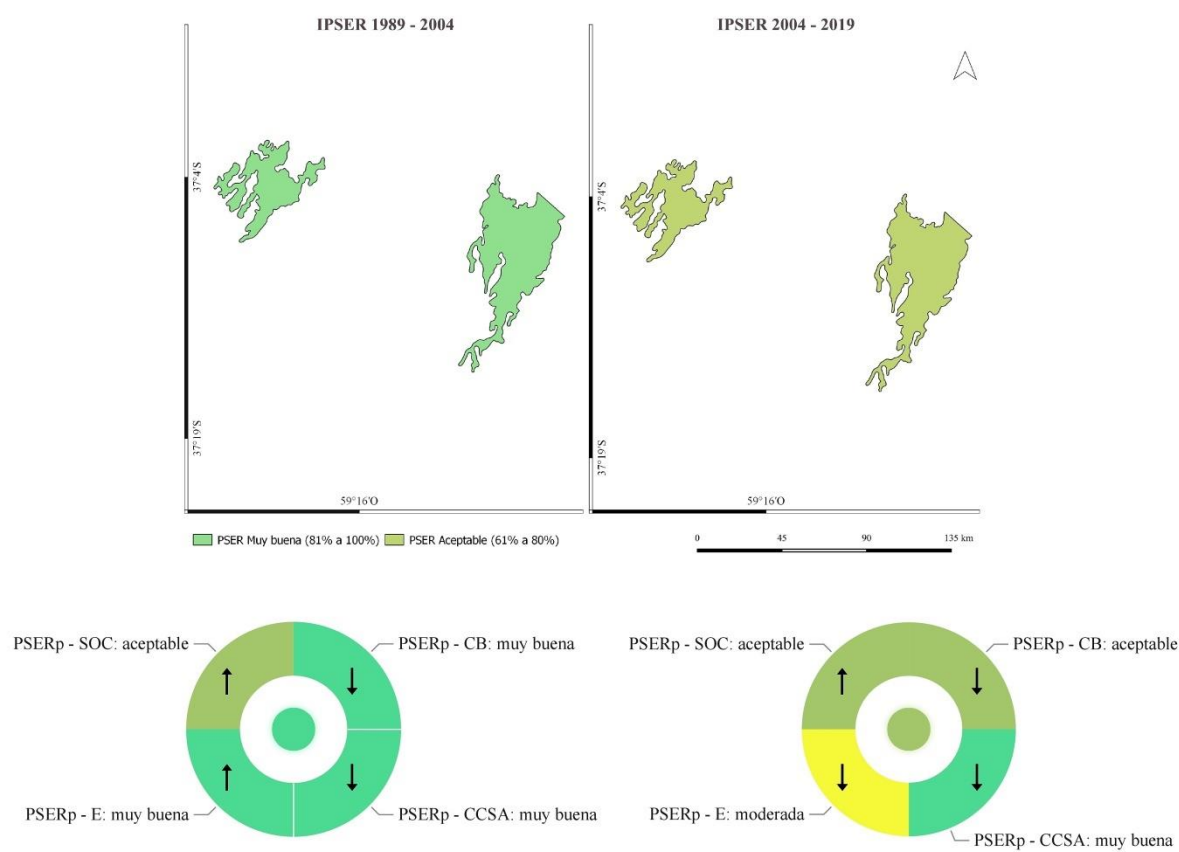
**UA5 (Tabla 55 - Figura 32):** el IPSER da cuenta de una provisión muy buena en el primer período de estudio que pasa a ser aceptable en el segundo período. Si bien el valor del indicador exhibe un deterioro este es leve y la condición general sigue siendo admisible, siendo esta Unidad la que presenta mejores condiciones, generales y particulares, en la provisión de SER a lo largo de todo el período de análisis. En este caso el comportamiento de los indicadores es resultado de un PA de intensidad ascendente pero que a diferencia de la UA4 era de intensidad baja en el primer período y de intensidad media en el segundo

generando valores menos críticos de provisión. Al analizar individualmente los indicadores destaca la modificación evidenciada en el servicio asociado al indicador de E que demuestra una provisión muy buena en 1989-2004 y moderada en 2004-2019.

**Tabla 55.** Variación y categorización de los indicadores e IPSER en UA5.

|                          | 1989-2004                 |              |                | 2004-2019                |              |                |
|--------------------------|---------------------------|--------------|----------------|--------------------------|--------------|----------------|
|                          | Variación                 | Categoría    | % de provisión | Variación                | Categoría    | % de provisión |
| PSER <sub>p</sub> - CB   | -0,81                     | 0: Muy buena | 81% - 100%     | -11,81                   | 1: Aceptable | 61% - 80%      |
| PSER <sub>p</sub> - CCSA | -0,07                     | 0: Muy buena | 81% - 100%     | -0,21                    | 0: Muy buena | 81% - 100%     |
| PSER <sub>p</sub> - SOC  | 0,84                      | 1: Aceptable | 61% - 80%      | 0,13                     | 1: Aceptable | 61% - 80%      |
| PSER <sub>p</sub> - E    | -34,16                    | 0: Muy buena | 81% - 100%     | 16,66                    | 2: Moderada  | 41% - 60%      |
| IPSER                    | 0: Muy buena (81% - 100%) |              |                | 1: Aceptable (61% - 80%) |              |                |

**Figura 32.** Estado de provisión general y parcial de SER en 1989-2004 y 2004-2019 en UA5.



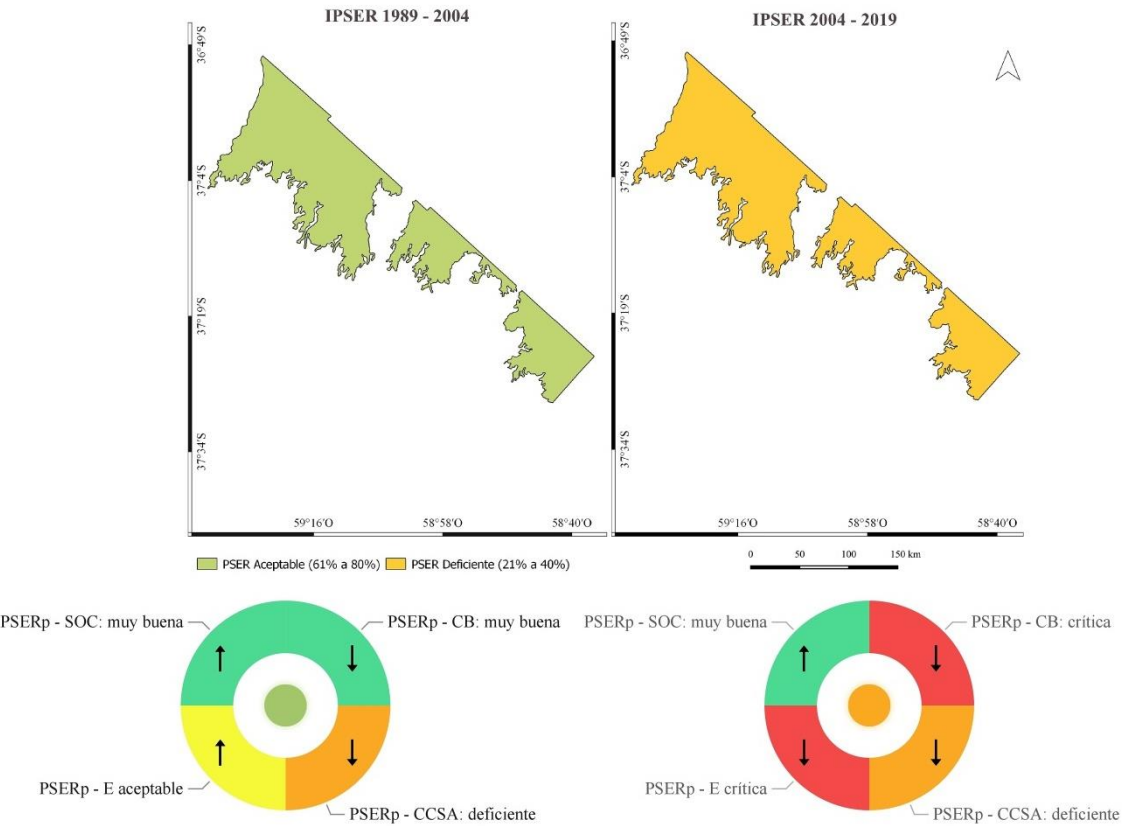
**UA6 (Tabla 56 - Figura 33):** el proceso que sufre la provisión de SER en esta Unidad resulta similar al evidenciado en la UA4 caracterizado por un deterioro general en su condición. El contexto es el de un PA de intensidad ascendente que caracteriza a las PD y en las cuales la actividad agrícola y ganadera compartían territorio en el primer período mientras que en el

segundo período la agricultura desplaza a la ganadería y con ello las áreas de pastizales y pasturas. En 1989-2004 un PA de intensidad baja da lugar a una provisión aceptable que se transforma en una provisión deficiente devenido de un PA de intensidad alta/muy alta en 2004-2019. Considerando el comportamiento particular de los indicadores vale remarcar en este caso la dinámica del CB y E que exhiben en principio una provisión de SER muy buena y aceptable, respectivamente, que se modifica a crítica en el segundo período en ambos casos.

**Tabla 56.** Variación y categorización de los indicadores e IPSER en UA6.

|                          | 1989-2004 |                          |                | 2004-2019 |                           |                |
|--------------------------|-----------|--------------------------|----------------|-----------|---------------------------|----------------|
|                          | Variación | Categoría                | % de provisión | Variación | Categoría                 | % de provisión |
| PSER <sub>p</sub> - CB   | -2,51     | 0: Muy buena             | 81% - 100%     | -19,00    | 4: Crítica                | ≤ 20%          |
| PSER <sub>p</sub> - CCSA | -0,44     | 3: Deficiente            | 21% - 40%      | -1,71     | 3: Deficiente             | 21% - 40%      |
| PSER <sub>p</sub> - SOC  | 3,33      | 0: Muy buena             | 81% - 100%     | 2,17      | 0: Muy buena              | 81% - 100%     |
| PSER <sub>p</sub> - E    | -30,69    | 1: Aceptable             | 61% - 80%      | 37,67     | 4: Crítica                | ≤ 20%          |
| IPSER                    |           | 1: Aceptable (61% - 80%) |                |           | 3: Deficiente (21% - 40%) |                |

**Figura 33.** Estado de provisión general y parcial de SER en 1989-2004 y 2004-2019 en UA6.



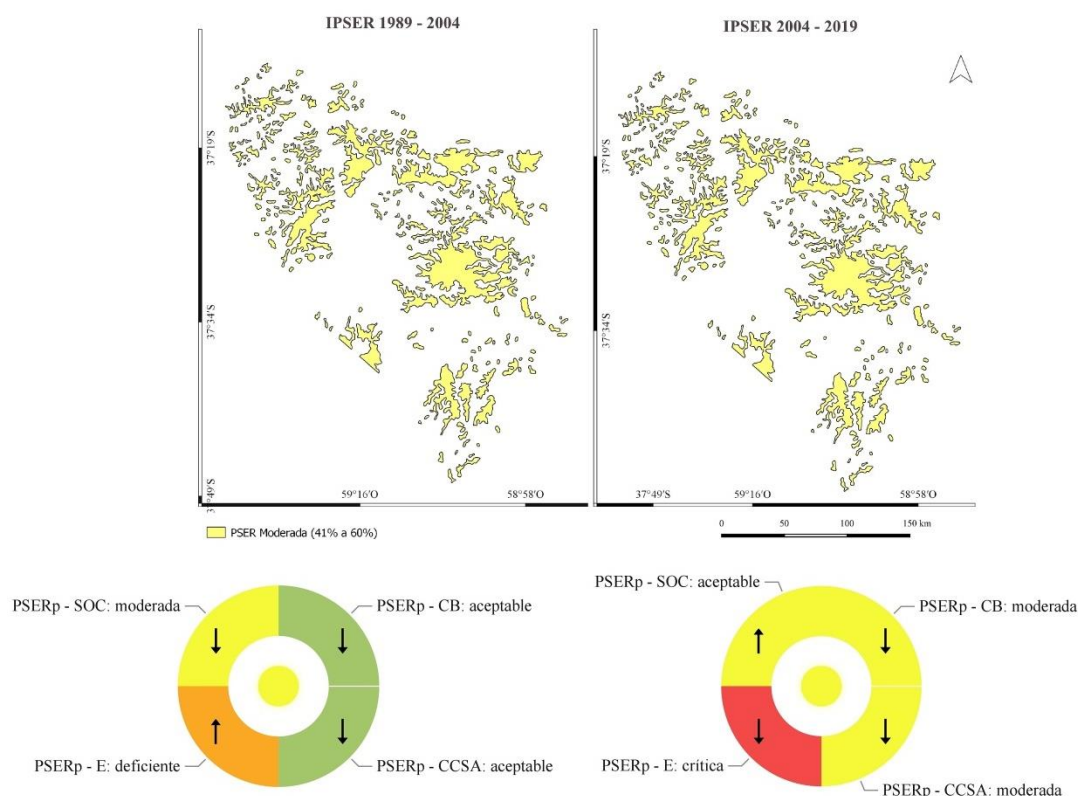
### IPSER en UA del Sistema ecológico paisajístico de las Serranías

**UA7 (Tabla 57 - Figura 34):** la provisión de SER en esta unidad es moderada en ambos períodos de estudios determinada por el deterioro de la provisión de SE asociados a los indicadores CB, CCSA y E y, por el contrario, el aumento del valor del indicador SOC. Abundantes afloramientos rocosos, cuerpos edáficos poco evolucionados y contactos líticos dominan estas áreas serranas, no obstante, su condición casi prístina y su distribución geográfica en parches en una matriz altamente productiva (UA3) propician un proceso de agriculturización ascendente. La disminución en la calidad de provisión de los SE de CB, CCSA y E deriva entonces de una dinámica productiva agrícola de intensidad alta (1989-2004) a muy alta (2004-2019) aunque el paisaje no sea favorable para ello. Por otra parte, la mejora en el suministro del SOC deviene de la implementación general en todo el Partido de la siembra directa junto a otras técnicas productivas que fomentan la fijación de carbono en suelos que hasta el momento poseían poca o nula cobertura vegetal.

**Tabla 57.** Variación y categorización de los indicadores e IPSER en UA7.

|                          | 1989-2004               |               |                | 2004-2019               |              |                |
|--------------------------|-------------------------|---------------|----------------|-------------------------|--------------|----------------|
|                          | Variación               | Categoría     | % de provisión | Variación               | Categoría    | % de provisión |
| PSER <sub>p</sub> - CB   | -9,50                   | 1: Aceptable  | 61% - 80%      | -13,29                  | 2: Moderada  | 41% - 60%      |
| PSER <sub>p</sub> - CCSA | -0,15                   | 1: Aceptable  | 61% - 80%      | -0,51                   | 2: Moderada  | 41% - 60%      |
| PSER <sub>p</sub> - SOC  | -6,83                   | 2: Moderada   | 41% - 60%      | 0,81                    | 1: Aceptable | 61% - 80%      |
| PSER <sub>p</sub> - E    | -1,94                   | 3: Deficiente | 21% - 40%      | 38,06                   | 4: Crítica   | ≤ 20%          |
| IPSER                    | 2: Moderada (41% - 60%) |               |                | 2: Moderada (41% - 60%) |              |                |

**Figura 34.** Estado de provisión general y parcial de SER en 1989-2004 y 2004-2019 en UA7.



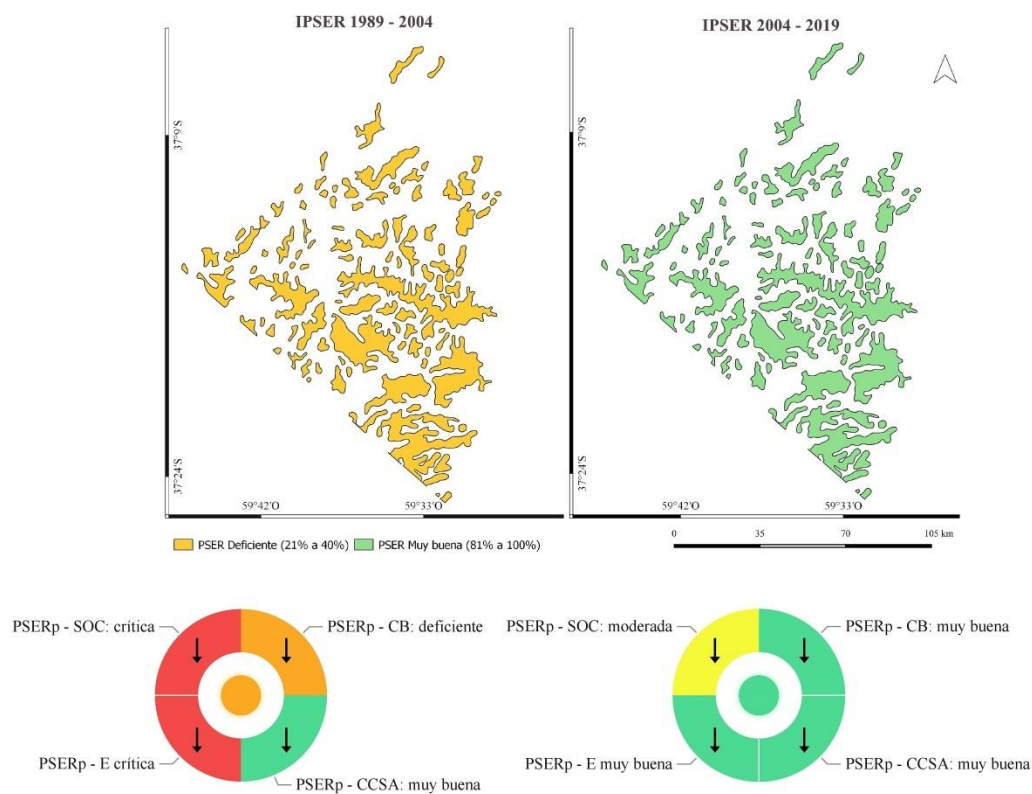
**UA8 (Tabla 58 - Figura 35):** el IPSE demuestra una provisión deficiente entre 1989 y 2004 que evoluciona favorablemente a una condición muy buena entre 2004 y 2019. Como en el resto de las UA el estado de provisión de SE procede de una determinada conducta del PA que en este paisaje pasa de ser de intensidad muy alta a baja en el segundo período en el cual la actividad productiva encontró un freno en los obstáculos físicos que presenta el terreno. Dicho proceso se traduce en una provisión crítica de servicios de regulación asociados al suelo en el primer período que mejora a una provisión moderada para el SOC y a una provisión muy buena en el caso del indicador de E en el segundo período. No obstante, vale destacar que la variación positiva tanto de la situación general como individual de los indicadores no indica obligatoriamente que la unidad a partir de 2004 haya empezado a aumentar la provisión de SER sino que la inercia al deterioro que caracteriza al primer período se detiene.

**Tabla 58.** Variación y categorización de los indicadores e IPSE en UA8.

|                          | 1989-2004 |               |                | 2004-2019 |              |                |
|--------------------------|-----------|---------------|----------------|-----------|--------------|----------------|
|                          | Variación | Categoría     | % de provisión | Variación | Categoría    | % de provisión |
| PSER <sub>p</sub> - CB   | -25,80    | 3: Deficiente | 21% - 40%      | -9,44     | 0: Muy buena | 81% - 100%     |
| PSER <sub>p</sub> - CCSA | -0,09     | 0: Muy buena  | 81% - 100%     | -0,23     | 0: Muy buena | 81% - 100%     |

|                         |                           |            |       |                           |              |            |
|-------------------------|---------------------------|------------|-------|---------------------------|--------------|------------|
| PSER <sub>p</sub> - SOC | -11,72                    | 4: Crítica | ≤ 20% | -4,03                     | 2: Moderada  | 41% - 60%  |
| PSER <sub>p</sub> - E   | 28,95                     | 4: Crítica | ≤ 20% | 13,43                     | 0: Muy buena | 81% - 100% |
| IPSER                   | 3: Deficiente (21% - 40%) |            |       | 0: Muy buena (81% - 100%) |              |            |

**Figura 35.** Estado de provisión general y parcial de SER en 1989-2004 y 2004-2019 en UA8.





## DISCUSIÓN

La estandarización de los valores de los indicadores posibilitó el análisis comparativo de la provisión de cada uno de ellos entre las distintas UA y entre los distintos indicadores dentro de cada UA. La posterior fusión de los indicadores en un índice general (IPSER) permitió la comparación del estado de provisión general de SE de regulación en las ocho UA del Partido a lo largo del período de estudio.

La agricultura es fundamental para los tres pilares de la sostenibilidad, ecología, sociedad y economía. Sin embargo, la definición de agricultura sostenible y las capacidades para medirla siguen siendo esquivas. En este sentido el procedimiento metodológico empelado da cuenta de lo imprescindible que resulta la interdisciplinariedad en los estudios ambientales que por naturaleza, evalúan sistemas complejos (García, 2013). En este caso la metodología utilizada ha sido una adaptación de trabajos de investigación asociados a: la determinación de condiciones claves para el desarrollo y construcción de indicadores e índices para la evaluación de la sustentabilidad (Sarandón, 2002); la aplicación de indicadores con el objetivo de establecer la sustentabilidad de las fincas productoras de críticos (Valarezo Beltrón, 2020); diseño de una matriz de agricultura sostenible para cuantificar el desempeño nacional de indicadores considerando la dimensión ecológicas, social y económica (Zhang et al., 2020; Zhang et al., 2021).

En conjunto, el presente trabajo y los mencionados trabajos antecedentes permiten establecer qué tan lejos se está en la práctica del esquema idealista de desarrollo hacia la sustentabilidad; además, los indicadores de sustentabilidad constituyen herramientas de decisión que simplifican a multicriterios cualitativos (Costanza et al., 2017). Los indicadores permiten conocer de manera particularizada las necesidades de manejo de cada sistema o paisaje, con la finalidad de mantener o mejorar la productividad, reducir riesgos e incertidumbre, potenciar el suministro de distintos tipos de SE, proteger la base de recursos, sin disminuir la viabilidad económica del sistema (Maes et al., 2016; Müller et al., 2016; Van Oudenhoven et al., 2018; Paulin et al., 2020).

De esta manera, la evaluación integral de la oferta de SE con y sin valor de mercado del territorio permite trascender visiones únicamente mercantiles de la planificación (Paruelo et al., 2014).



---

## CAPÍTULO VIII - INCIDENCIA DE LA AGRICULTURIZACIÓN SOBRE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS CULTURALES

---

## **OBJETIVO ESPECÍFICO**

- VII. Evaluar la incidencia de la agriculturización sobre la provisión de SE culturales en el partido de Tandil, identificando las transformaciones en las características de la estructura agraria en los períodos 1988-2002 y 2002-2018, empleando indicadores de sustentabilidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La relación de compromiso entre los distintos tipos de SE no suele ser lineal. Mientras se potencia la provisión de servicios de abastecimiento y comerciales se relegan las características de los ecosistemas, como la composición de las especies, la cobertura de los árboles o las condiciones de crecimiento que modulan el tipo y la magnitud de los SE que pueden fluir a las sociedades (Balvanera et al., 2017). Por otro lado, se descuidan los regímenes de gestión, las tecnologías, los sistemas de tenencia, las tendencias de usos, las coberturas del terreno y acceso que armonizan las formas en que los SE producen y benefician a las sociedades (García, 2020).

En los espacios rurales se materializa entonces un modelo productivo altamente tecnificado y capitalizado en el cual las reglas de juego, direccionadas por el libre mercado, constituyen un factor categórico de la concentración productiva y la marginación agraria con implicancias socio-territoriales significativas (RIMISP, 2017). De esta manera, se privilegia la expansión agraria y la rentabilidad de las empresas más grandes, que pueden continuar su proceso expansivo, incorporando las tierras de pequeños y medianos productores.

Resulta pertinente construir sistemas agroalimentarios sostenibles y resilientes que involucren no solo propiedades agroecológicas del territorio rural sino también a los actores sociales del paisaje. Si se hace extensiva la invitación que formula la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de “no dejar a nadie atrás” en los territorios resulta fundamental avanzar en la búsqueda de fórmulas que permitan la integración de las dimensiones económica, social y ecológica, es decir, ambiental del desarrollo (FAO, 2017; Fernández et al., 2019).

Surgen a partir de este abordaje diversos cuestionamientos: ¿Existe entonces un desbalance entre la provisión de SE caracterizada por la potenciación de SE abastecimiento y el relego de SE de regulación y culturales? ¿Cómo el proceso de agricultura intensiva, en las últimas décadas, ha modificado la estructura agraria? ¿Las transformaciones en dicha estructura deterioran la provisión de SE culturales?

Es de interés conocer cuáles son las transformaciones en la dinámica rural que trastocan la organización social, productiva, territorial y afectan la provisión de SEC en un área representativa de la RPA, el partido de Tandil. En este contexto, se pretende identificar las transformaciones en las características de la estructura agraria en el partido de Tandil y cómo se relacionan con la provisión de SEC radicales para garantizar la relación e identificación entre el territorio y sociedad. Dicha conexión resulta vital para la valorización del espacio

productivo y de sus bases ecológicas y culturales que garantizan una agricultura sustentable. Para ello, han sido consideradas distintas variables como la densidad demográfica en el ámbito rural, las formas de tenencia de la tierra, el tamaño promedio, cantidad y distribución de la superficie agropecuaria de las EAP. El análisis cuantitativo de dichas variables permite evidenciar las transformaciones en la estructura agraria, como consecuencia del proceso de agriculturización, y obtener un diagnóstico de la provisión de SEC.

Las variables mencionadas, relevadas por los Censos Nacionales Agropecuarios (CNA), se estudian comparativamente en dos subperíodos intercensales, 1988-2002 y 2002-2018. Las fechas de los CNA no coinciden exactamente con las fechas de las imágenes satelitales empleadas para llevar a cabo la clasificación supervisada a partir de la cual se derivaron los resultados de transformaciones en los usos del suelo. No obstante, han sido considerados los censos ya que la diferencia temporal no es excesiva sino que pertenece al mismo contexto agroproductivo; los datos relevados para la obtención de los indicadores correspondían a 1989, 2004 y 2019; las imágenes satelitales de mejor calidad también correspondían a dichas fechas y los valores de censos agropecuarios utilizados son los únicos y últimos disponibles.

A su vez, corresponde aclarar que en este caso no han sido empleadas como unidades básicas de análisis las UA del partido de Tandil sino que se consideró la totalidad de su territorio para efectuar el análisis de las variables. Por un lado, los límites de las UA no coinciden con los límites establecidos para los cuarteles censales. Por otro lado, no todos los datos censales aparecen discriminados por localidades del Partido.

A partir de una fuente secundaria de importancia para las políticas públicas, como son los datos definitivos de los CNA 1988, 2002 y 2018, se realizó un análisis cuantitativo de algunas variables que definen la estructura agraria argentina. En los CNA es la explotación agropecuaria (EAP) la unidad estadística de los relevamientos. Para dar cuenta de los procesos operados en distintos contextos del agro argentino se analizan comparativamente las variaciones en los subperíodos 1988-2002 y 2002-2018.

Para estudiar las transformaciones, durante las últimas tres décadas, se consideraron las variables de cantidad y tamaño promedio de las EAP con límites definidos, sus formas de tenencia de la tierra y el número de habitantes, relevadas en los tres operativos censales.

En primera instancia se analizaron a partir de los datos de los CNA 1988, 2002 y 2018:

- ~ Las modificaciones en la distribución de la superficie agropecuaria y el número de EAP según estrato de tamaño y las variaciones intercensales de estos datos

~ Los cambios con respecto al régimen de tenencia de la tierra.

En segunda instancia, de manera tal de evaluar la sustentabilidad cultural en el ámbito rural, evidenciada a partir del estado de provisión de SEC, se aplicaron dos indicadores adaptados del Índice de Presión Demográfica desarrollado por Montico et al (2019) y Montico y Di Leo (2007).

Estos indicadores se describen a continuación:

❖ Indicador de Ruralidad (IR), valora las tasas de modificación en la densidad de población rural:

$$IR = DP_{censal} * r$$

Siendo,  $DP_{censal}$  la densidad poblacional en cada fecha de análisis: 1988, 2002 y 2018 (población por 100 habitantes), y  $r$  es la tasa de cambio poblacional en el período intercensal 1988-2002 y 2002-2018.

Un mayor IR es indicador de mayor presencia poblacional en el área de estudio, mayor ruralidad y por tanto una mayor provisión de SE culturales.

Las categorías propuestas para los valores obtenidos para el IR son:

- ~  $IPP > 1$ : el área de estudio exhibe un marcado incremento en la existencia de establecimientos productivos rurales.
- ~  $1 > IPP > 0$ : el área de estudio exhibe un crecimiento mínimo en la existencia de establecimientos productivos rurales y por tanto de servicios culturales asociados.
- ~  $-1 > IPP > 0$ : el área de estudio expulsa establecimientos productivos rurales.
- ~  $IPP < -1$ : el área de estudio expulsa aceleradamente establecimientos productivos rurales.

❖ Indicador de Presencia Productiva (IPP), valora las tasas de modificación en la densidad de establecimientos productivos:

$$IPP = DEAP'_{scensal} * r$$

Siendo  $DEAP'_{scensal}$  la densidad de establecimientos productivos en cada fecha de análisis: 1988, 2002 y 2018 (número de establecimientos cada 100 hectáreas) y  $r$  es la tasa de cambio en el número de establecimientos en el período intercensal 1988-2002 y 2002-2018.

Un mayor IPP es indicador de mayor presencia productiva en el área de estudio, mayor ruralidad y por tanto una mayor provisión de SEC.

Las categorías propuestas para los valores obtenidos para el IR son:

- ~  $IR > 1$ : el área de estudio exhibe un marcado crecimiento poblacional.

- ~  $1 < IR > 0$ : el área de estudio exhibe un crecimiento poblacional mínimo y por tanto de SEC asociados.
- ~  $-1 > IR > 0$ : el área de estudio expulsa población.
- ~  $IR < -1$ : el área de estudio expulsa población aceleradamente población.

❖ Finalmente, la combinación del IR con el IPP dio lugar al Índice de Provisión de Servicios Ecosistémicos Culturales (IPSEC).

Este índice permite realizar un diagnóstico de la provisión de SEC, en cada período intercensal, derivada de las transformaciones en la estructura agraria consecuencia del proceso de agriculturización. En la siguiente matriz (**Tabla 59**) se presenta el esquema de valoración:

**Tabla 59.** Categorías de Índice de Provisión de SEC a partir de los IR y IPP.

| IPP            | $IR > 1$ | $1 > IR > 0$ | $0 > IR > -1$ | $IR < -1$ |
|----------------|----------|--------------|---------------|-----------|
| $IPP > 1$      | Alta     | Alta         | Media         | Media     |
| $1 > IPP > 0$  | Alta     | Alta         | Media         | Media     |
| $0 > IPP > -1$ | Baja     | Baja         | Crítica       | Muy baja  |
| $IPP < -1$     | Baja     | Baja         | Muy baja      | Muy baja  |

Las categorías propuestas para el estado de provisión de SE culturales fueron:

- I. Alta: la provisión podría potenciarse.
- II. Media: la provisión podría mantenerse o recuperarse.
- III. Baja: provisión amenazada.
- IV. Crítica: provisión gravemente amenazada.

## RESULTADOS

### Distribución de la superficie agropecuaria y el número de EAP's según estrato de tamaño

La **Tabla 60** y los **Gráficos 33** y **34** exhiben los datos de cantidad de establecimientos productivos y la distribución de su extensión en las fechas censales 1988, 2002 y 2018.

**Tabla 60.** Número de establecimientos productivos y la distribución de su extensión en las fechas censales: 1988, 2002 y 2018.

|      |           | Total<br>(ha) | Hasta 200<br>ha | Entre 200,1 –<br>500 ha | Entre 500,1 -<br>1.000 ha | Superiores a<br>1.000 ha |
|------|-----------|---------------|-----------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1989 | EAP's     | 1095          | 619             | 203                     | 154                       | 119                      |
|      | Hectáreas | 477023,7      | 49890,1         | 66309,6                 | 111031,3                  | 249792,7                 |
| 2002 | EAP's     | 659           | 270             | 147                     | 101                       | 141                      |
|      | Hectáreas | 442390,2      | 22840,7         | 47693,6                 | 73612,8                   | 298243,1                 |
| 2018 | EAP's     | 479           | 177             | 121                     | 94                        | 87                       |
|      | Hectáreas | 313508,1      | 16972,4         | 40038,5                 | 71083,8                   | 185413,4                 |

**Gráfico 33.** Distribución de la cantidad de EAP's del partido de Tandil correspondiente a cada categoría de extensión en 1988, 2002, 2018.

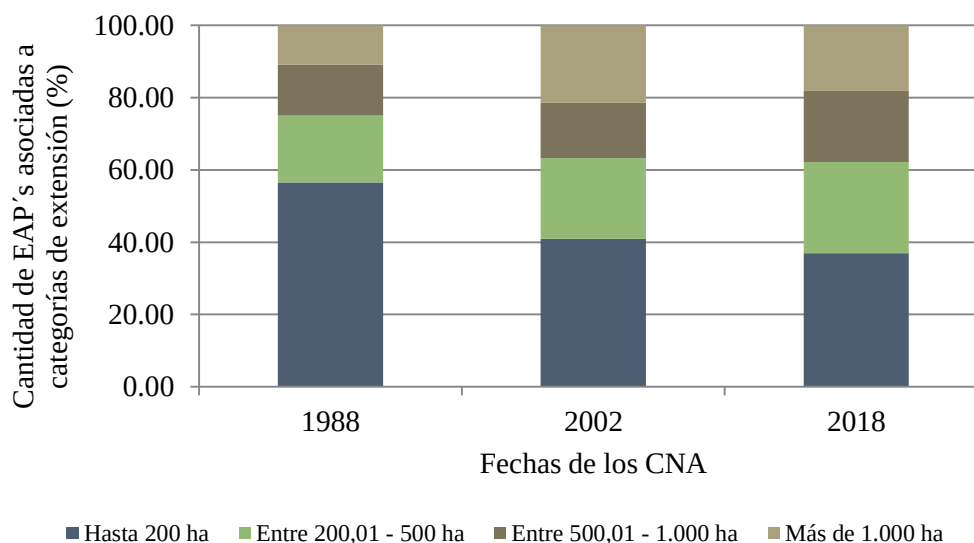
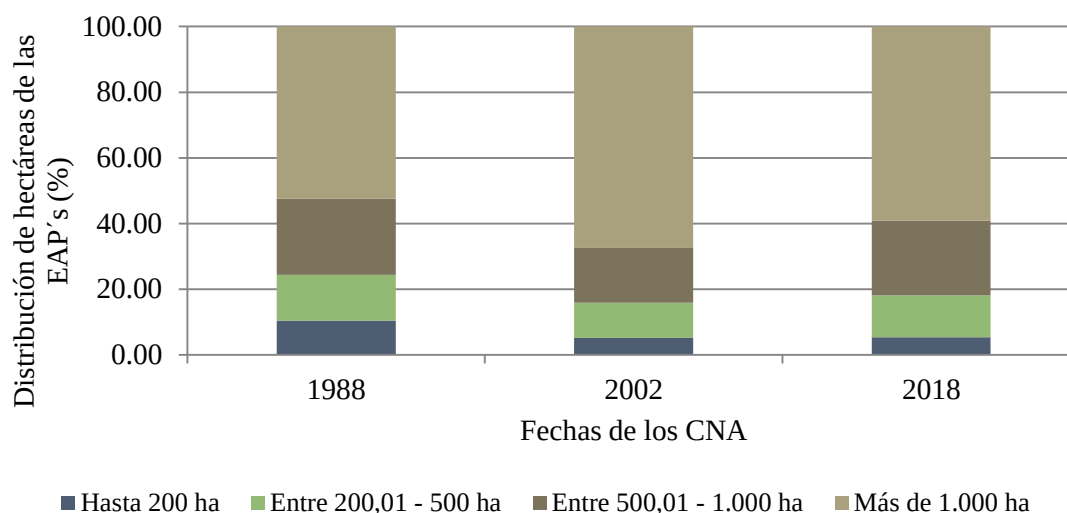


**Gráfico 34.** Distribución de hectáreas de las EAP's del partido de Tandil en 1988, 2002, 2018.



Se desprende de los datos presentados que en 1988 el 56,53% de las EAP's (1095) correspondían a predios menores a 200 hectáreas y representaban el 10,46% de la superficie agrícola del Partido (477023,7). Contrariamente, el 52,35% (249792,7) de la superficie productiva estaba en poder solo del 10,87% de los establecimientos rurales (119 EAP's) con extensiones de mayor rango (mayores a 1000 hectáreas). El 37% de la superficie área de estudio (13,90% y 23,28%) correspondía a EAP's de rango intermedio (entre 200 y 1000 hectáreas) que representaban el 32% del total de establecimientos.

En 2002 el proceso de concentración productiva se incrementa, los establecimientos de menor rango representan en ese entonces el 41% del total de EAP's y el 5% de la superficie productiva. Mientras tanto, los de mayor rango pasan a representar el 21% y a ocupar el 67% de las hectáreas totales del Partido.

En 2018 los datos censales dan cuenta del ranking general se mantiene: el mayor número de EAP's corresponde a los establecimientos de menor rango (**Gráficos 33 y 34**). Los establecimientos de hasta 200 hectáreas representan el 36,95% del total, los establecimientos de 200 a 500 un 22,31%, los de 500 a 1000 hectáreas un 19,62% y, por último los de más de 1000 un 18,16%. Sin embargo, también se desprende de los resultados que la diferencia entre ellos censo a censo cada vez menor.

Al considerar las variaciones intercensales de los datos, es decir, la evolución en el tiempo tanto de la cantidad total de EAP's como de su extensión se observa que, la tendencia general es la pérdida de la cantidad total de establecimientos productivos (**Tabla 61**). La caída en el número total de producciones es mayor en el primer período (-39,82%) que en el segundo (-27,31%) (**Tabla 60**).



Con respecto a la cantidad de EAP's, en el primer período intercensal (1988 – 2002) (**Gráfico 35**), el mayor incremento (97%) es el de establecimientos de rango mayor, de más de 1000 hectáreas. En oposición, los establecimientos más pequeños (hasta 200 hectáreas) disminuyeron un 27,52%. El número de predios de categorías correspondientes a 200 - 500 hectáreas y 500 - 1000 hectáreas también muestran un incremento (20,32% y 9%, respectivamente).

La cantidad de hectáreas totales que constituyen las EAP's disminuyen en todas las categorías con excepción a la categoría vinculada a los establecimientos de mayor superficie. A la vez que aumenta el número de establecimientos de mayor superficie también lo hace la extensión de los mismos. La categoría que más afectada resulta ser la de los establecimientos de hasta 200 hectáreas que disminuyen más de un 50%.

Las variaciones que caracterizan al segundo período no han sido tan radicales como la del primer período intercensal (**Gráfico 36**). Tanto en relación a la cantidad de EAP's y a la cantidad de hectáreas de las mismas existen continuidades y diferencias con respecto al período previo. Dentro de los procesos que continúan se encuentran la disminución de EAP's de menor rango (9,81%) y el aumento de aquellas de rango medio (de 200 a 500 hectáreas un 13,24% y de 500 a 1000 hectáreas un 28,04%). Estos últimos también presentan un incremento en su superficie. La diferencia es la merma (15%) en la cantidad de establecimientos de rango mayor que a su vez ven reducidas la cantidad de hectáreas totales en un 12%.

**Tabla 61.** Cambios en la cantidad de EAP's y su cantidad de hectáreas por período intercensal.

| Modificaciones en la cantidad de EAP's por período                  |                 |                         |                           |                          |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|
|                                                                     | Hasta 200<br>ha | Entre 200,1 – 500<br>ha | Entre 500,1 - 1.000<br>ha | Superiores a 1.000<br>ha |
| 1988 - 2002                                                         | -27,52          | 20,32                   | 8,98                      | 96,88                    |
| 2002 - 2018                                                         | -9,81           | 13,24                   | 28,04                     | -15,11                   |
| Modificaciones en la cantidad de hectáreas de las EAP's por período |                 |                         |                           |                          |
|                                                                     | Hasta 200<br>ha | Entre 200,1 – 500<br>ha | Entre 500,1 - 1.000<br>ha | Superiores a 1.000<br>ha |
| 1988 - 2002                                                         | -50,63          | -22,44                  | -28,51                    | 28,74                    |
| 2002 - 2018                                                         | 4,86            | 18,46                   | 36,26                     | -12,27                   |

**Gráfico 35.** Variaciones intercensales en la cantidad de EAP's.

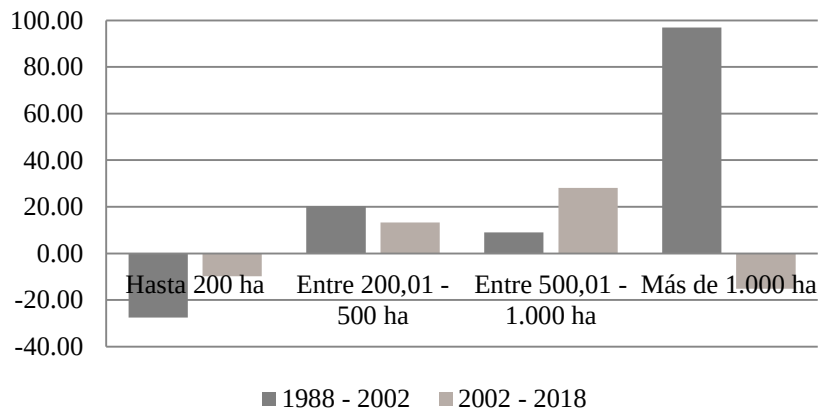
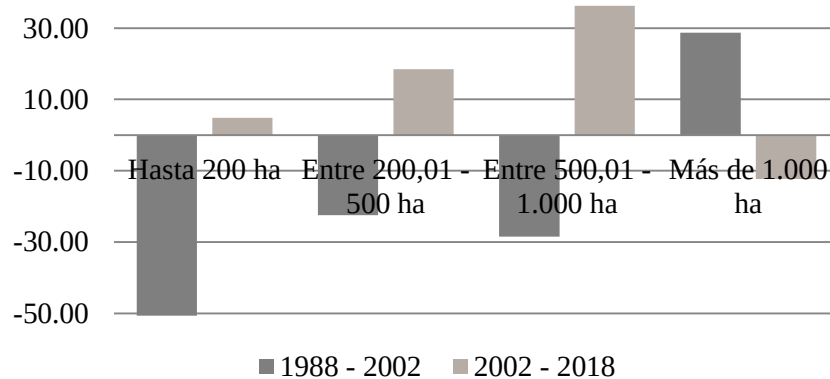


**Gráfico 36.** Variaciones intercensales en la distribución de superficie de EAP's.



### Régimen de tenencia de la tierra

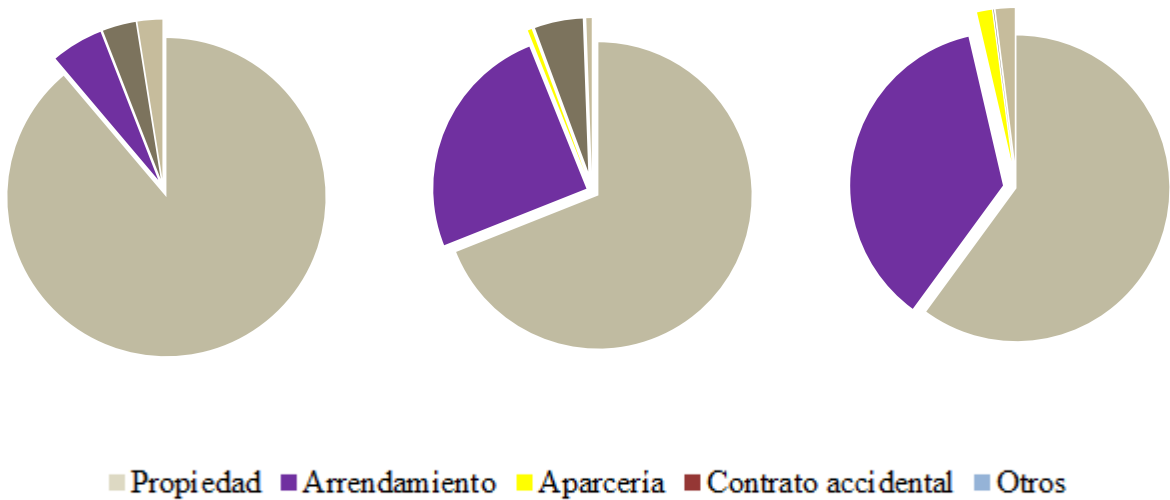
A partir de la información provista por los censos agropecuarios fue posible determinar también cómo ha evolucionado en el período de estudio el régimen de tenencia de la tierra en el partido de Tandil. Las formas de tenencia de la tierra en los CNA 1988 y 2002 pueden ser propietario, arrendatario, aparcerero o contratista accidental. El CNA 2018 agrega a las formas de tenencia mencionadas otras tres: el comodato, el usufructo y la concesión. Para poder comparar los datos del CNA 2018 con los de los CNA 1988 y 2002 se sumaron las formas de tenencia incorporadas en el relevamiento 2018 a la categoría denominadas “Otros”.

**Tabla 62.** Superficie correspondiente a distintos regímenes de tenencia de la tierra en los censos 1988, 2002 y 2018.

|      | Total    | Propiedad | Arrendamiento | Aparcería | Contrato accidental | Otros  |
|------|----------|-----------|---------------|-----------|---------------------|--------|
| 1988 | 477023,7 | 423683,9  | 25138,3       | -         | 16217,5             | 11984  |
| 2002 | 442301,2 | 305111,5  | 110285,5      | 1895      | 22499,2             | 2510   |
| 2018 | 319994,1 | 192176,1  | 116186,3      | 5044,5    | 170                 | 6417,2 |

De los resultados obtenidos y expresados en la **Tabla 62** y el **Gráfico 37** se destacan dos cuestiones principales que han caracterizado y moldeado la actividad productiva en la región. Por un lado, la dominancia continúa de la propiedad privada que, no obstante, disminuye intercensalmente. La mayor pérdida de la propiedad privada, un 22,33%, ocurre entre 1988 a 2002; mientras que en el segundo período la pérdida es de un 13%. Por otro lado, es pertinente mencionar el incremento del régimen de arrendamiento que en el primer período intercensal reporta un aumento de 373% y en el segundo un aumento más moderado del 45%.

**Gráfico 37.** Distribución porcentual de tenencia de la tierra en los censos 1988, 2002 y 2018.



### Indicadores e índices derivados de los datos censales

Con respecto al Indicador de Ruralidad (**Tabla 63**), de acuerdo a los datos suministrados por los CNA, se observa que durante el primer período aumenta el número de residentes en las EAP's, la tasa de variación intercensal resulta positiva y en concordancia también el índice final. En el segundo período el IR negativo da cuenta de un retroceso en la cantidad de habitantes residentes en los establecimientos rurales.

**Tabla 63.** Indicador de Ruralidad para el período intercensal 1988-2002 y 2002-2018.

| Fecha CNA | Residentes de EAP's | DP*  | Período intercensal | r*    | IR    |
|-----------|---------------------|------|---------------------|-------|-------|
| 1988      | 2344                | 0,49 | 1988 - 2002         | 1,50  | 0,73  |
| 2002      | 2930                | 0,66 | 2002 - 2018         | -3,59 | -2,37 |
| 2018      | 1630                | 0,51 |                     |       |       |

Referencias: DP: densidad poblacional; r: variación intercensal.

En relación al Indicador de Presencia Productiva (**Tabla 64**) los resultados dan cuenta de una disminución continua en la presencia productiva, mayor en el primer período intercensal, ocasionado por la pérdida del 39,82% de los establecimientos.

**Tabla 64.** Indicador de Presencia Productiva para el período intercensal 1988-2002 y 2002-2018.

| Fecha CNA | Número de EAP's | DEAP's* | Período intercensal | r*    | IDPP  |
|-----------|-----------------|---------|---------------------|-------|-------|
| 1988      | 1095            | 0,22    | 1988 - 2002         | -3,54 | -0,81 |
| 2002      | 659             | 0,14    | 2002 - 2018         | -1,96 | -0,29 |
| 2018      | 479             | 0,15    |                     |       |       |

Referencias: DEAP's: densidad de explotaciones agropecuarias; r: variación intercensal.

Al fusionar los índices previos surge entonces el Índice de Provisión de Servicios Ecosistémicos Culturales (IPSEC). Este representa una relación donde la interacción entre la demografía rural y la presencia de establecimientos productivos definen la condición de criticidad de los servicios culturales.

Según la clasificación propuesta y partiendo de la combinación de los índices previos se obtuvo el IPSEC para cada período intercensal (**Tabla 65**). Por un lado, el período 1988-2002 posee un IR de 0,73 y un IPP de -0,81 por lo que obtiene una categoría baja de IPSEC: su provisión se encuentra amenazada. Por otro lado, el período 2002-2018 exhibe una categoría crítica de IPSEC que puede traducirse en una provisión gravemente amenazada de SEC derivada de un IR de -2,37 y un IPP de -0,29.

Entonces, es posible concluir que la provisión de SEC, a lo largo de todo el período de estudio, se encuentra en peligro y por lo tanto la sostenibilidad ambiental con bajas probabilidades de persistencia.

**Tabla 65.** Valores de IR, IPP y categoría de IPSEC en los períodos intercensales 1988-2002 y 2002-2018 en el partido de Tandil.

| Período intercensal | IR    | IPP   | IPSEC |
|---------------------|-------|-------|-------|
| 1988-2002           | 0,73  | -0,81 | III   |
| 2002-2018           | -2,37 | -0,29 | IV    |

## DISCUSIÓN

A través de los relevamientos censales podemos observar que, durante los últimos 30 años, las transformaciones en la estructura agraria productiva son la traducción social de los impactos asociados a la adopción del modelo de agronegocio (García; 2020).

En los primeros quince años de análisis, desde 1988 a 2002, el proceso de agriculturización, transforma la estructura productiva del sistema agrícola eliminando un gran número de explotaciones que no pudieron afrontar el alto costo financiero (Pierri y Wesz, 2017). Los CNA 1988 y 2002 dieron cuenta de esta transformación y disminución: el número total de EAP nacionales que cada uno de ellos relevó fue de 421.221 y 333.533, respectivamente, lo que implica la desaparición del 21% de las mismas.

En sintonía a escala local los resultados exhiben cómo el partido de Tandil presenta una estructura agrícola caracterizada por la pérdida del 39,82% de la cantidad total de EAP's. En este mismo período el área de estudio también se distingue por la eliminación del 27,52% de los establecimientos más pequeños (de hasta 200 hectáreas) y, por el contrario, el aumento del 97% del número de aquellos establecimientos de mayor rango (su número se incrementa de un 11% a un 22%). En consecuencia, esta época podría caracterizarse por la redistribución de la superficie de las EAP's ya que los resultados muestran que la superficie correspondiente a los establecimientos menores disminuye un 50% mientras que la superficie de los establecimientos de mayores dimensiones aumenta un 28,74%. Evidentemente los establecimientos productivos han ido incrementando su tamaño promedio evidenciando una tendencia hacia la concentración de la superficie agropecuaria en menos EAP's (Ameghino y Fernández, 2020).

En el segundo período (2002 – 2018) la tendencia coincide con la evidenciada en los primeros quince años de estudio. Es posible aseverar que se produce la desaparición de un 27,31% de la cantidad total de EAP's en el partido de Tandil que coincidirían con los datos censales a escala nacional que indican la desaparición de aproximadamente una cuarta parte de las EAP's (333.533 EAP's para 2002 y 250.881 para 2018). Este mecanismo ha dado lugar al avance del “desierto verde”, elemento clave del modo en que evoluciona la trama económica y social rural, tanto bajo la crisis y los estímulos neoliberales de la convertibilidad (período de 1988 a 2002), como luego de la devaluación y los altos precios de los granos durante buena parte del siglo XXI (período 2002 a 2018) (Fernández, 2018).

En este contexto, y en la disputa por la ganancia las diferentes unidades productivas compiten; las explotaciones económicamente más débiles van siendo eliminadas, sin prisa y sin pausa

(Fernández, 2021). Es así que los CNA dan cuenta de la profundización de las asimetrías que muestra la distribución de las explotaciones. Diversos autores (García, 2020; Ameghino y Fernández, 2020) comprueban a escala nacional que el estrato más golpeado es el de hasta 200 hectáreas, donde se ubica el 72,4% de las EAP desaparecidas, lo cual replica el fenómeno registrado entre 1988 y 2002. El partido de Tandil no es ajeno a la situación nacional y regional exhibiendo en este mismo estrato la pérdida del 52% de las EAP's desaparecidas.

En el otro extremo, el CNA de 2018 da cuenta que sólo un 12,8% de las EAP del país y un 18% de las EAP del Partido superan las mil hectáreas de campo. En este estrato de superficie se ubica la cúpula del agro pampeano en la cual coexisten los *pools* de siembra y otros grandes arrendatarios con terratenientes capitalistas que en muchos casos amplían su escala de producción adicionando, a la propia, tierra de terceros (Gras y Hernández, 2021).

La constatación, a través de los datos de los CNA, de la presencia en el agro pampeano de figuras como los *pools* de siembra y los arrendatarios ratifica la vigencia y eficacia del proceso de concentración económica consolidado durante los noventa y prolongado hasta la actualidad (Azcuy Ameghino, 2017). Estos funcionaron como herramientas que permitieron aumentar la escala de producción y disminuir los riesgos con la diversificación de cultivos y zonas productivas (Fernández, 2018). De hecho, para Ameghino y Fernández (2019), pese a que se afirme que el arriendo es una modalidad global del “nuevo paradigma” (que tiene el efecto de “democratizar” la estructura productiva) lo cierto es que constituye una herramienta para la consecución de economías de escala por parte del polo “concentrador” de la producción agraria.

En este contexto, los resultados para el partido de Tandil evidencian, por un lado, que la mayor pérdida de la propiedad privada ocurre entre 1988 a 2002 y, por otro lado, que el incremento del régimen de arrendamiento reporta un aumento de 373% en el primer período intercensal y en el segundo un aumento más moderado del 45%. Vale destacar el vínculo directo entre esta modalidad de tenencia y los cultivos extensivos anuales (Barsky, 2020).

Las estructuras sociales, los valores, las ideas y las normas arraigadas en los actores sociales manifiestan la historia de los territorios y son los componentes principales del motor del desarrollo rural. Por consiguiente, es posible trazar un paralelismo entre el estado de provisión de SEC y el potencial de desarrollo rural.

Los resultados obtenidos para el IPSEC, que fusiona la dinámica demográfica y productiva, expresan la evolución del contexto social, económico y tecnológico, es decir dicho desarrollo

social. El índice presenta una merma de su valor desde una provisión baja de SE a una provisión crítica. La caída del valor del IPSEC refuerza la tendencia de larga data del agro pampeano: el despoblamiento rural.

Esta caída relativa supera largamente a la desaparición de EAP's y se encuentra vinculado no solo con el avance del proceso de concentración sino también a crónicos déficits en materia de caminos y comunicaciones, servicios básicos (como salud y educación), recreación, insuficiencia de fuentes de trabajo extraprediales, etc. (Ameghino y Fernández, 2019). En consecuencia, se observa un debilitamiento de la figura social del "chacarero, personaje rural" motorizada por su disminución demográfica y por el deterioro de su base material. En este sentido es importante remarcar la importancia de los conocimientos rurales locales de las mencionadas figuras para la resolución de problemas ambientales y para promover la conservación de los SE. La situación descripta genera, por consiguiente, un círculo vicioso que propicia y exacerba la merma en la provisión de SEC.

En otras palabras, lo que demuestra el comportamiento de este índice es la desconexión entre la sociedad y los recursos naturales de los cuales se sirve para su sustento dando lugar a un deterioro de la identidad cultural y el sentido de pertenencia de una comunidad (Cheng et al., 2019; Yang et al., 2019).

Definitivamente, en el área de estudio el potencial de desarrollo rural se encuentra en declive debido a causas multidimensionales que obedecen a impulsos de cambios endógenos (relacionados a las particularidades de cada territorio) y exógenos (los territorios solo se pueden entender con relación a sistemas más grandes de los cuales son parte, contextos nacionales y dinámicas globales): estructura agraria fuertemente arraigada; conjuntos de instituciones que gobiernan el acceso y el uso de los recursos naturales claves del territorio que concentran el poder y las oportunidades económicas y políticas; estructuras productivas donde predominan unas pocas empresas que generan poco empleo o mal empleo, con pocos encadenamientos locales y que finalmente resultan en la extracción del territorio de una enorme proporción de los excedentes; débiles vínculos con mercados dinámicos; dominio de actores sociales extraterritoriales (Fernández et al., 2019).

Finalmente, el enfoque de los SE permite por un lado, visualizar cómo los modelos productivos dominantes a través de una dinámica de mercado modelan las interacciones entre la sociedad y el agroecosistema generando un extra de SE de abastecimiento (*commodities*) posibles de traducirse a valores monetarios. No obstante, en esta lógica se deteriora la

capacidad de los sistemas de brindar otro tipo de SE como los de regulación y culturales que no encuentran, aun, un valor monetario directo. Por otro lado, el análisis desde el punto de vista de SE posibilita pensar al territorio “desde abajo”, habilidad fundamental para implementar una estrategia de desarrollo territorial rural exitosa. Sin embargo, no deben dejar de considerarse las interacciones con los procesos y dinámicas extraterritoriales

A su vez, este enfoque permite potenciar la funcionalidad del territorio al realizar en primera instancia un diagnóstico de la situación actual con respecto a los SEC que da cuenta de la frecuencia de interacciones económicas y sociales entre sus habitantes, sus organizaciones y sus empresas. Esta funcionalidad es capaz de constituirse a través de varios mecanismos, incluyendo mercados laborales, mercados de bienes o servicios, redes sociales, identidad étnica o cultural y también organización político-administrativa del Estado que crea espacios de servicios públicos (Berdegú et al., 2019).

La estructura agraria del partido de Tandil se caracteriza a grandes rasgos por la expulsión de población rural, la desaparición de establecimientos productivos, modificaciones en la distribución de la superficie de dichos establecimientos, el deterioro del chacarero como figura con conocimiento ecológico local y representante del paisaje rural y el auge de nuevos actores desterritorializados como los *pools* de siembra y los arrendatarios.

En este sentido, los CNA resultaron una herramienta de suma importancia para conocer la dinámica de la estructura agraria en el área de estudio y para observar cómo esta traduce fielmente a escala local procesos que operan a escala nacional y responden al modelo del agronegocio.

Los SEC, generalmente, han sido relegados o considerados inexpresables dentro del marco conceptual de SE que generalmente prioriza servicios de abastecimiento y regulación. Los vínculos no materiales entre las personas y los agroecosistemas se ignoran en gran medida, sin embargo, su integración en la gestión ambiental rural como actores inalienables e indispensables para potenciar el desarrollo rural es clave.

En este sentido, por un lado, la metodología desarrollada en este trabajo permitió a través de la combinación de datos derivados de los CNA en el IPSEC visibilizar la situación respecto a dichos servicios. Por otro lado, el diagnóstico del estado de provisión de los SEC mejora la comprensión de las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades y construye bases sólidas para la toma de decisiones y la gestión de los paisajes rurales y mantener altos niveles de suministro de SEC. Se destaca también el gran potencial de aplicación de la metodología



empleada en otras áreas de estudio, con distintas escalas de análisis, debido a la facilidad de la obtención de datos de los CNA.

---

## CAPÍTULO IX - PLANIFICACIÓN AMBIENTAL RURAL DE LAS UNIDADES AMBIENTALES DEL PARTIDO DE TANDIL

---

### **OBJETIVO ESPECÍFICO**

- IX. Definir estrategias de gestión para la planificación ambiental rural de las UA que contribuyan particularmente al sostenimiento de las funciones y servicios de los ecosistemas del Partido y a la sustentabilidad agroecológica de la región.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Los resultados obtenidos hasta aquí permiten determinar, mediante técnicas de teledetección y SIG y la aplicación de indicadores biofísicos y socioculturales, un diagnóstico de la provisión de determinados SE en las distintas unidades paisajísticas del Partido. Sin embargo se consideró fundamental también establecer estrategias potenciales básicas de gestión tendientes a la planificación ambiental del territorio rural.

Por consiguiente, a partir de la información adquirida sobre las externalidades ambientales negativas determinadas en los capítulos previos se proponen prácticas tendientes a restringir los principales impactos y colaboren en la transición hacia una agricultura sustentable.

La planificación ambiental y el ordenamiento del territorio, y en particular el rural, es un tema que ha ganado importancia en la discusión pública en la Argentina y en países vecinos (Paruelo et al., 2015; García-Collazo et al., 2013). Las definiciones del proceso comúnmente (Paruelo et al., 2015) enfatizan la existencia de un componente técnico, uno político y uno administrativo.

Lograr una visión sistémica y dialéctica de la realidad que evite reduccionismos requiere la integración de aspectos o componentes que parten de marcos conceptuales distintos y no comparten un mismo lenguaje. La propuesta de estrategias para la planificación ambiental rural fue construida entonces a partir de dos ejes o componentes principales de manera tal de obtener tácticas o prácticas “inteligentes, justas y útiles” (Paruelo, 2016).

### **1. Componente técnico y biofísico**

Este componente resulta indispensable para establecer los principales características agroecológicas, es decir, las necesidades primordiales de manejo y conservación (Sepulveda y López-Rodríguez, 2019). Este aspecto ha sido determinado en los capítulos previos a partir de la definición progresiva de:

- ~ Zonificación ambiental del territorio y Unidades Agroecológicas,
- ~ Unidades de agriculturización,
- ~ Unidades Ambientales,
- ~ Indicadores de SER (CB, CCSA, SOC, E), todos ellos conjugados en el
- ~ Índice de Provisión de Servicios Ecosistémicos de Regulación (IPSER).

### **2. Componente sociocultural-administrativo**

La incorporación de este eje para la formulación de las estrategias de gestión ambiental resulta fundamental puesto que la gestión del territorio se rige por las interacciones sociales entre las instituciones y las partes interesadas que interactúan en ecosistemas dinámicos en paisajes heterogéneos (Saarikoski et al., 2018; Ellis et al., 2019).

Para establecer estrategias factibles de planificación ambiental en el ámbito rural es imprescindible conocer cuáles son las condiciones institucionales y sociales a escala local. Este aspecto se asocia, por ejemplo, a las disputas de valores e intereses y a la percepción de los actores locales con respecto a las principales problemáticas asociadas al ámbito rural.

En este sentido, el reconocimiento de las principales redes de actores locales es de interés para comprender a los diferentes individuos o configuraciones de actores ya que los mismos impulsan e influyen iniciativas y esfuerzos locales de administración (Sayles y Baggio 2017). Este aspecto permite determinar qué acciones serán social, cultural o políticamente factibles, pertinentes, necesarias, apropiadas y eficaces (Bennett et al., 2018). En diferentes contextos culturales los tipos de acciones de administración que se considerarán apropiadas diferirán (Gavin et al. 2015). En consecuencia se planteó esquemáticamente en un mapa de actores sociales (**Figura 36**) los principales actores involucrados en la implementación de una propuesta de planificación ambiental. En él se expone, además, el grado de interés sobre los resultados de una intervención e influencia de cada actor en la comunidad. El mapa fue planteado en un esquema de arco iris para la clasificación de grupos de interés de acuerdo al grado en el que puedan afectar o ser afectados por un problema o una acción (Chevalier y Buckles 2008).

La información relativa a este componente fue obtenida a partir de:

- ~ Diagnóstico de la provisión de SE Culturales (IPSEC)
- ~ Asistencia a actividades y capacitaciones planteadas por la Coordinación de Agroecología del municipio
- ~ Participación y desarrollo de talleres y encuentros
- ~ Asistencia a sesiones del Honorable Consejo Deliberante en las que se trató la actualización de la Ordenanza de “Regulación de aplicaciones de Agroquímicos en el partido de Tandil”
- ~ Participación en audiencia pública destinada al debate sobre la mencionada Ordenanza

- ~ Entrevista con referentes municipales de la Secretaría de Asuntos Agrarios, la Coordinación de Agroecología, el INTA, productores agroecológicos referentes locales y responsables de Aapresid.

En base de los dos componentes descriptos se delinean estrategias y acciones a llevar a cabo tanto por parte de productores particulares como por instituciones públicas y privadas de la sociedad civil. Las prácticas planteadas se establecen de forma diferenciada ya que se considera que las prácticas individuales precisan de la orientación, contención e incentivo por parte de instituciones que les permitan comprender y acceder a la información relativa al diagnóstico de manera que puedan y analizar los problemas y oportunidades derivadas de las distintas formas de producir (Paruelo et al., 2014).

A modo de sumario se plantea en la última sección de este capítulo, en una tabla final (**Tabla 66**), cuáles son las UA principalmente beneficiadas y la provisión de qué SE resulta especialmente favorecida a partir de la aplicación de las diversas propuestas de planificación ambiental rural.

Particularmente, para el caso de los SE de regulación se han identificado aquellas unidades y servicios que reportarían beneficios de manera directa en base a las variaciones evidenciadas en el último período (2004 - 2019) obtenidas en el Capítulo VIII. Es decir, se reconocen como principales receptoras aquellas UA y SE que posean un escenario de vulnerabilidad más apremiante por su tendencia actual y posean categorías de provisión “deficientes” o “críticas”.

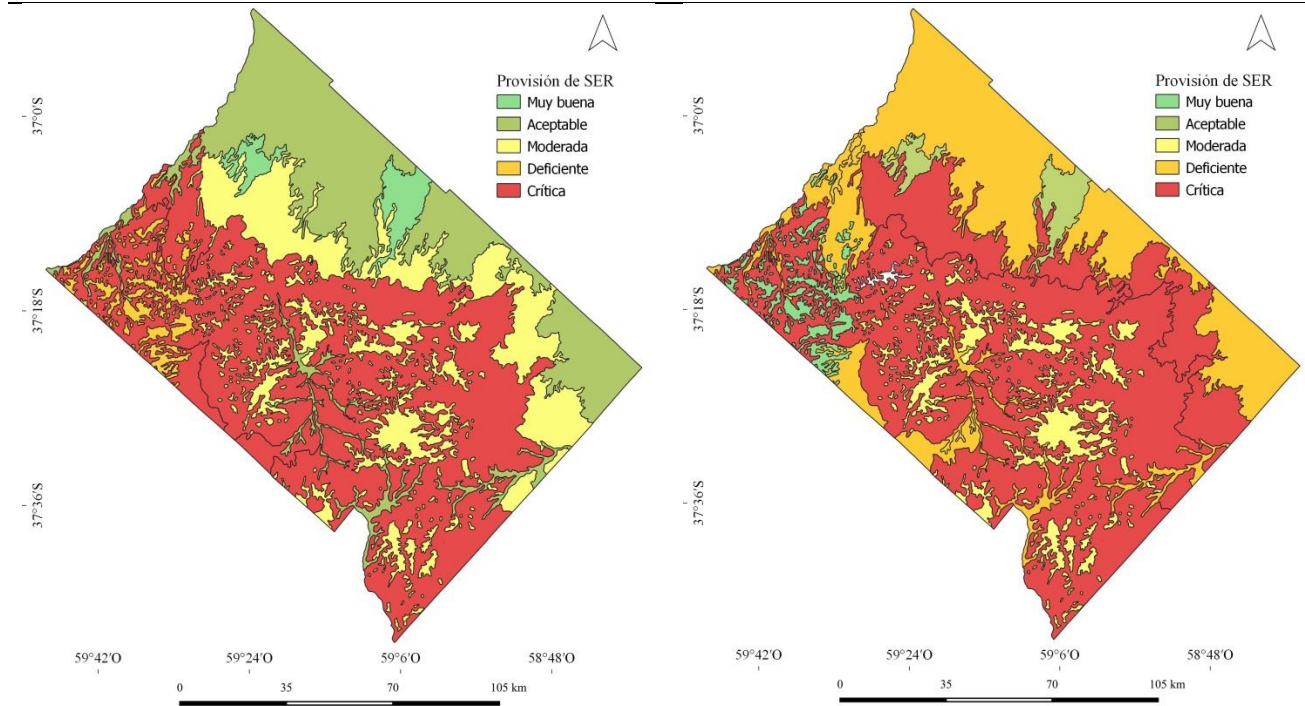
**Figura 36.** Diagrama metodológico.

- Zonificación ambiental del territorio y Unidades Agroecológicas
  - Unidades de agriculturización
  - Unidades Ambientales
- Indicadores: CB, CCSA, SOC, E
- Índice de Provisión de Servicios Ecosistémicos de Regulación (IPSER)

IPSER 1989 - 2004

IPSER 2004 - 2019

Componente técnico y biofísico



### Diagnóstico de la provisión de SE Culturales (IPSEC)

#### Identificación de principales actores sociales

Componente sociocultural-administrativo



Planteo de estrategias y prácticas para una Planificación Ambiental Rural

Referencias: Aapresid (Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa); AACREA (Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola); CASAFE (Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes); ONG'S (Junta vecinal por un ambiente saludable, BIOS).



## **RESULTADOS**

Considerando los dos componentes planteados en el apartado metodológico se listan, a continuación, las principales acciones a desarrollar en pos de una planificación ambiental del territorio rural. Las propuestas fueron divididas en dos grupos, uno referido a acciones a aplicar principalmente por parte de productores agropecuarios y otro grupo de estrategias destinadas especialmente a instituciones públicas del partido de Tandil. No obstante se sostiene que esta diferenciación en la práctica real es sutil ya que todas se vinculan y potencian mutuamente. A su vez, las estrategias descriptas para productores deben ser fomentadas e incentivadas desde instituciones locales tanto públicas como privadas.

### **Estrategias a desarrollar por productores agropecuarios**

#### **Manejo Integrado de Plagas, Malezas y Enfermedades (MIPMyE)**

La reducción en el uso de los plaguicidas es un aspecto central para alcanzar producciones más sostenibles. Es imperioso disminuir su uso para lo cual habría que basar el control de las plagas no solamente en la aplicación de productos fitosanitarios sino también en un manejo racional de estas. Al disminuir su uso, y por ende las cantidades aplicadas y su toxicidad, se obtiene a su vez una reducción de los costos económicos, los riesgos químicos y la vulnerabilidad de los sistemas dependientes de insumos externos.

Un sistema agrícola que aplica un Manejo Integrado utiliza al máximo los recursos y los mecanismos de regulación naturales y asegura a largo plazo, una agricultura viable. En ella los métodos biológicos, culturales, químicos son cuidadosamente elegidos y equilibrados teniendo en cuenta el ambiente, la rentabilidad y las exigencias sociales.

Este planteo, a diferencia del control de plagas, no pretende como objetivo último un cultivo totalmente libre de adversidades sino aplicar criterios de decisión que permitan mantener la población de especie no deseada en niveles compatibles con la producción y rendimiento económico de los cultivos de cosecha. Algunas de las cuestiones clave a considerar para su puesta en marcha son:

- ~ Identificación del problema (¿qué especie?).
- ~ Cuantificación del problema (abundancia de la especie no deseada) seguido por el monitoreo y registro del mismo.
- ~ Diagnóstico del cultivo y análisis de posibles interacciones con otros factores.

- ~ Determinar herramientas de decisión a corto y mediano plazo, por ejemplo, establecer cuáles serán los umbrales económicos de daño a considerar. En este punto se enfatiza la necesidad de plantear umbrales dinámicos de daño.

El MIPMyE, de acuerdo a Bedmar et al. (2002) y Satorre (2015) incluye controles basados en:

- ~ La elección de la fecha de siembra y el ciclo del cultivar, para que los cultivos crezcan y definan sus rendimientos cuando las adversidades bióticas estén ausentes o sean menos problemáticas.
- ~ Las rotaciones de cultivos para cortar el ciclo de plagas y enfermedades y combatir las malezas.
- ~ Los cultivos de cobertura o doble cultivos que demoren, reduzcan o compitan con el nacimiento de las malezas.
- ~ El control mecánico.
- ~ Los cultivares resistentes o tolerantes a insectos y enfermedades por mejoramiento tradicional y por biotecnologías.
- ~ Agroquímicos, en menor cantidad, menos tóxicos y persistentes.
- ~ Moléculas más específicas utilizadas en bajas dosis y productos derivados de sustancias naturales
- ~ La utilización de enemigos naturales y el control biológico.
- ~ La utilización de refugios y corredores biológicos.
- ~ La rotación de productos con distinto modo de acción para disminuir la aparición de especies resistentes.
- ~ La consideración de umbrales de daño que justifiquen tratamiento, el control de la adversidad biológica tendría que realizarse solo cuando el número de individuos de esta supere el umbral de daño económico que dependen del estado fisiológico del cultivo y de la plaga, del ambiente y de otras variables de índole económica.
- ~ El uso eficiente y responsable de los productos.

Luego, habiendo considerado los puntos planteados, el control de la adversidad biológica tendría que realizarse solo cuando el número de individuos de esta supere el umbral de daño económico. Estos umbrales dependen del estado fisiológico del cultivo y de la plaga, del ambiente y de otras variables de índole económica. Es decir, solo en caso de ser prescindible en el corto plazo debería considerarse la aplicación de fitosanitarios teniendo en cuenta para ello las BPA ya que la simple presencia de una plaga no implica que deba ser controlada.

## **Implementación de Buenas Prácticas Agrícolas en el uso de productos fitosanitarios**

En concordancia, y debido en gran medida a la demanda social, el Concejo Deliberante del municipio ha actualizado durante el año 2021 la Ordenanza de “Regulación de aplicaciones de agroquímicos” que tiene como objetivo priorizar la protección de la salud humana y de los ecosistemas, optimizando el manejo y la utilización de fitosanitarios, para evitar la contaminación del ambiente.

La incorporación de BPA no sólo permitirá la adaptación de las prácticas que posibiliten el cumplimiento de aspectos legales que entran en vigencia con la actualización de la ordenanza, sino que a la vez minimizarán riesgos asociados al empleo de productos fitosanitarios al disminuir la exposición a los mismos. De esta manera, llevar a cabo las estrategias planteadas reportaría beneficios ambientales entendidos como mejoras asociadas a aspectos económicos, sociales y ecológicos.

El documento de Pautas sobre aplicaciones de productos fitosanitarios en áreas periurbanas del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (2013) expresa que:

*“Debido al desarrollo creciente de los centros urbanos sobre áreas tradicionalmente agrícolas, los habitantes perciben las prácticas habituales de manejo y aplicación de fitosanitarios como un riesgo potencial para su salud y el ambiente. El clima de incertidumbre acerca de los impactos de los fitosanitarios a veces se convierte en un conflicto entre agricultores y pobladores de las zonas periurbanas”.*

A su vez, la implementación de estrategias tendientes a “hacer las cosas de la mejor forma posible” ayudará a desmitificar la figura de los productores agropecuarios como responsables absolutos de problemas ambientales que se les adjudican por emplear productos químicos (por ejemplo, contaminación de cursos de agua, del patrimonio de terceros, de alimentos, etc.). Esto posibilitará la mejor convivencia entre diferentes usos del suelo y actividades económicas.

Reconociendo que los productos fitosanitarios no son inocuos para la salud humana ni para el ambiente su uso responsable es indispensable para prevenir los posibles daños derivados de su uso y manejo. El riesgo asociado a su uso está dado en función del grado de toxicidad del producto formulado (peligrosidad del producto) y de la exposición al producto. Dicho riesgo puede ser gestionado y minimizado empleando BPA que fijen estrategias precisas que garanticen un adecuado uso de los productos fitosanitarios .

Se plasman a continuación una serie de acciones y recomendaciones para el productor de manera tal de disminuir el riesgo ambiental vinculado a la aplicación de productos fitosanitarios, cumplir con el marco legal impuesto por la Ordenanza, aumentar la eficiencia y disminuir costos de aplicación. En consecuencia, la puesta en práctica de estas acciones actuará sinérgicamente reportando beneficios en el ámbito productivo, económico, social y ecológico.

*Características y pasos a seguir para la implementación de BPA en el uso de Productos Fitosanitarios:*

- ~ El productor deberá disponer de un cuaderno de control y registro exhaustivo donde se describan y donde pueda rastrearse:
  - Información oficial de la empresa, asesor técnico, operarios y personal de apoyo.
  - Información de cada práctica y aplicación realizada en cada predio: listar todos los procedimientos de regulación del equipo entre los que se incluyen las condiciones ambientales al momento de aplicación (velocidad y orientación del viento, humedad relativa y temperatura), pastillas utilizadas, presión de trabajo, velocidad de avance, altura del botalón).
  - Descripción (realizada al inicio y final de cada campaña) del estado funcional y general del equipo de aplicación utilizado.
- ~ Resulta imprescindible contar con el asesoramiento de un Ingeniero Agrónomo matriculado y habilitado constatando el producto a utilizar, la dosis, formas y condiciones de aplicación. El productor deberá exigir las recetas de compra y de aplicación. En esta misma línea, conjuntamente decidirán la aplicación sobre la base del umbral de daño económico y/u otros criterios técnicos aceptados; nunca se efectuarán tratamientos preventivos o sin la presencia de plaga.
- ~ Respetar las ventanas de tratamiento que incluirán la valoración del estado del cultivo y el desarrollo de la plaga.
- ~ Hacer énfasis en la importancia de la intención en la búsqueda de información y métodos de trabajo tendientes a evitar a deriva, para ello considerar:
  - La eventual exposición a las gotas exoderivadas provenientes del caldo, cuyo riesgo es atenuado por la dilución del producto formulado.
  - La volatilidad del producto a aplicar.

- La compatibilidad de las mezclas consideradas (fitosanitarios, coadyuvantes y antideriva o fitosanitarios entre sí). No se realizarán mezclas de productos si no se está seguro de su compatibilidad o sin conocer el procedimiento de mezclado.
  - Las variables meteorológicas imperantes al momento de realizar la aplicación.
  - Regulación y calibración y la tecnología de aplicación utilizada.
- ~ Particularmente, con respecto a las variables meteorológicas, se deberá contemplar: la velocidad aparente y dirección del viento, humedad relativa, temperatura e inversión térmica de manera tal de minimizar los riesgos y las consecuencias de posibles accidentes. Estos factores deben ser considerados para evitar o reducir la evaporación del agua que conforma las gotas (Massaro, 2013):
- Al momento de la aplicación la dirección del viento será contraria a la zona sensible.
  - La deriva potencial puede compensarse con el tamaño de las gotas y/o un aditivo o coadyuvante que actúe como antievaporante.
  - Si la humedad relativa se encuentra por debajo del 50% y con temperaturas superiores a 25 grados centígrados no realizar pulverizaciones porque se favorece la evaporación de las gotas.
  - Incorporar en los trabajos de pulverización a campo como una herramienta más de trabajo la Tabla Psicrométrica, que resume el efecto evaporante del aire según su temperatura y humedad relativa, y por ende, las condiciones favorables para esta práctica.
- ~ El estado de uso del equipo, así como su regulación y calibración y la tecnología de aplicación utilizada se encuentra íntimamente relacionado con la eficiencia en el uso de un recurso de alto valor, por su costo, y por sus beneficios, minimizando los efectos colaterales por las pérdidas de productos (Massaro, 2013). En esta línea es necesario considerar:
- El tamaño de las gotas producidas en la pulverización de una boquilla hidráulica o pastilla está directamente relacionado con la deriva y sus efectos sobre organismos no blanco motivo por el cual se evitarán pulverizaciones con gotas muy finas, finas o medianas.
  - El tipo de boquilla hidráulica o pastilla: al emplear pastillas con aire inducido las gotas son arrastradas, aceleradas o succionadas en su trayectoria y llegan en forma directa hasta el blanco, especialmente a presiones bajas o medias.

- Trabajar con el botallón lo más bajo posible (50 cm. del objetivo) en la medida en que el sistema de estabilidad y las irregularidades del terreno lo permitan.
- ~ Exigir a aplicadores y operarios que obligatoriamente dispongan, por un lado, del carnet municipal otorgado por el registro de operarios y aplicadores. Por otro lado, los equipos que empleen deben estar inscriptos en el registro municipal de los equipos aplicadores aéreos y terrestres.
- ~ La maquinaria con la cual se realicen las aplicaciones debe contar con un sistema de posicionamiento GPS que permita la georreferenciación de la aplicación y brindar la información a la Secretaría de Producción del municipio. Este sistema, relaciona en forma automática las posiciones GPS de la maquinaria con los límites de cada lote y campo permitiendo prácticas de control y fiscalización por parte del municipio. De esta manera el productor colabora generando información esencial que permite la transparencia de las prácticas agrícolas.
- ~ Se llevará a cabo, al inicio de la campaña agrícola, una revisión técnica de equipos de aplicación terrestres de manera tal de asegurar el buen funcionamiento del equipo. Con el objetivo de detectar problemas o fallas en su funcionamiento la actividad de regulación de la maquina pulverizadora tendrá por finalidad evaluar el funcionamiento de los diferentes componentes de la misma. Particularmente y siguiendo las recomendaciones de Bogliani (2012), las verificaciones que se deberán realizar son las siguientes:
  - Verificación la velocidad real de avance del equipo.
  - Verificación del caudal de las pastillas pulverizadoras.
  - Cálculo del volumen aplicado por hectárea y/o el caudal de cada pastilla.
  - Evaluación de la cobertura en el campo, por ejemplo, empleando tarjetas hidrosensibles que permiten contar el número de impactos y apreciar el tamaño promedio y la cobertura de los mismos. A partir de esta información se puede caracterizar el tipo de aplicación y la cobertura que se está llevando a cabo y sugerir las modificaciones necesarias de acuerdo al tipo de cultivo, la velocidad de avance de la máquina y las condiciones climáticas imperantes en ese momento.
- ~ Generar un plan de emergencia en caso de ocurrencia de derrame de producto concentrado y tener siempre a mano equipos y materiales para contener y controlarlo. El mismo debe ser comunicarlo efectivamente a todo el personal involucrado.

- ~ Disponer en los límites del establecimiento barreras vivas o forestales anti deriva que contribuya como complemento o reaseguro a la zona de exclusión lindera y su uso colaboran con la absorción y filtro del aire, la dilución y degradación del producto. Para ello contemplar:
  - Permeabilidad de la cortina.
  - Alternar árboles de hojas caducas con hojas perennes.
  - Evitar cortinas macizas dado que en el invierno impiden que el viento circule permitiendo regular las temperaturas bajas.
  - Disponer tres líneas de especies de distinta magnitud, la línea más próxima a las viviendas deben ser árboles de primera magnitud (2 o más m), la línea intermedia se consideran especies de segunda magnitud (de 1 a 2 m de altura) y finalmente la última línea estará conformada por especies arbustivas de hasta 1m de altura.
  - Dependiendo de la especie elegida debe respetarse las distancias entre las plantas, considerando su desarrollo posterior.
  - El ancho mínimo de la barrera viva deberá ser de 5 metros.
- ~ Acciones a aplicar luego del tratamiento con productos fitosanitarios:
  - Realizar el triple lavado o lavado a presión y volcar ese líquido de enjuague en el tanque del equipo para descontaminar los envases vacíos de productos fitosanitarios e inutilizarlos (perforarlos para evitar su reutilización), minimizando los riesgos. En caso de existir un remanente de caldo en el tanque, el mismo debe ser aplicado en el cultivo objeto de tratamiento, en lo posible lo más alejado de las zonas sensibles. Alternativamente en caso de disponer de sistemas de degradación, se podrán utilizar los mismos para el tratamiento del remanente.
  - Almacenar los envases vacíos en depósito acondicionado para tal fin. Los envases vacíos deberán ser almacenados en lugares seguros, fuera del alcance de personas ajenas al proceso, y evitar todo contacto con alimentos u otros productos.
  - Trasladar los envases de fitosanitarios vacíos al Centro de Acopio Transitorio según Ley N° 27279 que garantice la disposición final segura.
  - Lavar la maquina pulverizadora y todos sus componentes en lugares en los cuáles no existan riesgos de que el líquido producto de este proceso contamine espejos, lechos, pozos de agua o bebederos de animales. Es preferible hacerlo en el lugar en donde se realizó el tratamiento o en un sitio especialmente destinado a este fin, donde se pueda

colectar el agua y teniendo especial recaudo de que el líquido no se derrame en espacios cercano a viviendas.

~ Considerar, como medida de mitigación de riesgos englobada en las Buenas Prácticas Agrícolas, la construcción de una Cama Biológica directa cerrada que permite tratar volúmenes moderados de líquido residual, producidos por derrames o desbordes de la pulverizadora y evitaría la contaminación puntual con estos productos, impidiendo que lleguen al suelo, a las napas y/o a los cursos de agua puesto que a única vía de pérdida de agua es a través de la evaporación (Elorza, 2020). Para ello:

- La superficie de la cama biológica debe tener, como mínimo, 1 metro más que el largo y el ancho de la máquina pulverizadora que se posará sobre la misma.
- Deben seguirse las recomendaciones para su construcción y mantenimiento como se expresan en la norma IRAM 29.561.
- La elección de los diferentes materiales de la composición de la biomezcla se realizará en función de la disponibilidad y el tipo de materiales presentes en la zona.
- La estructura debe estar impermeabilizada mediante algún revestimiento en las paredes laterales y fondo de la Cama con una membrana u otro material impermeable
- Deben cubrirse y protegerse de las lluvias, ya que pueden afectar el contenido de humedad de la biomezcla de manera considerable.
- Para su correcto funcionamiento deben crearse y mantenerse las condiciones adecuadas para el desarrollo de la actividad microbiana.

*Pasos extras a seguir para la implementación de BPA en el uso de productos fitosanitarios en agroecosistemas con ubicación en zona de amortiguamiento:*

Dadas las modificaciones en la Ordenanza el productor situado a poco más de 400 metros de la Circunscripción 1 del Partido debe adaptarse a las nuevas pautas decretadas en el documento (la zona de amortiguamiento se encuentra limitada por la zona de exclusión, 60 metros de la Circunscripción 1, y por 500 metros de distancia a la misma). Hasta entonces, el productor estaba ubicado en una zona sin regulaciones respecto al uso y aplicación de productos fitosanitarios.

No obstante, a partir de las actualizaciones su establecimiento se encuentra dentro de la zona de amortiguamiento, es decir, una zona de transición en la cual se mezclan actividades urbanas y agrícolas que compiten por el uso del mismo suelo. La Ordenanza entiende a las mismas como “aquellas áreas donde sólo se podrán aplicar productos agroquímicos banda



verde y/o azul (Clase III y Clase IV) excluyendo productos de mayor volatilidad y únicamente con equipos terrestres, bajo las pautas ambientales y tecnológicas adecuadas, respetando las Buenas Practicas Agropecuarias indicadas por SENASA, INTA y Ministerio de Producción y Trabajo-, u otro que lo reemplace indicadas en el anexo”. Por este motivo, resulta indispensable incorporar estrategias de producción y de aplicación de productos fitosanitarios que se adapten a dicha competencia y permita la convivencia de diferentes actividades sin que entren en conflicto como por ejemplo:

- ~ Debido a su localización en la zona de amortiguamiento el productor deberá informar las aplicaciones a la Autoridad de Aplicación, con 24 horas de anticipación, mediante la presentación de los datos de la empresa, el día de la aplicación, el o los productos que se aplicarán, su grado de toxicidad, dosis y cuál será la tecnología a utilizar, plano escrito con la ubicación del lote a tratar y la copia de la correspondiente receta agronómica.
- ~ El productor se compromete a realizar aplicaciones de fitosanitarios de menor riesgo al disminuir la toxicidad asociada a los productos empelados. Exclusivamente serán utilizados productos de clase toxicológica III y IV, adecuándose a la situación particular.
- ~ El productor, según lo estipulado por la actualización de la ordenanza, deberá desarrollar un plan de trabajo en el cual se incorporen nuevas alternativas para la aplicación como la aplicación selectiva o localizada de malezas (*weed-it*, *weedseeker*), pulverización antideriva y plaguicidas biológicos u otra tecnología similar que logre eficiencia en el en el manejo de los productos. Por consiguiente, al momento de aplicar herbicidas en lugar de realizar aplicaciones de cobertura total deberá considerar aplicaciones dirigidas en el entresurco del cultivo (por debajo de las plantas cultivadas) con herbicidas selectivos. Por un lado, la exoderiva podría ser considerada como cero, ya que las plantas del cultivo hacen de barreras contenedoras de las gotas. A su vez, la endoderiva sería notablemente reducida ya que las gotas van directamente sobre las malezas y no sobre el cultivo. Por otro lado, se podrían reducir las dosis de los herbicidas, ya que toda la pulverización llega directamente a las malezas (Massaro, 2013). De esta manera el productor puede ir adaptando sus prácticas productivas paulatinamente, incorporando nuevas estrategias y en un lapso no mayor a 1 año contar con el plan de trabajo requerido por el municipio.

### **Registro del historial y manejo del establecimiento agropecuario**

- ~ Mantener un apropiado sistema de registro, en el cual se evidencie el historial de producción y de las técnicas productivas empleadas pudiéndose revisar todas las

actividades realizadas (ejemplo: densidad de siembra, fecha de siembra, fecha de cosecha y rotación de cultivos, registro de aplicación de fertilizantes y fitosanitarios, de empleados permanentes y temporarios, entre otros).

- ~ Planificación de futuras prácticas de manejo en base a situaciones actuales y pasadas en relación a impactos percibidos, por ejemplo, a partir de la merma de productividad.
- ~ Empleo de sistema de referencia definida por ambientes.

### **Gestión del suelo**

- ~ Realizar rotaciones intensivas que mejoren el contenido de carbono y la estabilidad estructural y protejan al suelo de la erosión hídrica y eólica. Se aconsejan rotaciones fundamentalmente con gramíneas, cultivos de cobertura y siembra directa para reducir o revertir la degradación de los suelos ya que se alternarían especies de plantas con diversa habilidad para absorber los nutrientes del suelo. Por ejemplo, alternar cultivos que agotan el suelo con otros que contribuyen a mejorar sus fertilidades (por ejemplo gramíneas y leguminosas). La inclusión de gramíneas en las rotaciones incrementa los aportes de biomasa (rastros y raíces) de alta relación carbono/nitrógeno a los suelos mejorando su estructura y sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Studdert y Echeverría, 2002; Wright y Hons, 2005).
- ~ Realizar rotaciones de especies vegetales susceptibles a ciertas enfermedades y plagas con otras más resistentes colaborando así a disminuir la presión de selección y resistencia; planificar las secuencias teniendo en cuenta los efectos negativos o positivos de un cultivo sobre el siguiente.
- ~ Emplear de maquinaria apropiada.
- ~ Implementar agricultura por ambientes y manejo de cultivos basado en conocimientos ecofisiológicos con el objetivo de adecuar las rotaciones y el manejo del cultivo al ambiente que puede estar basado en los siguientes pasos:
  - Caracterización ambiental en función de la topografía, por ejemplo, las lomas poseen suelos someros y, por lo tanto, alta probabilidad de ocurrencia de deficiencias hídricas en verano, y un mayor periodo libre de heladas. Por el contrario, los bajos presentan un mayor riesgo de heladas y mayor disponibilidad de agua (incluso lotes con presencia de napa).
  - Diseño de potreros con características uniformes en base a la información previa.

- En función del conocimiento de cada ambiente y del funcionamiento de los cultivos, se determinará la secuencia de especies de la rotación de cada potrero y el manejo apropiado de cada cultivo. Como ejemplo de estas prácticas se describe la gestión realizada en un agroecosistema del partido de Tandil por Monzon et al., (2017) en el cual la productividad de una hectárea promedio se incrementó 23% lo que se traduce en aumentos de las eficiencias de uso de agua y nutrientes disponibles y de la energía fósil utilizada. Dicha gestión incluyó: la eliminación del cultivo de maíz de las lomas por su alta susceptibilidad a sequía en floración (en caso de decidir mantener este cultivo en dichos ambientes se deben seguir las recomendaciones previamente indicadas para áreas con alta probabilidad de ocurrencia de estrés hídrico en verano); la restricción del doble cultivo trigo-soja a las lomas en las que el mayor periodo libre de heladas permite dicha práctica; la utilización de soja de ciclo más corto en los bajos para adecuarse al menor periodo libre de heladas y aprovechar el alto potencial del ambiente, realizando los ajustes de densidad y espaciamiento entre hileras necesarios para asegurar altas coberturas; y la anticipación de la floración del trigo en las lomas en las cuales el riesgo de heladas en esa etapa es menor, lo que resulta en mayor potencial y estabilidad del rendimiento y posibilita la deseable anticipación de la siembra de soja de segunda.
- Laboreo perpendicular a la pendiente.
- Diseño de canales reglamentarios.

### **Disminuir la tendencia al monocultivo**

- ~ Implementación de sistemas de cultivos variados donde dos o más cultivos crecen juntos en la misma superficie de tierra durante parte o todo su ciclo incrementando así la diversidad específica y genética espacial del agroecosistema. La combinación puede darse a través de cultivos mezclados o al azar, cultivos en líneas intercaladas y cultivos en franjas (Guzmán Casado y Alonso Mielgo, 2008b; Flores y Sarandón, 2014). Este sistema no se reduce sólo a la mezcla de diferentes especies sino también a la combinación de cultivares de una misma especie (alternativa también factible para incrementar el rendimiento de los cultivos). La diversificación de cultivos (en espacio y tiempo) es

posible con rotaciones de cultivos y con cultivos de cobertura o “cultivos de servicio”<sup>12</sup> fundamentales para proporcionar un conjunto de SE como la protección del suelo asegurando que el suelo no quede desnudo entre dos cultivos (Gaba et al., 2015; Pinto et al., 2017).

### **Rediseño del agroecosistema e incorporación de corredores biológicos**

Esta propuesta implica la incorporación, integración y convivencia de diferentes subsistemas, por ejemplo agrícolas y ganaderos y/o de subsistemas agrícolas entre especies arbóreas y herbáceas, de ser posible a través de flujos de biomasa y nutrientes entre ambos sistemas. Los mencionados flujos se dan a partir de la rotación con pasturas, pastoreos de rastros para el control de malezas, compostaje y peleteado de residuos animales y la introducción de especies forrajeras en las rotaciones y los intercultivos, entre otros.

Los límites de las parcelas de cultivo pueden identificarse e incorporarse como potenciales corredores biológicos que permitirían mantener la biodiversidad y la provisión de SE ya que dichas áreas cumplen diversas funciones:

- De hábitat, si son empleados como áreas para sobrevivir y reproducirse.
- Refugio, en caso de que algunos organismos subsistan en el corredor sin reproducirse en él.
- Filtro, debido a que algunas especies pueden verse retenidas sirviendo como un medio de dispersión de enemigos naturales dentro del agroecosistema.
- Barrera, al generar que determinados organismos se vean imposibilitados de atravesarlos.
- Fuente, donde el corredor se constituye como un punto de origen de diversas especies hacia el medio que los rodea.

Esta práctica mejoraría la producción de biomasa incorporable al suelo, reduciría la erosión hídrica debido a su capacidad para disminuir el acarreo de sedimentos; mantendría la fertilidad; fomentaría el reciclaje de nutrientes, mejorando la conformación de materia orgánica; la retención de C, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la regulación del microclima y la disponibilidad de agua.

---

<sup>12</sup> Los cultivos de cobertura son cultivos sembrados entre dos cultivos de cosecha y no son incorporados al suelo, pastoreados o cosechados. Este tipo de cultivos tiene el objetivo de mejorar la fertilidad del suelo, la estabilidad estructural del suelo y la eficiencia en el uso del agua, entre otros beneficios.

Se reconoce que las estrategias diseñadas para ser llevadas a cabo por particulares conviven y se potencian si son implementadas de forma conjunta con otras propuestas desarrolladas por instituciones municipales o privadas con mayor alcance. Existe un sinergismo entre las distintas prácticas y técnicas implementadas, por ejemplo, el MIPMyE resulta favorecido por las rotaciones de cultivos, la reducción del control químico, la rotación de productos fitosanitarios, la presencia de cultivos de cobertura o de servicios que reducen la densidad de malezas.

### **Estrategias a desarrollar por instituciones municipales o privadas**

#### ***Asesoramiento y capacitación para la aplicación de BPA en el uso de fitosanitarios***

Esta iniciativa estaría enfocada en concientizar al productor y a sus empleados a cargo la importancia de considerar e implementar BPA haciendo énfasis en el concepto de que la utilización de los plaguicidas debería hacerse con la premisa de “maximizar sus beneficios y minimizar sus desventajas<sup>13</sup>”. Estarían dirigidas a interesados de la sociedad civil, habitantes de la zona del periurbano y habitantes de zonas rurales con el objetivo de desmitificar algunas de las implicancias negativas asociadas a todas las prácticas productivas, como por ejemplo las asociadas a la deriva en fumigaciones.

En este sentido, sería enriquecedor sumar en este punto prácticas a campo o jornadas de aplicaciones llevadas a cabo por instituciones como CASAFE durante las cuales se realizan aplicaciones terrestres y aéreas. En ella, se emplea exclusivamente agua en lugar del “caldo” conteniendo fitoterápicos. Los equipos se ajustan mediante una regulación antideriva. Se verifica tanto la efectividad de la aplicación como la deriva en superficie que pudiera haberse producido mediante el empleo de tarjetas hidrosensibles descripta en el sentido de la dirección del viento y perpendicular a la dirección de avance de los equipos pulverizadores. Las tarjetas se disponen cada 20 metros a lo largo de una línea imaginaria de 100 metros en el caso de las aplicaciones terrestres y de 200 metros en el de las aplicaciones aéreas. La deriva se establece mediante apreciación cualitativa considerando como tal a la presencia de al menos una gota de agua sobre la superficie de la tarjeta hidrosensible. Todo el procedimiento es monitoreado por un grupo de veedores elegidos al azar en el momento.

---

<sup>13</sup> ASAE S-572 Spray Tip Classification by Droplet Size, Developed by the Pest Control and Fertilizer Application Committee; approved by the Power and Machinery Division Standards Committee; adopted by ASAE PM41. Pág. 64-68.

La logística de aplicación demostradas en estas jornadas puede ser empleada para desarrollar protocolos locales de aplicación de manera tal de implementar en la práctica lo que se mostró durante el desarrollo de la jornada y en base a la experiencia acumulada. Se elaboraría así un protocolo de trabajo referido al uso de fitosanitarios en zonas de amortiguamiento, conciliando la minimización de los riesgos para la salud y el ambiente que supondría la exposición a estos productos, con la protección de los cultivos y sin menoscabo a la producción.

### ***Incorporación de la figura del fiscalizador para el control de aplicaciones de productos fitosanitarios***

Podría incorporarse la figura de fiscalizador o veedor municipal encargado de controlar la aplicación de productos fitosanitarios en establecimientos productivos seleccionados de manera arbitraria. Las visitas se realizarían con mayor frecuencia en zonas de amortiguamiento por ser zonas en las cuales las actividades productivas entran en conflicto con mayor frecuencia.

### ***Programas de fomento e incentivos para implementación de camas biológicas***

En el partido la Ordenanza de Regulación de aplicaciones de agroquímicos prohíbe el lavado o vaciado de remanente de aplicación en los cursos de agua como así también el vaciado de remanentes en banquinas, caminos, rutas, zonas bajas o humedales y pastizales naturales de áreas protegidas. En esta línea, esta propuesta podría implicar beneficios ya que no solo evita prácticas prohibidas “tranqueras hacia fuera” sino que mejora la situación con respecto a lo que sucede dentro de los establecimientos productivos “tranqueras adentro”.

Las Camas Biológicas son una tecnología sustentable y biológicamente activa que retiene y degrada microbiológicamente, y de manera efectiva, los excedentes de productos fitosanitarios, tanto solos como en mezclas (Torstensson y Castillo 1997, Castillo et al. 2001, Torstensson 2000, Fogg et al. 2003, Fogg et al. 2004, Vischetti et al. 2004, Castillo y Torstensson 2007, Vischetti et al. 2008, Niels et al. 2006). La acción degradadora se realiza en la biomezcla componente que permite la retención y posterior biodegradación de los productos fitosanitarios reduciendo su concentración debido principalmente a la degradación por los microorganismos presentes en ella (hongos de pudrición blanca u hongos degradadores de lignina) (Norma IRAM 29.561/2020).

Esta técnica puede englobarse dentro de un marco general de medidas de mitigación de riesgos como las BPA ya que evitan la contaminación puntual con productos químicos impidiendo que lleguen al suelo, a las napas y/o a los cursos de agua. Son una solución práctica para el manejo de derrames y excedentes de mezcla sin aplicar, y para enjuagar y lavar tanto los equipos de aspersión como los equipos de protección personal y otros implementos utilizados en la aplicación de estos productos.

De manera tal de fomentar su aplicación, desde instituciones municipales y estatales, pueden brindarse capacitaciones para su construcción y empleo. También podrían brindarse servicios de asesoramiento para indicar a los productores qué tipo de cama biológica le conviene adoptar de acuerdo a las características propias del agroecosistema que maneje y de la cantidad de aplicaciones que efectúe. Los tipos de camas biológicas que se diferencian básicamente por el lugar donde ocurre la descarga de los líquidos residuales desde la pulverizadora y, adicionalmente, por la presencia de sistemas de recirculación de líquidos son:

~ *Camas Biológicas Directas:*

- Cerradas o sin recirculación: son aquellas en las que la pulverizadora se posa sobre la cama biológica y los derrames, desbordes, goteos y/o líquidos residuales se vuelcan y quedan retenidos directamente en la biomezcla, no conteniendo un sistema de recirculación. Permiten tratar volúmenes moderados de líquido residual, producidos por derrames o desbordes de la pulverizadora, ya que la capacidad de retención está limitada por su volumen, al no contar con un sistema de recirculación. Una variante más pequeña de la cama biológica cerrada es la mesa biológica cuya diferencia con la variante anterior es que el volumen de biomezcla que contienen es menor. Resultaría funcional en aquellos sistemas productivos con pequeñas superficies y donde se aplica fitosanitarios con mochilas pulverizadoras (sobre barriles de plástico de 200 lts, por ejemplo):
- Abiertas o con recirculación: tienen una salida en la parte más baja de la cama biológica alimentando un sistema de recirculación. Este sistema deriva los líquidos residuales excedentes captados a un tanque de almacenaje y luego, cuando la pulverizadora no está estacionada sobre la Cama Biológica, asperja los líquidos almacenados en el tanque sobre la biomezcla. Este tipo de Cama Biológica permite el procesamiento de un mayor volumen de líquidos residuales.

~ *Camas Biológicas Indirectas:* son aquellas en las que la pulverizadora no se estaciona sobre la cama biológica sino que lo hace sobre una plataforma o playón impermeable donde caen los líquidos residuales producto de derrames y/o lavado interno y/o externo de la máquina. Estas plataformas deben tener una pendiente tal que conduzcan los líquidos hacia el punto de recolección y contener un sócalo en todo el borde o una rejilla de recolección en todo el contorno de la plataforma. De esta manera, todo el líquido será recolectado y, mediante un sistema de drenaje, será almacenado en un tanque para luego ser asperjado o regado de manera homogénea sobre la biomezcla, la cual está ubicada en un lugar separado del punto de descarga de la pulverizadora.

### ***Sistema de Monitoreo Satelital***

Esta acción apunta a que aquellos equipos de aplicación que operen en las zonas de exclusión y amortiguamiento cuenten con tecnología instalada para la identificación de su recorrido en el partido mediante georreferenciación, seguimiento de trayectoria, caja negra o cualquier tecnología similar que genere registro a resguardo de ubicación espacial al momento de la aplicación del producto. El Municipio podrá solicitar en el momento de control e inspección la información necesaria para constatar la trayectoria del equipo de aplicación. La Autoridad de Aplicación podrá contar con un sistema de rastreo – monitoreo de equipamientos que provea información para el control de los recorridos y aplicaciones.

### ***Certificación local para la acreditación de prácticas hacia una agricultura sustentable***

El objetivo de esta acción es identificar a aquellos productores que participen activamente de los diferentes programas propuestos a nivel municipal y que verifiquen fehacientemente la aplicación de los conocimientos adquiridos en sus prácticas productivas. En Tandil se asocia a la mayoría de los productores con la modalidad de agricultura “convencional” el número de productores agroecológicos se encuentra en aumento. Por consiguiente, sería favorable generar dos tipos de certificaciones ya que las BPA a implementar por parte de cada uno de ellos difieren notoriamente. El objetivo de la certificación no es castigar a todos los productores convencionales, sino dentro de este grupo premiar o hacer énfasis en aquellos que demuestren llevar a cabo prácticas productivas de forma responsable y eficiente progresivamente. Esta estrategia funcionaría, a su vez, como disparadora para el aprendizaje tanto de consumidores (trazabilidad de los productos, calidad, información nutricional,



técnicas de producción) como productores (fomento de marcas, apoyo mutuo para encarar limitaciones comunes).

### ***Promoción de la Mesa de las Carnes y de la Agroecología (para conservar su actividad en PS y S)***

De acuerdo a entrevistas con miembros del Municipio y colaboradores técnicos se han identificado estrategias incipientes para la construcción de una “Mesa de las Carnes”. Por consiguiente esta acción propone continuar generando bases sólidas para el desarrollo y concreción de estos espacios de diálogo que poseen el potencial de implementar prácticas sustentables por fuera de los mecanismos convencionales.

Esta Mesa fomentaría la ganadería regenerativa, un sistema que consiste en un abordaje integral (holístico) basado en imitar a la naturaleza, que permite restablecer el equilibrio de suelos y pastizales, devolver biodiversidad a los ecosistemas, aumentar la rentabilidad con bajo nivel de insumos, mejorar el bienestar animal y la calidad de la carne, promover el arraigo rural y mitigar el cambio climático ya que el secuestro de carbono es la variable ambiental que probablemente esté más presente en muchos sitios de intercambio ganadero (Devesa y Cali, 2021).

A su vez se extiende esta estrategia al ámbito de la agroecología al formular la “Mesa de la Agroecología” enfocada en agroecosistemas situados en zonas de periurbano, es decir, zonas de exclusión y amortiguamiento de fumigaciones.

Dichas Mesas funcionarían como espacios de interacción concernientes al conjunto de actores (productores, transformadores, elaboradores, distribuidores, consumidores, etc.) para la construcción de Sistemas de Certificación Calidad con el objetivo de materializar una calidad diferencial y medirla a través de una serie de variables objetivables (características físicas, químicas, cumplimiento de requisitos y/o protocolos, etc.). A su vez, los mencionados de certificación de calidad se desempeñarían como un canal de pago por servicios ambientales en la medida que generen señales para que los consumidores perciban atributos distintivos entre productos similares o que satisfacen (aparentemente) una misma necesidad y propulsen canales de comercialización alternativos.

### ***Promoción de escuelas rurales como espacios intercambio***

Esta acción está orientada a destacar a las escuelas rurales como puntos de encuentro e intercambio. Por un lado, serían la locación donde se podrían llevar a cabo las diferentes

capacitaciones descritas con anterioridad. Por otro lado, entorno a ellas podrían desarrollarse ferias de productores locales de forma periódica que actuarían como espacios en los cuales estarían presentes productos que obtuvieran los sellos de calidad planteados. Las mismas convocarían a actores locales con diferentes intereses y puntos de vista fomentando así el intercambio de saberes y nuevas prácticas adoptadas junto con sus resultados. En esta misma línea, gestionar un programa de “Vías o caminos pecuarios” favorecería aún más esta iniciativa. Su implementación partiría de planes de restauración y conservación de los hábitats naturales situados en cercanía a caminos rurales, por ejemplo, aquellas áreas destinadas a la banquina. Es decir, mejorando el entorno ecológico estos caminos serían ejes vertebradores del territorio y elementos fundamentales de conectividad social, económica y cultural.

***Formación de equipos de trabajo interdisciplinarios con orientación a obtención de resultados de campo en conjunto.***

Formar grupos de trabajo interdisciplinarios conformados por miembros del Municipio, productores agroecológicos o en transición, productores convencionales, asociaciones representantes de cada uno de ellos y asesores técnicos que tengan como objetivo obtener resultados en conjunto sobre diferentes experiencias productivas en relación a la provisión de SE de regulación en los agroecosistemas. En conjunto, se plantearía la aplicación de diferentes indicadores ambientales a lo largo del plan productivo, por ejemplo, mediante la metodología “Directrices de Evaluación de la Sostenibilidad de los Sistemas Alimentarios y Agrícolas (SAFA)”. Dicha metodología fue desarrollada para evaluar el impacto de las operaciones alimentarias y agrícolas en el ambiente y establece una referencia internacional para evaluar las compensaciones y sinergias entre las cuatro dimensiones de la sostenibilidad. Podrían compararse sistemas en los cuales la intensificación este dada por el uso de tecnologías de insumos externos con sistemas en los cuales la intensificación este dada por tecnologías de procesos. No sólo se considerarían aspectos ecológicos sino también productivos y económicos.

***Creación de un Observatorio Ambiental***

Establecer una instancia u órgano gestor de carácter técnico, político, estratégico y operativo resulta fundamental para guiar y coordinar la ejecución de las estrategias planteadas. Dicho órgano será el encargado de operativizar a partir de la definición de medidas normativas,

programas, planes y proyectos qué se puede y qué no se puede hacer, dónde y cuándo, cómo, quién controla y quién financia.

### **Unidades Ambientales y SE receptores de las estrategias**

Finalmente, la **Tabla 66** pretende sintetizar esquemáticamente aquellas UA y SE receptores de las propuestas descritas en este capítulo. En particular, para el caso de los SE de regulación, se considera que la puesta en práctica de una de las acciones repercutiría indirectamente en todas las UA y generaría sinergias entre la provisión de SE. Por ejemplo, la estrategia relacionada a la aplicación de BPA en el uso de fitosanitarios repercutiría en todas las UA independientemente de la intensidad del proceso de agriculturización que las caracterice. Sin embargo, se han identificado aquellas unidades y servicios que reportarían beneficios de manera directa en base a las variaciones evidenciadas en el último período (2004 - 2019) obtenidas en el capítulo VIII. Es decir, se reconocen como principales receptoras aquellas UA y SE que posean un escenario de vulnerabilidad más apremiante por su tendencia actual.

En relación a los SEC se considera que resultan propiciados a partir de la incorporación de cada una de las estrategias del programa de planificación ambiental. La justificación de ello reside en su transversalidad y en que estos servicios no son analizados en escala de UA sino a escala del partido en su totalidad.

La **Tabla 66** exhibe que las UA1, 2, 3, 4 y 6 serían las principales receptoras de beneficios respecto a la provisión de SER. Por el contrario, las UA5, 7 y 8 no resultarían directamente favorecidas por la puesta en marcha de la gestión ambiental del territorio rural. De hecho, en el capítulo VIII se observa éstas UA son las que exhiben matrices de agricultura sostenible asociadas a mejores condiciones en la provisión de SER. No obstante, se destaca nuevamente que el desarrollo de una planificación ambiental rural indirectamente repercutiría en la provisión de todos los SE.

**Tabla 66.** Unidades Ambientales y SE receptores de las estrategias a implementar particular y municipalmente.

| Estrategias  |                     | Unidades Ambientales y SE receptores de las estrategias |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |
|--------------|---------------------|---------------------------------------------------------|------|-----|----|----|----|------|-----|----|----|----|------|-----|----|----|----|------|-----|----|----|
|              |                     | 1                                                       |      |     |    |    | 2  |      |     |    |    | 3  |      |     |    |    | 4  |      |     |    |    |
|              |                     | CB                                                      | CCSA | SOC | CE | CU | CB | CCSA | SOC | CE | CU | CB | CCSA | SOC | CE | CU | CB | CCSA | SOC | CE | CU |
| Particulares | BPAF*               |                                                         |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |
|              | Registros*          |                                                         |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |
|              | Gestión del suelo   |                                                         |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |
|              | Policultivos*       |                                                         |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |
|              | MIPMyE*             |                                                         |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |
|              | Rediseño*           |                                                         |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |
| Municipales  | Capacitaciones BPA* |                                                         |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |
|              | Fiscalizador*       |                                                         |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |
|              | Camas biológicas*   |                                                         |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |
|              | SMT*                |                                                         |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |
|              | Certificaciones*    |                                                         |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |
|              | Mesas*              |                                                         |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |
|              | Escuelas rurales*   |                                                         |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |
|              | Equipos*            |                                                         |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |    |      |     |    |    |

Referencias: BPAF (Implementación de BPA en el uso de Productos Fitosanitarios); Registros (Registro del historial y manejo del establecimiento agropecuario); Policultivos (Disminuir la tendencia al monocultivo); MIPMyE (Manejo Integrado de Plagas, Malezas y Enfermedades); Rediseño (Rediseño del agroecosistema e incorporación de corredores biológicos); Capacitaciones BPA (Asesoramiento y capacitación para la aplicación de BPA en el uso de fitosanitarios); Fiscalizador (Incorporación de la figura del fiscalizador para el control de aplicaciones de productos fitosanitarios); Camas biológicas (Programas de fomento e incentivos para implementación de camas biológicas); SMT (Sistema de Monitoreo Satelital); Certificaciones (Certificación local para la acreditación de prácticas hacia una agricultura sustentable); Mesas (Promoción de la Mesa de las Carnes y de la Agroecología); Escuelas rurales (Promoción de escuelas rurales como espacios intercambio); Equipos (Formación de equipos de trabajo interdisciplinarios con orientación a obtención de resultados de campo en conjunto.).

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos exponen la necesidad de la incorporación de prácticas productivas conscientes de las externalidades negativas que pudieran ocasionar y tiendan progresivamente a la sustentabilidad de los agroecosistemas (Sarandón et al., 2006). Las estrategias fueron desarrolladas con el objetivo de promover la provisión de SE de regulación y culturales y de esta manera modificar la tendencia a su disminución en un escenario agroproductivo que potencia exclusivamente la provisión de servicios de abastecimiento comercializables (Balvanera et al. 2017).

Si bien se plantean estrategias destinadas particularmente a productores o a desarrollar desde el ámbito municipal estas medidas deben llevarse a cabo paralela y conjuntamente de manera tal de lograr sinergismos entre las acciones. Estas prácticas deberían ser incentivadas en el marco de una planificación ambiental del medio rural por parte del Municipio. Las acciones propuestas no pretenden un cambio radical y utópico sino un cambio gradual y verdaderamente factible considerando las características ecológicas, productivas y sociales de los agroecosistemas del área de estudio. Por consiguiente, las estrategias listadas en este capítulo pueden ser concebidas como los primeros pasos de una progresiva transformación a sistemas más sostenibles. Los principios que las caracterizan son el incremento en la eficiencia de las prácticas convencionales, la sustitución de prácticas e insumos convencionales por prácticas alternativas sostenibles, el rediseño del agroecosistema y, finalmente, la promoción de un cambio de ética y de valores (Marasas et al., 2012).

De hecho, las BPA no son consideradas como una solución final a los impactos originados por el avance de la agricultura sino importantes para la transición. No se plantea la eliminación o prohibición del uso de fitosanitarios ya que la misma sería, dado el panorama actual, utópica. Por ello se propone la continuidad de su uso pero de forma responsable y mejorando su eficiencia a través de la implementación de las BPA y del Manejo Integrado de Plagas. Así se fomenta el cuidado del ambiente, la seguridad de las personas y animales, la inocuidad y seguridad alimentaria. El peligro inherente a las sustancias químicas sigue estando presente pero al disminuir la exposición se reduce paralelamente el riesgo.

Idealmente la transición debería comenzar por el rediseño del agroecosistema seguido por el cambio en las prácticas de manejo. Sin embargo, la mayor parte de los productores encuentran más difícil rediseñar el sistema que adoptar gradualmente nuevas prácticas. Este es especialmente el caso cuando se trabaja con productores convencionales, con intenciones

firmes de hacer sus sistemas cada vez más sostenibles, pero con extrema cautela por aversión al riesgo.

Como se mencionó la elección de las medidas descriptas se basa en las particularidades de los agroecosistemas del partido de Tandil distribuidos en diversos paisajes; en el diagnóstico de la provisión de SER de sus UA y de SEC; pero también en recomendaciones de referentes y evidencias de experiencias previas.

La efectividad de los manejos contemplados dentro de las BPA han sido demostradas mediante experiencias prácticas llevadas a cabo en diferentes regiones agroecológicas de nuestro país, en variadas condiciones meteorológicas y tecnológicas por CASAFE y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. En ellas se ha demostrado que la deriva en superficie promedió los 9,7 metros en las aplicaciones terrestres y los 45 metros en las aplicaciones aéreas. De la evaluación de los resultados obtenidos se desprende que la adopción de Buenas Prácticas de Aplicación de Fitosanitarios, lo cual supone la combinación de conocimiento, tecnología y responsabilidad profesional, minimiza la ocurrencia de derivas. A su vez, trabajos como los desarrollados por Etiennot y Piazza, 2010 y Costanzo et al., 2019 engloban todos los conocimientos actuales y disponibles técnico científicos con respecto a las aplicaciones de agroquímicos considerando los diversos factores que contribuyen a un eficiente y eficaz trabajo agrícola.

En relación a la gestión del suelo la difundida técnica de siembra directa ha evitado que se siga perdiendo materia orgánica de los suelos aunque no es seguro que promueva su recuperación (Steinbach y Alvarez, 2006; Alvarez et al., 2014). Es por esto que para que ello suceda se han listado otras prácticas para combinar como rotaciones más intensivas que recurran a la inclusión de cultivos como el trigo y el maíz y el uso de coberturas invernales. Las mencionadas prácticas constituyen las buenas prácticas de manejo mencionadas por las Guías Voluntarias de Manejo Sustentable de Suelos, recientemente adoptadas por la FAO (2017) basada en tres principios: i) mínimo disturbio físico del suelo, ii) suelo permanente mente cubierto con material vegetal vivo o muerto, y iii) diversificación de cultivos (rotaciones de cultivos anuales y con pasturas, cultivos cobertura, etc.). Estos principios están orientados a proteger el suelo de la erosión y a mejorar el contenido de materia orgánica, la fertilidad, la estabilidad de los agregados, la capacidad de retención hídrica, la infiltración, la aireación, la dinámica de la biología de los suelos y el acoplamiento de los ciclos de carbono y nitrógeno (Studdert y Echeverría, 2002; Rosegrant et al., 2014). Se destacan, también,

algunas ventajas derivadas de la incorporación de la agricultura de precisión que permite medir la variabilidad temporal y la variabilidad espacial, permite hacer un seguimiento a las zonas de cultivo donde la producción no es la óptima y logra un uso más adecuado de insumos reduciendo la contaminación por el uso excesivo de estos debido a la posibilidad de aplicar localizadamente los productos (Lemaire et al., 2014).

Con respecto al establecimiento de policultivos las ventajas se verifican no solo en relación al menor riesgo de pérdida de la cosecha respecto a los monocultivos (García González et al., 2010), sino también a que la diversidad funcional y la redundancia funcional de especies amortiguan el stress y permiten la recuperación y la adaptación ante el cambio y provee una mayor eficiencia en el uso de los recursos (Sarandón y Chamorro, 2003). Una mayor biodiversidad en sus diferentes dimensiones (espaciales, temporales, estructurales) soporta una mayor provisión de servicios ecosistémicos de gran importancia para la sociedad (Stupino et al., 2014). Sin embargo, se reconoce que aumentar la biodiversidad generalmente implica aumentar la complejidad del manejo del sistema.

A pesar del desarrollo de herbicidas, las poblaciones de malezas no fueron reducidas al ritmo esperado y, el uso continuado condujo a la aparición de biotipos de malezas resistentes y, en algunos casos, al aumento del riesgo de contaminación. Frente a esta problemática, la idea tradicional de “control” de malezas fue paulatinamente reemplazada por la de “manejo” de malezas (Bedmar et al, 2002). A partir de este escenario es que se justifica la aplicación de MIPMyE en los agroecosistemas del Partido considerando prácticas que resulten duraderas, ambiental, toxicológica y económicamente justificables que previenen el daño de las plagas principalmente mediante el uso de factores naturales que limitan el crecimiento de la población de plagas y el desarrollo de enfermedades, y que recurren solo si es necesario a otras prácticas, preferiblemente no químicas (Murray y Taylor, 2007). Numerosos son los trabajos y experiencias que exponen prácticas asociadas al MIPMyE y reconocen la importancia del conocimiento de la dinámica poblacional y de la estructura funcional de las plagas, de las condiciones predisponentes para su aparición y de cómo son afectadas por el sistema de producción (Sbarbati Nudelman, 2011; Jaime et al, 2013; Satorre, 2015; Surendra, 2019).

La propuesta de rediseño del agroecosistema y la incorporación de corredores biológicos se suma a las estrategias de gestión de suelos generando sinergias positivas, por ejemplo, a partir de adecuadas rotaciones o producciones integradas de agricultura y ganadería (Franzluebbers

et al., 2014; Peyraud et al., 2014): implementación de sistemas mixtos que alternan un periodo de cultivos (durante el cual disminuye el contenido total y en mayor medida la fracción lábil del carbono del suelo) con un periodo de pasturas (que permite recomponer dichas formas de carbono es una alternativa de manejo factible) (Studdert et al., 1997; Aapresid, 2016).

La incorporación de corredores biológicos o cercos vivos (constituidos por varias hileras de vegetación, preferentemente nativas, y con estratificación fuerte (León Sicard, 2014)) se traduciría en (Altieri y Nicholls, 2013; Gliessman et al., 2007; Flores y Sarandón, 2014; Paleólogos y Flores, 2014):

- aumento de la conectividad entre diferentes parches o fragmentos;
- reducción de los ataques de plagas ya que proveen a los enemigos naturales de refugio, hábitat y alimento; y, en consecuencia en una,
- disminución de la necesidad de emplear plaguicidas sintéticos;
- reducción de la escorrentía previniendo el acarreo de sedimentos (junto a plaguicidas sintéticos y fertilizantes) hacia cuerpos de agua superficiales por medio de procesos erosivos;
- reducción de la contaminación y la pérdida de nutrientes beneficiosos para el suelo y las plantas;
- mejoramiento de la estructura del suelo;
- reducción de la dispersión aérea de plaguicidas hacia las áreas adyacentes.

En síntesis los beneficios se verían reportados en la provisión de todos los SE de regulación analizados en este trabajo (CB, CCSA, SOC y E).

Numerosos también son los estudios y experiencias que han evaluado la degradación de distintos tipos de productos fitosanitarios en camas biológicas y obtuvieron valores elevados de degradación para todos ellos, tanto herbicidas, como insecticidas y hasta fungicidas en una cama biológica siendo capaces de reducir la concentración de los fitosanitarios a niveles muy bajos, hasta, en algunos casos, eliminarlos completamente (Fogg et al. 2004, Lescano et al., 2018, Góngora Echeverría et al., 2017, Papazlatani, 2019). Por ejemplo, Buljan y Astorga (2012) han realizado, en Mendoza, un estudio de degradación de fitosanitarios organoclorados y fosforados empleando distintos tipos de biomezclas y obtuvieron que los productos fosforados estudiados tuvieron un alto porcentaje de degradación (> 80 %) y los clorados del 70%. Otro ejemplo exitoso es el realizado en el año 2018 por Lescano et al. quienes evaluaron la degradación del principio activo glifosato y de su metabolito AMPA, en distintas



biomezclas y comparándolas con suelo solo del lugar que había sido expuesto, también, al glifosato. En este estudio se observa cómo el glifosato se degrada casi en su totalidad a los 25 días para algunas biomezclas y a los 63 días la mayoría de las biomezclas alcanzaron ese nivel de degradación, mientras que su metabolito (AMPA) muestra un alto nivel de degradación, aunque menor al del glifosato.

Ante la situación descripta, en este caso para las diversas unidades paisajísticas del partido de Tandil, Andrade (2020) plantea que se deberían desarrollar instrumentos de certificación de la agricultura y sellos de producción sustentable como así también normalizar y unificar legislaciones y regulaciones. Las certificaciones funcionarían como instrumentos de gestión con un triple propósito:

- favorecería al productor porque facilitaría la conquista de nuevos mercados y generarían competitividad comercial;
- favorecería al consumidor debido a que garantiza la inocuidad en el producto de consumo; y simultáneamente, y
- favorecería la provisión de SE debido a que permiten la detección y corrección de los impactos desfavorables de las actividades agroindustriales (Martínez Ortiz, 2007).

De acuerdo con Viglizzo et al. (2007), las presiones ejercidas sobre los países para que mejoren su sistema de gestión ambiental, aumentarán en las próximas décadas bajo la forma de sanciones comerciales (barreras arancelarias, regulaciones orientadas) y premios (apertura de mercados específicos, pagos por servicios ambientales, tratamientos comerciales preferenciales). Paralelamente, los controles de calidad ambiental en se globalizarán y se tornarán más rigurosos. Como ejemplo de certificación en el ámbito agropecuario se encuentran las GLOBALG.A.P. que establecen referenciales voluntarios de BPA que, mediante su implementación y cumplimiento, permite certificar productos agrícolas y se ha establecido en el mercado global como referente clave en cuanto a las BPA (abarca todo el proceso de producción del producto, que puede partir de la elección de una semilla, atravesando todo el proceso de producción para llegar a la recolección). Otro ejemplo es la certificación ARGENCERT que garantiza la Calidad Orgánica de un producto, verificando el cumplimiento de la Norma de Producción Orgánica que corresponda según el mercado destino de dicho producto (certifica una amplia gama de productos: frutas y hortalizas frescas, granos y cereales, panificados, aceites, jugos concentrados, vino, mermeladas, miel, carne vacuna y ovina, aves, hierbas aromáticas y medicinales, productos silvestres, té, yerba mate y

textiles, etc., desarrollando normas específicas para cada caso, acordes con las exigencias nacionales e internacionales).

El listado de estrategias dirigidas específicamente a ser implementadas e incentivadas desde instituciones municipales poseen como pilares principales el asesoramiento y capacitación de productores y consumidores, el fomento e incentivo para la implementación de prácticas alternativas y la promoción de espacios interdisciplinarios de intercambio. Su planteo se argumenta en la necesidad de garantizar una innovación institucional que acompañe en una transición gradual a los productores, con regulaciones sobre el tipo de pesticidas a utilizar, por ejemplo, y demandas de mercado que motive mayores transformaciones en pos de una agricultura sustentable.

Este proceso depende de variables estructurales que caracterizan a los productores y por consiguiente será moldeado por las acciones llevadas a cabo por instituciones públicas: el resultado del proceso transicional transcurre en forma dinámica en tanto que las decisiones que toman los productores están influenciadas por múltiples factores: intereses individuales, relaciones dentro del grupo, objetivos, perspectivas. A su vez, éstos se ven influenciados por políticas, programas y experiencias propuestas “desde fuera” (Souza Casadinho, 2018).

Este marco permitiría seducir a productores a incorporar prácticas agrícolas diferentes a través de herramientas que garanticen la competitividad de lo producido. En consecuencia, se pondrían en marcha un conjunto de principios técnicos e institucionales para sostener la producción agrícola y los servicios ecosistémicos a través de un uso intensivo de las funcionalidades naturales del agroecosistema y de los conocimientos y habilidades de las comunidades agrícolas (Tuttonell, 2015).

Finalmente, las estrategias propuestas para la planificación ambiental rural entonces favorece la intensificación ecológica, basada en tecnología de procesos y conocimientos en lugar de insumos pues requieren de un profundo entendimiento de las complejas interacciones presentes en los diferentes ecosistemas (Shennan, 2004). Esta estrategia promueve un uso inteligente e intensivo de las funciones de soporte y regulación naturales del ecosistema por medio del manejo eficiente de la biodiversidad, de la energía solar y de los ciclos biogeoquímicos. La intensificación ecológica se basa en la suposición de que la entrega de los servicios ecosistémicos es subóptima en la agricultura de altos insumos y que la gestión de componentes específicos de la biodiversidad se puede utilizar ya sea para complementar los insumos artificiales y aumentar la productividad agrícola o reemplazar insumos artificiales.

La alternativa propone el logro de altos rendimientos en suelos aptos para el cultivo y la reducción de la expansión agrícola hacia tierras menos aptas para el cultivo, en pos de satisfacer la demanda de granos, maximizar la eficiencia productiva y económica del uso de recursos e insumos, y preservar y/o mejorar la calidad del ambiente y la provisión de SE derivados de su correcto funcionamiento (Andrade, 2016; Tiftonell, 2014).

En los últimos años la base de evidencia que subyace a la intensificación ecológica se ha ido reforzado con estudios que demuestran que la gestión puede mejorar la entrega de un gama de SER (Tamburini et al., 2016) o incluso producir beneficios mutuos situaciones para la producción agrícola y el ambiente (Kleijn et al., 2019).

En conclusión las prácticas de manejo planteadas, intensivas en conocimiento, pueden aportar significativamente al mantenimiento de la provisión de SE de abastecimiento a través de la adaptación de las especies cultivadas a las condiciones específicas del ambiente. A su vez, favorecen el uso eficiente y una menor dependencia de los recursos e insumos no renovables y contaminantes con la consecuente atenuación de impactos asociados a la merma de provisión de SER.

En la sección de estrategias destinadas a instituciones municipales se plateo la puesta en marcha de una “Mesa Agroecológica”. Sin embrago, vale mencionar que esta iniciativa resultaría transversal. Se reconoce la necesidad de compaginar esfuerzos y generar sinergias en los distintos ámbitos productivos puesto que se requiere no una transición sino de varias transiciones simultáneas, a diferentes escalas, niveles y dimensiones.

Si bien la mesa de la Agroecología se plantea, en primera instancia, para operar en zonas de amortiguamiento el objetivo principal sería que luego estas experiencias puedan replicarse y expandirse a otras áreas del partido en sus distintas UA. En suma, se estaría fomentando la semilla de un proceso de transición hacia una producción de alimentos sostenible si bien los cambios propiciados por esta iniciativa no son radicales ni suficientes.

Por un lado, es necesaria una transición técnico-productiva (a través de las etapas de optimización, substitución de insumos y rediseño): incorporar prácticas que involucren principios ecológicos y permitan, por ejemplo, una transición en las comunidades y estructuras tróficas de los organismos del suelo (Tiftonell, 2014). No obstante, es preciso también incentivar una transición que genere cambios graduales en el socio-ecosistema. Pueden citarse como ejemplos la autorregulación ecológica, diversidad y redundancia funcional, diversidad de respuestas, heterogeneidad espacial y temporal, autoorganizacion

social, construcción de capital natural, aprendizaje reflexivo y comparativo, autonomía e interdependencia local y conocimientos tradicionales. La transición “socio-ecológica” tiene lugar a nivel de la explotación, como también a escala de paisaje y territorio (Tittonell, 2019).

---

## CONCLUSIONES FINALES

---

Este trabajo se nutre de diferentes herramientas metodológicas para generar, de la manera más fidedigna, un diagnóstico integral de la dinámica de las transformaciones en el uso del suelo y, derivado de ello, de la provisión de servicios ecosistémicos de regulación en diferentes sistemas paisajísticos y agroproductivos del partido de Tandil entre 1989, 2004 y 2019.

Permitió conocer mejor (plano conceptual) los sistemas ambientales del territorio al generar un diagnóstico de la situación actual del ámbito rural. La delimitación de UA cumplió el propósito de “armonizar” no solo características biofísicas de los agroecosistemas sino también las particularidades socio-económicas al estar determinadas por la intensidad del PA. En este sentido, se reconoce como un insumo enriquecedor para la gestión ambiental rural (plano aplicado) de dichos sistemas, es decir, para la toma de decisiones y la planificación estratégica en el ámbito municipal con la capacidad de adaptarse a otros territorios considerando sus peculiaridades.

En el partido de Tandil se observa cómo el contexto de transformaciones agroproductivas resulta propicio para la provisión de servicios de abastecimiento en la mayor parte de su superficie. La estabilidad de las UAE's y su capacidad de proveer SE depende de los usos y de su evolución temporal.

Los resultados obtenidos a partir del análisis de las transformaciones en el uso del suelo permiten corroborar la hipótesis planteada al destacar como principal cambio el avance de las áreas agrícolas hacia superficies de pastizales naturales y pasturas artificiales asociado a un cambio en las técnicas productivas e impulsadas, en particular, por determinados cultivos como la soja y cebada.

Luego, la obtención de indicadores biofísicos que informan sobre la provisión de SER e índices funcionaron como instrumentos claves para identificar impactos ambientales y sus tendencias en cada una de las UA del Partido y contribuyeron al diseño de estrategias y planificación en materia ambiental. Estos permitieron verificar la hipótesis de que las transformaciones en los usos del suelo y la aplicación de técnicas productivas convencionales han conducido a un incremento en algunos servicios de abastecimiento (como la provisión de alimento) a expensas de servicios de regulación y servicios culturales de los ecosistemas. Dichos servicios no poseen un reflejo en el mercado y por lo tanto no son los considerados en la toma de decisiones.

Por ejemplo, los resultados obtenidos exponen que el aumento de las cantidades de fitosanitarios aplicados, si bien mantiene los rendimientos productivos sosteniendo la

rentabilidad económica, ocasiona externalidades ambientales que no son consideradas en los cálculos monetarios como la merma en la provisión de SE.

En conjunto, la metodología basada en el análisis de información derivada de imágenes satelitales y complementada a partir del uso de sistemas de información geográfica, permitió examinar las principales transformaciones agropecuarias abordadas desde los cambios en los usos del suelo en un período de treinta años en el Partido de Tandil y posibilitó comparar el proceso en los diferentes paisajes identificados en el territorio.

Las UA de las LLP funcionan como paisajes de transición entre sectores de paisaje con relictos de pastizales naturales (UA7 y 8) donde urge impedir el avance del proceso de agriculturización y sectores de pasturas implantadas y/o pastizales mejorados con ciertas limitaciones para el cultivo (UA4, 5 y 6) que permiten aún el desarrollo de la ganadería extensiva. Su ubicación como paisaje de conexión entre las mencionadas UA y su destacada aptitud agrícola generan una oportunidad para fomentar sistemas de producción mixtos.

Muchos sectores de las UA4, 5 y 6, donde aún persisten pastizales naturales y pasturas artificiales, presentan potencial para recibir estímulos tendientes a promover e incentivar la actividad ganadera en el área. Dichos incentivos, como certificaciones productivas ecológicas o pagos por servicios ambientales, podrían funcionar como instrumentos de gestión con enfoque sistémico brindando competitividad a los agroecosistemas de la región y permitiendo la adopción de acciones encaminadas a lograr la máxima racionalidad en el proceso de decisión relativo a la conservación, defensa y protección del ambiente. Por lo tanto, éstas UA resultan paisajes claves para una provisión balanceada de servicios de abastecimiento, obtenidos a partir de sistemas que acoplan la actividad ganadera y agrícola y de regulación

Las UA de las Sierras y elevaciones del Sistema de Tandilia presentan condiciones físicas/naturales que las definen como vulnerables ante un importante avance de los cultivos debido fundamentalmente a las fuertes pendientes (mayores al 50%) que las exponen a procesos de erosión hídrica. En éstas se evidencia una elevada vulnerabilidad ante actividades extractivas como la agricultura que las disponen como unidades estratégicas para la conservación. Perduran aquí, en los sectores más elevados de dicho sistema y de roquedales, áreas de pastizales naturales en donde deberían enfocarse posibles actividades de conservación de vegetación nativa. Las UA7 y 8 presentan una elevada factibilidad para la implementación de programas ambientales de conservación que limiten el avance de actividades económicas intensivas. Se consolidan entonces como UA fundamentales para el

fortalecimiento de la provisión de SE por localizarse en ella cabeceras de cuenca esenciales para el mantenimiento de la sustentabilidad de agroecosistemas asociados y por poseer relictos de pastizales naturales con baja intervención en los sectores de mayor altitud.

Es relevante en investigaciones futuras sumar, al análisis de cuestiones biofísicas y productivas, un análisis económico y social exhaustivo. Si bien se ha desarrollado un análisis básico de la provisión de SEC se reconoce la necesidad de realizar un diagnóstico en base a los límites utilizados para el análisis de los SER (UA).

A su vez, si bien el concepto de servicios ecosistémicos lleva años de desarrollo su aplicación práctica es incipiente. La noción de bien y servicio ecosistémico es un paso concreto que, al menos, permitió entender mejor (y hacer entender) de qué manera los activos naturales afectan la calidad de la vida.

Es preciso diversificar la visión dicotómica de un modelo u otro: de una agricultura convencional o tradicional, con un uso intensivo de insumos, o un modelo agroecológico u orgánico. Resultaría enriquecedor comenzar a pensar en un conjunto de sistemas heterogéneos pertenecientes a ambos grupos e incluso en transición que convivan y velen progresivamente por un reemplazo de insumos químicos y factores tecnológicos externos en primera instancia por otras opciones más sustentables y luego por la sustitución por procesos ecológicos. En este sentido, es necesario que todos los sistemas puedan estar acompañados y auditados, por un lado, por figuras competentes, con conocimientos técnicos, como ingenieros agrónomos que acerquen y orienten sobre otras formas de producir y posibiliten que la implementación de los modelos resulten exitosos. Por otro lado, es necesario que instituciones municipales, provinciales y nacionales permitan a los diferentes tipos de producciones acceder a distintos mercados en los cuales se vean reflejado los valores monetarios no exclusivamente de SE de abastecimiento sino también de regulación.

Es evidente la ausencia de planificación y de la existencia de un organismo capaz de nuclear e integrar las necesidades de productores de diferentes escalas y modalidades de producción y articulen la fragmentación propia del sector agrícola en la región. Este punto deja en claro que para el logro de una transición productiva hacia formas más sustentables de producción también es necesaria una transición en el diálogo entre actores y la integración de sus demandas e intereses. De hecho, una intensificación ecológica solo es posible mediante la puesta en práctica de un conjunto de principios técnicos e institucionales para lograr aumentar y sostener la producción agrícola y los servicios ecosistémicos, a través de un uso intensivo de



las funcionalidades naturales de los agroecosistemas y de los conocimientos y habilidades de las comunidades agrícolas.

Este planteo requiere comprender la complejidad de los sistemas ambientales, conocer la ingeniería ecológica tanto a nivel de agroecosistema como de paisaje, la interacción con actores locales (co-innovación) y la innovación no solo técnica sino también institucional. Particularmente, la innovación requerirá una transición de las tecnologías de insumos empleadas actualmente a:

- optar por la eco eficiencia, optimizando los insumos utilizados,
- aplicar regulaciones (en muchos casos demandadas por el mercado)
- sustituir insumos
- rediseñar los agroecosistemas
- desarrollo territorial rural

Por consiguiente, se espera que el presente trabajo favorezca e incentive el desarrollo de esfuerzos conjuntos que motoricen cambios paulatinos, y no drásticos, y funcione como un diagnóstico ambiental agroecológico del área de estudio y sirva como un relato para actuar en consecuencia. Los productos agropecuarios son el resultado de la interacción de los bienes y servicios ecosistémicos y la tecnología. Sin embargo, en la cotidianidad de las actividades el valor de los servicios ecosistémicos generalmente quedan encubiertos por la coyuntura económica de los mercados agropecuarios, omitiendo su inclusión en las evaluaciones y la directa e indirecta interacción que existe entre esa coyuntura y su aporte. Su determinación hace necesario adoptar enfoques sistémicos que integren la naturaleza y la sociedad ya que las funciones y servicios ecosistémicos inciden en la sociedad, a la que modulan y viceversa, en una acción cíclica permanente con el objetivo de adoptar criterios de producción a largo plazo. Por un lado, el análisis realizado de la provisión de SER y SEC satisface este requisito. Por otro lado, resulta factible la adopción de ciertas prácticas de manejo que ayuden a preservar uno de los motores de la producción de nuestra región que son los servicios ecosistémicos.

---

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Aapresid (Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa). (2012). Evolución de la superficie bajo Siembra Directa en Argentina (Campañas 77/78 – 10/11). Recuperado de: <http://www.aapresid.org.ar/superficie/>.
- Aapresid (Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa). (2013). Manual de Buenas Prácticas Agrícolas e indicadores de gestión. 57 p. Rosario, Argentina.
- Aapresid (Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa). (2016). *Sistemas Chacras Pergamino. Hacia una producción sustentable real. Resumen resultados 2011-2016*. Sistemas Chacras Aapresid.
- Acciaresi, H.A y Principiano, M.A (2019). Malezas. Herbicidas: propiedades químicas y comportamiento edáfico. INTA Estación Experimental Agropecuaria Pergamino “Ing. Agr. Walter Kugler”. Recuperado de: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_pergamino\\_herbicidas-propiedades\\_quimicas\\_y\\_comportamiento\\_edafico-2019.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_pergamino_herbicidas-propiedades_quimicas_y_comportamiento_edafico-2019.pdf)
- Alam, A., Bhat, M. S. y Maheen, M. (2020). Using Landsat satellite data for assessing the land use and land cover change in Kashmir valley, *GeoJournal*, 85, 1529-1543.
- Alonso, I.B., y Pozas, M.B.M. (2020). La economía circular, posible oportunidad de desarrollo rural sostenible en Extremadura: Vegaviana como demostrador. En Competitividad territorial en un mundo globalizado: Perspectivas en Extremadura, 143-175. Diputación Provincial de Cáceres.
- Altieri, M., y Nicholls, C. (2013). The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. *Climatic Change*, 140(1), 33-45.
- Alvarez, R., De Paepe, J.L., Steinbach, H.S., Fernández, P.L. y Alvarez, C.R. (2014). Capítulo 7. Cambios en los niveles de carbono y nitrógeno de los suelos pampeanos producidos por el uso. En Pascale Medina, C., Zubillaga, M. y Taboada, M. A. (Editores); *Suelos, producción agropecuaria y cambio climático: avances en la Argentina* - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación.
- Alvarez, C., Taboada, M., Perelman, S., Morras, R. (2014). Topsoil structure in no-tilled soils in the Rolling Pampas, Argentina. *Soil Research*, 52: 533-542.
- Ambrosio, G., González, J. y Arévalo, V. (2002). *Corrección radiométrica y geométrica de imágenes para la detección de cambios en una serie temporal*. Universidad de Málaga, Málaga, España, 346 pp.
- Andrade, F. H. (2016). *Los desafíos de la agricultura*. INTA, FCA UNMP, CONICET, IPNI. Ediciones International Plant Nutrition Institute. p. 135.

Andrade, F. H., Taboada, M. A., Lema, R. D., Maceira, N. O., Echeverría, H. E., Posse Beaulieu, G. y Matrangola, M. E. (2017). *Los desafíos de la agricultura argentina: satisfacer las futuras demandas y reducir el impacto ambiental*. 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ediciones INTA.

Andrade, F. H. (2020). *Los desafíos de la agricultura global*. Primera Edición Ampliada. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ediciones INTA. Recuperado de: <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/9137>.

Andriulo, A.E., Galantini, J.A., Studdert, G., Sasal, M.C., Wilson, M., Basanta, M., ... y Restovich, S. (2012). Existencias de carbono orgánico edáfico bajo diferentes usos y tipos de suelo. In XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo and XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina.

Anlló, G., Bisang, R., y Katz, J. (2015). *Aprendiendo con el agro argentino: De la ventaja comparativa a la ventaja competitiva: El rol de las KIBs*. BID. Santiago de Chile. <https://publications.iadb.org/>

Antezana J. (2001). *Calibración de los factores de erosión utilizando la ecuación universal de perfiles de suelo revisado RUSLE en sistemas de producción agrícola de la Cuenca Taquiña*. Centro de Levantamientos Aeroespaciales y aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales (CLAS), Cochabamba, Bolivia. 77pp.

Aparicio, V., M. Zamora, A., Barbera, M., Castro-Franco, M. Domenech, E., De Gerónimo, J. Costa. (2018). Industrial agriculture and agroecological transition systems: A comparative analysis of productivity results, organic matter and glyphosate in soil. *Agricultural Systems*; 167: 103-112.

Argañaraz, J.P. y Entraigas, I. (2011). Análisis comparativo entre las máquinas de vectores soporte y el clasificador de máxima probabilidad para la discriminación de cubiertas del suelo, *Revista de Teledetección*, 36: 26-39.

Auer, A., Maceira, N., y Mikkelsen, C. (2019). El proceso de agriculturización en territorios con diferente matriz ecológico-productiva. El caso de la cuenca Mar Chiquita, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de Geografía Norte Grande*, (72), 27-53. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022019000100027>

Azcuy, A.E y Fernández, D. (2019). El Censo Nacional Agropecuario 2018 visión general y aproximación a la Región Pampeana. *Revista Interdisciplinaria de Estudios Agrarios*, 51: 5-36. Recuperado de: <https://www.ciea.com.ar/web/wp-content/uploads/2020/08/2-CNA-RIEA-51-11-8-2020-5-36.pdf>

Baeza, S. y Paruelo, J. M. (2020). Land use/land cover change (2000–2014) in the Rio de la Plata grasslands: an analysis based on MODIS NDVI time series. *Remote Sensing*, 12(3): 381. doi: <https://doi.org/10.3390/rs12030381>

Baldini, C. (2020). La diversidad del paisaje y su importancia en los agroecosistemas. Capítulo 11. En Sarandón, S. J. (2020). *Biodiversidad, agroecología y agricultura*

sustentable. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP), 238-267. doi: <https://doi.org/10.35537/10915/109141>.

Balsa, J. J. (2017). Subjetividades subordinadas en la agricultura pampeana: procesos de concentración, formas de producción y sujetos agrarios. En Martinelli, G. y Moreno, M. (compiladores), *Cuestión agraria y agro negocios. Tensiones en torno a la imposición de un modelo concentrador*. Publicaciones Departamento de Sociales, UNQ. Recuperado de: <http://unidaddepublicaciones.web.unq.edu.ar/wp-content/uploads/sites/46/2018/12/ebook-Agronegociosenlaregionpampeana-De-Martinelli-Moreno.pdf>

Basla, M.M., Nuñez, M.V. y Ulberich A.C. (2017). Relevamiento, localización y caracterización de feedlots del partido de Tandil. IV Congreso Internacional de Ambiente y Energías Renovables, 1-10 pp.. Villa María, Córdoba: Universidad Nacional Villa María.

Balsa, J. J., Liaudat, M. D. (2020). La investigación del consenso en las luchas por la hegemonía: una propuesta metodológica y su ejemplificación en el agro pampeano actual. *Revista Latinoamericana de Metodología de las Ciencias Sociales*, 10 (2). Recuperado de: [https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art\\_revistas/pr.12379/pr.12379.pdf](https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.12379/pr.12379.pdf). doi: <http://dx.doi.org/10.24215/18537863e081>

Balvanera, P., y Cotler, H. (2007). Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta ecológica*, (84-85), 8-15. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53908502>

Balvanera, P., Castillo, A., Lazos, E., Caballero, K., Quijas, S., Florez, D.A.C., Galicia, C., Martí-nez, L., Saldaña, A., Sánchez, M., Maas, M., Ávila, G.P., Martínez, Y. Galindo, L. y Sarukhán, J. (2010). Marcos conceptuales interdisciplinarios para el estudio de los servicios ecosistémicos en América Latina. En E.G. Jobbágy, J.M. Paruelo y P. Laterra (Ed), *Valoración de servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Buenos Aires: Ediciones INTA.

Balvanera, P., Daw, T. M., Gardner, T. A., Martín-López, B., Norström, A. V., Speranza, C. I., ... y Perez-Verdin, G. (2017). Key features for more successful place-based sustainability research on social-ecological systems: a Programme on Ecosystem Change and Society (PECS) perspective. *Ecology and Society*, 22(1). doi: <https://doi.org/10.5751/ES-08826-220114>

Barral, M.P., y Maceira, N. (2011). Evaluación ambiental estratégica del ordenamiento territorial. Un estudio de caso para el partido de Balcarce basado sobre el análisis de Servicios Ecosistémicos. En Laterra, P., Jobbágy, E. y Paruelo, J. (Editores), *Valoración de Servicios Ecosistémicos: Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Ediciones INTA, 443-459. Recuperado de: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=7224657&pid=S2314-0208201700010000300002&lng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=7224657&pid=S2314-0208201700010000300002&lng=es)

Barral, P., Rey Benayas, J., Meli, P. y Maceira, N. (2015). Quantifying the impacts of ecological restoration on biodiversity and ecosystem services in agroecosystems: A global meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 202: 223-231.

- Barranquero, R.S., Saraceno, D., Galecio, M.F., Cisneros Basualdo, N.E., Quiroga, M.A., Landa, R., Ruiz de Galarreta, A., Banda Noriega, R. (2019). Prácticas agropecuarias y efectos ambientales en el recurso hídrico subterráneo en el partido de Tandil. *Revista de Ciencias Ambientales*, 7, (1). doi: <https://www.fch.unicen.edu.ar/ojs-3.1.0/index.php/estudios-ambientales/article/view/417>
- Barsky, O. (2020). Actores, políticas y procesos en la transformación del agro pampeano en la segunda mitad del siglo veinte. *Empresarios y Estado en Argentina: Política y economía, 1955-2001*, 29.
- Bastian, O., Syrbe R-U., Rosenberg, M., Rahe D., Grunewald, K. (2013). The five pillar EPPS framework for quantifying, mapping and managing ecosystem services. *Ecosystem Services* 4: 15-24.
- Bedmar, F. 2011. ¿Qué son los plaguicidas? *Ciencia hoy*; 21: 10-16.
- Bedmar, F., Eyherabide, J. y Satorre, E. (2002). Bases para el manejo de malezas. Capítulo 10, en: F.H. Andrade y V.O. Sadras (ed.). Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Unidad Integrada INTA Balcarce FCA UNMP. pp. 450. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Bedmar/publication/278405736\\_Bases\\_para\\_el\\_manejo\\_de\\_malezas/links/5e4ebcba458515072dabe869/Bases-para-el-manejo-de-malezas.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Bedmar/publication/278405736_Bases_para_el_manejo_de_malezas/links/5e4ebcba458515072dabe869/Bases-para-el-manejo-de-malezas.pdf)
- Bennett, N. J., Whitty, T. S., Finkbeiner, E., Pittman, J., Bassett, H., Gelcich, S., y Allison, E. H. (2018). Environmental stewardship: a conceptual review and analytical framework. *Environmental management*, 61(4), 597-614. doi: <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0993-2>
- Bengtsson, J., Bullock, J.M., Egoh, B., Everson, C., Everson, T., O'Connor, T., ... y Lindborg, R. (2019). Grasslands—more important for ecosystem services than you might think. *Ecosphere*, 10(2). doi: <https://doi.org/10.1002/ecs2.2582>
- Berdegúe, J.A., Hiller, T., Ramírez J.M., Satizábal S., Soloaga I., Soto J.U.M. y Vargas O. (2019). Delineating functional territories from outer space. *Latin American Economic Review*, 28: 4. doi: <https://doi.org/10.1186/s40503-019-0066-4>
- Beuchle, R., Grecchi, R.C., Shimabukuro, Y.E., Seliger, R., Eva, H.D., Sano, E. y Achard, F. (2015). Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. *Applied Geography*, 58, 116-127.
- Bilenca, D. y Miñarro, F. (2004). *Identificación de las Áreas Valiosas de Pastizal (AVPs) en las Pampas y Campos de Argentina, Uruguay y sur de Brasil*. Fundación Vida Silvestre Argentina, 353 pp. Buenos Aires, Argentina.
- Bilenca, D.; Codesido, M., C. González Fischer, L. Pérez Carusi, E. Zufiaurre, and A. Abba. (2012). Impactos de la transformación agropecuaria sobre la Biodiversidad en la provincia de Buenos Aires. *Revista Museo Argentino Ciencias Naturales*, 14, 189–198. doi: <https://doi.org/10.22179/REVMACN.14.189>

Binder, C., Hinkel, J., Pieter W.G., Bots y Pahl-Wostl, C. (2013). Comparison of Frameworks for Analyzing Social-ecological Systems. *Ecology and Society*, 18(4): 26. doi: <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05551-180426>

Bisang, R., Anlló, G., y Campi, M. (2008). Una revolución (no tan) silenciosa. Claves para repensar el agro en Argentina. *Desarrollo Económico*, (48), 190/191, 165-207.

Bisang, R., Anlló, G., y Campi, M. (2015). *Políticas tecnológicas para la innovación: la producción agrícola argentina*. Innovación tecnológica. Santiago de Chile: CIEPLAN. Recuperado de: <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/773>

Blandi, M. L., Gargoloff, N. A., y Iermanó, M. J. (2017). Lineamientos para abordar aspectos complejos con indicadores. Una mirada desde el enfoque de la Agroecología. En X Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales Argentinos y Latinoamericanos. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/301087609.pdf>

Booman, G. (2013). Impacto de la agriculturización del paisaje sobre propiedades y servicios ecosistémicos de humedales de la cuenca Mar chiquita (Prov. de Bs. As.). Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata, 190 p.

Bouchoms, S., Wang, Z., Vanacker, V., y Oost, K.V. (2019). Evaluating the effects of soil erosion and productivity decline on soil carbon dynamics using a model-based approach. *Soil*, 5(2), 367-382. Recuperado de <https://soil.copernicus.org/articles/5/367/2019/>

Brizuela, A.B., Aguirre, C., y Velasco, I. (2007). Aplicación de métodos de corrección atmosférica de datos Landsat 5 para análisis multitemporal. *Remote Sensing of Environment*, 207-214.

Burel, F., y Baudry, J. (2002). *Ecología del paisaje: conceptos, métodos y aplicaciones*. 353 p. Madrid, España: Mundi Prensa.

Burkart, R., Bárbaro, N., Sánchez, R., Gómez, D. (1999). *Eco-regiones de la Argentina*. Administración de Parques Nacionales, Buenos Aires, Argentina, 43.

Burkhard, B., y Kruse, M. (2017). Map semantics and syntactics. Mapping Ecosystem Services, 65. En Burkhard B, Maes J (Editores). *Mapping Ecosystem Services*. Pensoft Publishers, Sofia, 374 pp.

Cabello, J., y Paruelo, J. M. (2008). La teledetección en estudios ecológicos. *Ecosistemas*, 17(3). Recuperado de: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8720/1/ECO\\_17\(3\)\\_01.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8720/1/ECO_17(3)_01.pdf)

Campi, M. (2013). Tecnología y desarrollo agrario. En Anlló, G., Bisang, R. y Campi, M. (Compiladores); *Claves para repensar el agro argentino*. Buenos Aires: Eudeba.

Capurro, J., y Montico, S. (2020). Efecto de los cultivos de cobertura sobre las pérdidas de agua y suelo por erosión hídrica. *Cuadernos del CURIHAM* - Vol 26. Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales (CURIHAM). Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2133/19923>



Casadinho, J.S. (2018). El proceso de artificialización de la naturaleza y el desarrollo de la agroecología en la Argentina. *Cultura económica*, 36(96), 43-76.

CASAFE (Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes). (2013). Base de datos. Informe anual del mercado de productos fitosanitarios.

CASAFE (Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes). (2015). Buenas Prácticas Agrícolas: Lineamientos de Base. 49 p. Buenos Aires, Argentina: CASAFE.

CASAFE (Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes). (2021). Base de datos. Informe anual del mercado de productos fitosanitarios.

Casas, R. y Albarracín, G.F. (2015). *El Deterioro del Suelo y del Ambiente en la Argentina*. Tomos 1 y 2. PROSA-FECIC

Cerdá, E., Sarandón, S., y Flores, C. (2014). El caso de “La Aurora”: un ejemplo de aplicación del enfoque agroecológico en sistemas extensivos del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Benito Juárez, Argentina. En Sarandón, S. y Flores, C. (Editores), *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables*; 437-463. La Plata: Servicio de publicaciones, UNLP.

Ceroni, M. (2018). Rasgos centrales del agronegocio en Latinoamérica: la experiencia en Uruguay. *Perfiles latinoamericanos*, 26(52). doi: 10.18504/PL2652-004-2018

Chander, G., y Markham, B. (2003). Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. *Revista IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(11), 2674-2677.

Chander, G., Markham, B., y Barsi, J. (2007). Revised Landsat-5 Thematic Mapper Radiometric Calibration. *Revista IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 4(3), 490-494.

Chander, G., Markham, B. L., y Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote sensing of environment*, 113(5), 893-903. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>

Chen, H., Chen, C., Zhang, Z., Lu, C., Wang, L., He, X., ... y Chen, J. (2021). Changes of the spatial and temporal characteristics of land-use landscape patterns using multi-temporal Landsat satellite data: a case study of Zhoushan Island, China. *Ocean & Coastal Management*, 213, 105842.

Chen, J.M., Menges, C.H. y Leblanc, S. G.. (2005). Global mapping of foliage clumping index using multi-angular satellite data. *Remote Sens. Environ.* 97: 447-457.

Cheng Xin, Van Damme Sylvie, Li Luyuan, y Uyttenhove Pieter. (2019). Evaluation of cultural ecosystem services: A review of methods. *Ecosystem services*, 37: 100925. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100925>

Chevalier, J.M. y Buckles, D.J. (2008). *SAS2: A guide to collaborative inquiry and social engagement*. SAGE Publishing India.

Sage Publications, p. 316. Chuvieco, E. (1992). Teledetección, SIG y cambio global. *Geographicalia*, (29), 33-56.

Chuvieco, E. (2007). *Teledetección Ambiental. La observación de la tierra desde el espacio*. 586 p. Barcelona, España: Ariel.

Chuvieco, E. (2008). *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona: Ariel Ciencia.

Chuvieco, E. (2016). *Fundamentals of satellite remote sensing an environmental approach*. Boca Ratón: Taylor & Francis Group.

CMMAD (Comisión Mundial de Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo). (1988). *Nuestro Futuro Común*, Madrid: Alianza.

Codesido, M. (2010). *Ensamblajes de aves en agroecosistemas de la provincia de Buenos Aires: su relación con los patrones de uso de la tierra y las características del paisaje*. Disertación Doctoral, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

Colombo, C. y Sarandón, S. (2015). Relevamiento de la utilización de agroquímicos en la provincia de Buenos Aires. Mapa de situación e incidencia sobre la salud. Defensor del pueblo, provincia de Buenos Aires. Universidad Nacional de La Plata. 532 p.

Conesa Fernández Vítora, V. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. 4ª edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 864 pp.

Congalton, R.G. (2007). Thematic and positional accuracy assessment of digital remotely sensed data. En McRoberts, Ronald E., Reams, Gregory A., Van Deusen, Paul C., McWilliams, William H., (Editores); *Proceedings of the seventh annual forest inventory and analysis symposium*; Portland, ME. Gen. Tech. Rep. WO-77. Washington, DC: US Department of Agriculture, Forest Service: 149-154. (Vol. 77).

Congalton, R.G., y Green, K. (2019). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*, Third Edition (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429052729>

Costanzo, M., Carrancio, L.A. y Massaro, R.A. (2019). *Efectos del ambiente sobre la pulverización de plaguicidas. Conceptos básicos de micrometeorología agrícola*. INTA EEA Oliveros, Para Mejorar la Producción, 58, 197-210.

Costanza, R., de Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28, 1-16.

Cousins, S.A.O., Auffret, A.G., Lindgren, J. y Tränk, L. (2015). Regional-scale land-cover change during the 20th century and its consequences for biodiversity, *Ambio*, 44, 17–27.

Cowling, R.M., Egoh, B., Knight, A.T., O'Farrell, P.J., Reyers, B., Rouget, M., Roux, D.J., Welz, A. y Wilhelm-Rechman, A. (2008). An operational model for mainstreaming



ecosystem services for implementation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105: 9483-9488.

Daga, D.Y., Zulaica, L. y Vazquez, P. (2020). El periurbano de Mar del Plata (Argentina): clasificación digital de los usos del suelo y análisis de las transformaciones en el cinturón hortícola. *Revista Geográfica de América Central*, (65), 175-206. <https://dx.doi.org/10.15359/rgac.65-2.7>

Daily, G.C. (Editor). (1997). *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, DC

DataBank. (2017). Base de Datos del Banco Mundial. Recuperado de: <http://databank.worldbank.org/data/home.aspx>

De Groot, R.S, Alkemade, R., Braat, L., Hein, L. y Willemen, L. (2010) Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecol Complex*, 7(3), 260–272. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.10.006>

De la Rosa, D. (2008). *Evaluación Agro-ecológica de suelos para un desarrollo rural sostenible: para un desarrollo rural sostenible*. Madrid, ES, Ediciones Mundi-Prensa Libros.

De Rito, M.V., Fernández Honaine, M. y Herrera, L. P. (2020). Aplicación de un índice de naturalidad para las sierras del sistema de Tandilla, *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 22(1). [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1853-04002020000100007](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-04002020000100007)

Defacio, R.A. (2021). Conservación multidimensional y territorial de los Recursos Genéticos. En XIII Simposio Internacional de Recursos Genéticos para las Américas y el Caribe (SIRGEAC), Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Colombia. Recuperado de: <https://www.sirgeac.net/>

Devesa, A., y Cali, M.J. (2021). Ganadería regenerativa en Río Negro. EEA Alto Valle, INTA. *Fruticultura & Diversificación*, 27 (88): 8-11. Recuperado de: <https://inta.gob.ar/documentos/fruticultura-diversificacion-no-88>

Dileo, E.S. (2019). El desempeño reciente del sector agrario pampeano: sus potencialidades y perspectivas. Análisis de las explicaciones económicas. *Visión de futuro*, 23(1). Recuperado de: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1668-87082019000100002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-87082019000100002&lng=es&tlng=es)

Dong, Y., y Hauschild, M. Z. (2017). Indicators for environmental sustainability. *Procedia Cirp*, 61, 697-702. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.173>

Duarte, C.M. (2006). Cambio Global. Impacto de la Actividad Humana sobre el Sistema Tierra. *Colección divulgación*, 3. 167 pp.

EEA (Estación Experimental Agropecuaria) - INTA Balcarce. (2018). Grupo Agrometeorología, Unidad Integrada Balcarce, Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP). <https://inta.gob.ar/paginas/agrometeorologia-balcarce>.

EFSA (European Food Safety Authority). (2017). Peer review of the pesticide risk assessment of the potential endocrine disrupting properties of glyphosate. *EFSA Journal*, 15(9), e04979. doi: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4979>

Eguiguren, P., Ojeda Luna, T., Torres, B., Lippe, M., Günter, S., (2020). Ecosystem Service Multifunctionality: Decline and Recovery Pathways in the Amazon and Chocó Lowland Rainforests. *Sustainability* 12, 7786. doi: <https://doi.org/10.3390/su12187786>.

Ekboir, J. (2001). Sistemas de innovación y política tecnológica: siembra directa en el MERCOSUR. R. Díaz Rosello (coord.), *Siembra directa en el cono sur* (1-18). Montevideo: PROCISUR.

Ellis, E.C., Pascual, U., y Mertz, O. (2019). Ecosystem services and nature's contribution to people: negotiating diverse values and trade-offs in land systems. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 38, 86-94. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.05.001>

Elorza, F. (2021). Buenas Prácticas Agrícolas: Uso seguro y responsable de los productos Fitosanitarios. CASAFA. Recuperado de: <https://www.casafe.org/publicaciones/>

Elorza, F. y Moavro E. (2020). *Jornadas de Buenas Prácticas de Aplicación de Productos Fitosanitarios (BPAF) con énfasis en los entornos periurbanos*. 1a ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: ILSI Argentina. Recuperado de: <https://www.casafe.org/pdf/2020/Publicacion-BPAF.pdf>

Erbiti, C., y Dillon, A. (2006). Ordenación territorial del Municipio de Tandil, Argentina: Estrategia para la sustentabilidad ambiental. *Urbano*, 9(13), 48-54.

EPA (United States Environmental Protection Agency). Office of Pesticide Programs. [https://iaspub.epa.gov/apex/pesticides/f?p=CHEMICALSEARCH:3:::21,3,31,7,12,25:P3\\_X\\_CHEMICAL\\_ID:2002](https://iaspub.epa.gov/apex/pesticides/f?p=CHEMICALSEARCH:3:::21,3,31,7,12,25:P3_X_CHEMICAL_ID:2002)

Etiennot, A. y Piazza, A. (2010). Buenas prácticas de aplicación en cultivos planos extensivos: Distancias a zonas urbanas. Criterios y soluciones. *Acta toxicol. argent.*, 18, 2, 40-53. Recuperado de: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-37432010000200002&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-37432010000200002&lng=es&nrm=iso). ISSN 1851-3743.

Fandos, C., Carreras Baldrés, J.I., Scandaliaris, P., Soria, F.J., Gamboa, D.E., y Devani, M.R. (2019). Uso de Teledetección y SIG para la detección de frecuencias de rotación soja/maíz en el departamento Burruyacu, provincia de Tucumán, Argentina. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán*. Tomo 96 (1): xx-xx.

FAO Nations (Food and Agriculture Organization of the United). (1996). *Zonificación agroecológica*. Guía general (Boletín de suelos, nº73). Servicio de recursos, manejo y conservación de suelos, Dirección de fomento de tierras y aguas. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/W2962S/W2962S00.htm>

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (1996). *Adaptación de la metodología de zonificación agroecológica de la FAO para aplicaciones a diferentes niveles de zonificación en países de América Latina y el Caribe*. Taller regional sobre aplicaciones de

la metodología de zonificación agroecológica y los sistemas de información de recursos de tierras en América Latina y El Caribe, 44.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2004). *Las buenas prácticas agrícolas*. 48 p. Roma, Italia: FAO.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2011). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, y Mundi-Prensa, Madrid.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2016). *Aprovechar los beneficios de los servicios ecosistémicos para una intensificación ecológica eficaz en la agricultura*. 123, 7.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2017). *The Future of Food and Agriculture – Trends and Challenges*, Rome. Recuperado de <http://faostat3.fao.org/download/T/TP/E>

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2020). Statistical Database: <http://www.fao.org/>.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), FIDA (International Fund for Agricultural Development) – UNICEF y PMA (World Food Programme) -WHO. (2018). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo*. Roma, Italia: FAO.

Fernández, D.A. (2017). *La agricultura pampeana y su proceso de concentración económica. De los 90 al presente*. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Filosofía y Letras; 2017; 127-151 Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11336/116017>

Fernández, D.A. (2018). Un desierto verde. La agricultura pampeana (1988-2018): cosechas récord y crisis de la producción chacarera. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 19: 1, 151-173. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6994702>

Fernández, J.L., Fernández, M.I. y Soloaga, I. (2019). Enfoque territorial y análisis dinámico de la ruralidad: alcances y límites para el diseño de políticas de desarrollo rural innovadoras en América Latina y el Caribe. Documentos de Proyectos (LC/TS.2019/65, LC/MEX/TS.2019/16), Ciudad de México, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Fernández, S. C., Gallardo, J. R. R., y Mayorga, A. V. (1996). La Teledetección: sus bases. *Ensayos: Revista de la Facultad de Educación de Albacete*, (11), 183-194.

Fernández, G. y Ramos, A. G. El crecimiento urbano de Tandil: ¿modelo territorial de la ciudad difusa? *Geográfica digital*, 10(20), 1-12, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.30972/geo.10202201>.

Fernández, R.J., Rush, P. y Plencovich, M.C. (2019). Agroecología y agricultura industrial: ¿dos culturas irreconciliables? *Agronomía & Ambiente*, 39, 2: 68-94

Fernández San Juan M. R., Cortelezzi A., Alborno C. B., Landro S. M., Arrighetti F., Najle R. & Lavarías S. M. L. (2020). Toxicity of pyrethroid cypermethrin on the freshwater snail *Chilina parchappii*: Lethal and sublethal effects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 196. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110565>

Finquelievich, S., Feldman, P. y Girolimo, U. (2017). Tandil: innovación y desarrollo local. *Cuaderno urbano*, 22:22. Recuperado de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1853-36552017000100007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-36552017000100007&lng=es&tlng=es).

Fischer, G., van Velthuisen, H.T., & Nachtergaele, F.O. (2000). Global agro-ecological zones assessment: methodology and results. IIASA Interim Report. IIASA, Laxenburg, Austria: IR-00-064 Recuperado de: <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/6182/1/IR-00-064.pdf>

Flores, C., y Sarandón, S. (2014). Manejo de la biodiversidad en agroecosistemas. En Sarandón, S. y Flores, C. (Editores), *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables* (p. 342-373). La Plata, Argentina: Edulp.

Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80, 185-201.

Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M., ... y Zaks, D.P. (2011). Solutions for a cultivated planet, *Nature*, 478: 337–342.

Frank, F., y Viglizzo, E. (2010). Evaluación ecológica: ejemplo de estudio en las pampas de Argentina. *Revista de la Cátedra Unesco sobre Desarrollo Sostenible de la UPV/EHU*, (4), 79-89.

Fogg, P., A.B. Boxall, A. Walker, A. Jukes. (2004). Degradation and leaching potential of pesticides in biobed systems. *Pest. Manag. Sci.* 60: 645-654.

Gaba, S., Lescourret, F., Boudsocq, S., Enjalbert, J., Hinsinger, P., Journet, E.P., Navas, M.L., Wery, J., Louarn, G., Malézieux, E., Pelzer, E., Prudent, M., Ozier-Lafontaine H. (2015). Multiple cropping systems as drivers for providing multiple ecosystem services: from concepts to design. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 607-623. doi: <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0272-z>

Gabellone, N., Sarandón, R., y CLAPS, C. (2003). Caracterización y zonificación ecológica de la cuenca del Río Salado. En Maiola, Gabellone y Hernández (Editores). *Inundaciones en la Región Pampeana*, 89 –122. Edulp, Editorial de la Universidad de La Plata. Honorable Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires.

Gaitán, J., Navarro, M.F., Vuegen, L.T., Pizarro, M.J., Carfagno, P. y Rigo, S. (2017). *Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina*. Colección: Investigación, desarrollo e innovación INTA. Ediciones INTA, 66 pp.

García, R. (2013). Investigación interdisciplinaria de sistemas complejos: lecciones del cambio climático. *Interdisciplina*, 1(1).

- García, M. (2020). Una mirada cuantitativa de la estructura agraria argentina a través de los Censos Nacionales Agropecuarios 1988, 2002 y 2018. *Red Sociales, Revista del Departamento de Ciencias Sociales*, Vol. 07, 06: 63-84. Recuperado de <http://www.redsocialesunlu.net/wp-content/uploads/2020/10/Una-mirada-cuantitativa-de-la-estructura-agraria-argentina-a-trav%C3%A9s-de-los-Censos-Nacionales-Agropecuarios-1988-2002-y-2018.pdf>
- Gaspari, F.J., Rodríguez Vagaría, A.M., Delgado, M.I., Senisterra, G.E., y Denegri, G. A. (2011). Vulnerabilidad ambiental en cuencas hidrográficas serranas mediante SIG. *Multequina*, 20(1), 03-13.
- Gavin, M.C., McCarter, J., Mead, A. (2015). Defining biocultural approaches to conservation. *Trends Ecol Evol*; 30:140–145. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.12.005>
- Gianelli, V., Bedmar, F., Angelini, H., Aparicio, V., y Costa, J. (2010). Determinación del riesgo de contaminación del agua subterránea con plaguicidas en la cuenca del arroyo Pantanoso, Argentina. En J. Fernández Turiel e I. González Hernández (Editores.), *Contaminación, Descontaminación y Restauración Ambiental*, 135-152. Salamanca, España: Sociedad Iberoamericana de física y química ambiental.
- Gilarranz, L.J., Sabatino, M., Aizen, M.A., y Bascompte, J. (2015). Hot spots of mutualistic networks. *Journal of Animal Ecology*, 84(2), 407–413. Recuperado de: <http://www.jstor.org/stable/24698509>
- Gliessman, S., Rosado May, F., Guadarrama Zugasti, C., Jedlicka, J., Cohn, A., Méndez, V., ... Jaffe, R. (2007). Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Revista Ecosistemas*, 16(1), 13-23.
- Gómez-Baggethun, E., y de Groot, R. (2008). Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. *Ecosistemas*, 16(3). Recuperado de: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/88>
- Gómez-Calderón, N., Villagra-Mendoza, K. y Solorzano-Quintana, M. (2018). La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo (revisión literaria). *Revista Tecnología en Marcha*, 31(1), 167-177. doi: <https://dx.doi.org/10.18845/tm.v31i1.3506>
- Góngora Echeverría, V.R., Martin Laurent, F., Quintal Franco, C., Giácoman Vallejos, G. y Ponce Caballero, C. (2017). Agricultural effluent treatment in biobed systems using novel substrates from southeastern Mexico: the relationship with physicochemical parameters of biomixtures. *Environ Sci Pollut* 24, 9741–9753.
- Gras, C.S., y Hernández, V. (2016). Hegemonía, innovación tecnológica e identidades empresariales: 50 años de revoluciones agrícolas en Argentina. *Estudios Críticos del Desarrollo*, volumen VI, 11, 107-128. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/profile/Renata-Motta/publication/319998950\\_Capitalismo\\_global\\_y\\_Estado\\_nacional\\_en\\_las\\_luchas\\_de\\_los\\_cultivos\\_transgenicos\\_en\\_Brasil](https://www.researchgate.net/profile/Renata-Motta/publication/319998950_Capitalismo_global_y_Estado_nacional_en_las_luchas_de_los_cultivos_transgenicos_en_Brasil)

Gras, C., y Hernández, V. (2016b). *Radiografía del nuevo campo argentino. Del terrateniente al empresario transnacional*. Buenos Aires: Siglo XXI.

Guerschman, J.P., Paruelo, J.M., Di Bella, C.M., Giallorenzi, M.C. y Pacín, F. (2003). Land cover classification in the Argentine Pampas using multi-temporal LANDSAT TM data. *Int. J. Remote Sensing*, 24, 3381-3402.

Gvozdenovich, J., Barbagelata P. y López G. (2015). Erosión Hídrica -USLE/RUSLE Argentina-INTA EEA Paraná. Software, Versión 2.0. Recuperado de <http://www.inta.gob.ar/parana>

Gvozdenovich, J. J., Pérez Bidegain, M., Barbagelata, P. A., & Novelli, L. E. (2017). ¿Puede WEPP mejorar la predicción de la erosión de suelos respecto a USLE? *Ciencia del suelo*, 35, nº 2, 259-272.

Haines-Young, R. y Potschin, M. (2012). *Common International Classification of Ecosystem Services*. CICES Version 4: Response to Consultation. Centre for Environmental Management, University of Nottingham. Recuperado de: [https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2012/09/CICES-V4\\_Final\\_26092012.pdf](https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2012/09/CICES-V4_Final_26092012.pdf)

Haines-Young, R. y Potschin, M. (2017). From nature to society. Mapping Ecosystem Services. En Burkhard B, Maes J (Editores), *Mapping Ecosystem Services*. Pensoft Publishers, Sofia, 374 pp.

Hall, A.J., Rebella, A.C.M., Ghersa, C.M., Culot, J.P.H. (1992). Field-crop systems of the Pampas. En Pearson, C.J. (Editor); *Field Crop Ecosystems Series: Ecosystems of the World*. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, Holanda.

Hernández, J., y Montaner, D. (2009). *Patrones de respuesta espectral. Tecnologías Geoespaciales: Experiencias Aplicadas al Estudio y Gestión del Territorio*. Mena, C. (Editor), 978-956.

Herrera, S.A. (2019). Análisis de la normativa sobre productos fitosanitarios y la protección de la salud. *Revista Salud ambiental*, 19 (1): 62-76. Recuperado de: <https://ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/view/950>.

Herrera, L. P., Sabatino, M. C., Jaimes, F. R., y Saura, S. (2017). Landscape connectivity and the role of small habitat patches as stepping stones: an assessment of the grassland biome in South America. *Biodiversity and Conservation*, 26(14), 3465-3479

Herrera, L.P., Montti, L.F., Sabatino, M., y de Rito, M.V. (2019). El paisaje serrano de Tandilia: Un tesoro geológico, ecológico y cultural, *Ciencia Hoy*, 28(163): 44–50.

Iermanó, M.J. y Sarandón, S. (2016). Rol de la agrobiodiversidad en sistemas familiares mixtos de agricultura y ganadería pastoril en la Región Pampeana, Argentina. Su importancia para la sustentabilidad de los agroecosistemas. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 11(2), 94-103



IARC (International Agency for Research on Cancer). (2016). *World Health Organization. Q&A on Glyphosate*. Recuperado de [https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/11/QA\\_Glyphosate.pdf](https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/11/QA_Glyphosate.pdf).

IIASA (International Institute of Applied Systems Analysis)/ FAO Nations (Food and Agriculture Organization of the United). (2012). *Global Agro-ecological Zones (GAEZ v3.0) Model Documentation*. IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy. Recuperado de: [http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13290/1/GAEZ\\_Model\\_Documentation.pdf](http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13290/1/GAEZ_Model_Documentation.pdf).

Iurtia, C. y Cruzarte, G. (2002). *Aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo en la Provincia de Buenos Aires*. Informe Técnico. INTA-Castelar, 14 pp.

López, F.M., Duval, M.E., Martínez, J.M., y Galantini, J.A. (2016). Porosidad de ustoles bajo siembra directa en el sudoeste bonaerense. *Ciencia del suelo*, 34(2), 137-184.

López-Vazquez, V., Balderas-Plata, M., Chávez-Mejía, M., Juan-Pérez, J. y Gutiérrez Cedillo, J. (2015). Cambio de Uso de Suelo e Implicaciones Socioeconómicas en un Área Mazahua del Altiplano Mexicano. *Ciencia Ergo-Sum*. 22(2): 136-144. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.11799/38249>

Iermanó, M.J., Tamagno, L.N., Maggio, A.D., y Sarandón, S. J. (2015). *Aporte de los sistemas ganaderos a la conservación de la agrobiodiversidad en agroecosistemas pampeanos. Importancia del “potencial de regulación biótica”*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de La Plata. 307pp. Recuperado de: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/46343>

INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) (1991). *Censo Nacional de Población y Vivienda*. Buenos Aires, Argentina: INDEC.

INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) (2001). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas*. Buenos Aires, Argentina: INDEC.

INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) (2010). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas*. Buenos Aires, Argentina: INDEC.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2000). *Land use, land-use change, and forestry. Special Report*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2006). *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Japan.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2014). *Climate Change 2014: Synthesis, Report Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2019). *Climate change and land. Special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Summary for policymakers.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2019). Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. En Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S (Editores), *Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use*. IPCC, Switzerland. Publications.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2021). Cambio Climático: Bases Físicas. Informe técnico. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM>

Jacobo, E., Rodríguez, A., González, J., y Golluscio, R. (2016). Efectos de la intensificación ganadera sobre la eficiencia en el uso de la energía fósil y la conservación del pastizal en la cuenca baja del río Salado, provincia de Buenos Aires, Argentina. *AgriScientia*, 33(1), 1-14.

Jaime, S., Andrade, F., Bedmar, F., Borracci, S., Leonardi, C., Martens, F., Quargnolo, E., Szczesny, A., Tito, G., Vigna, M.. (2013). *Criterios para la gestion de uso de los agroquimicos con un marco de ordenamiento territorial*. Cerbas, INTA. Balcarce. p. 50.

Jaimes, F.R., Sabatino, M., y Herrera, L. P. (2019). Caracterización del paisaje serrano de Tandilia (Buenos Aires, Argentina) utilizando SIG. Una aproximación para definir áreas prioritarias para la conservación, *Revista Estudios Ambientales*, 7(2), 39-65.

Jaramillo, L., y Antunes, A. (2018). Detección de cambios en la cobertura vegetal mediante interpretación de imágenes Landsat por redes neuronales artificiales (RNA). Caso de estudio: Región Amazónica Ecuatoriana, *Revista de Teledetección*, (51), 33-46.

Jobbágy, E. G., Aguiar, S, Piñeiro, G y Garibaldi, L. A. (2021). Impronta ambiental de la agricultura de granos en Argentina: revisando desafíos propios y ajenos. *Ciencia Hoy*, 29 (173); 55-64.

Johnson, J. A., Runge, C. F., Senauer, B., Foley, J. y Polasky, S. (2014). Global agriculture and carbon trade-offs. *Proceedings of the National Academy Sciences of the United States of América*. 111 (34), 12342–12347. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1412835111>

Jones, H.G. y Vaughan, R.A. (2010) Remóte Sensing of Vegetation. *Principies, Techniques and Applications*. Oxford University Press.

Kaufman, Y. J. (1989). *The atmospheric effect on remote sensing and its correction. Theory and Applications of Optical Remote Sensing*. Ed. Asrar, G. John Wiley and Sons. Nueva York.

Kleijn, D., Bommarco, R., Fijen, T.P.M., Garibaldi, L.A., Potts, S.G., van der Putten, W.H. (2019). Ecological Intensification: Bridging the Gap between Science and Practice. *Trends in Ecology & Evolution*, 34(2), 154-166. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.11.002>.

Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., y Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment international*, 132, 105078. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>



Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on the global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627.

Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. J., Angelsen, A., Bruce, J. W., ... y Folke, C. (2003). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global environmental change*. 11(4), 261-269. doi: [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3)

Lan, D. (2018). Capítulo 4 – Construcción del espacio industrial de Tandil. En Lan, D., Adriani, L. y Savério Sposito, E (Editores), *Reestructuración productiva e industria, en ciudades intermedias de Argentina y Brasil*. 1a ed – Tandil, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

Landau, E. C., Guimarães, D. P., y Hirsch, A. (2014). Uso de Sistema de Informaciones Geográficas para espacialización de datos del área de producción agrícola. En Mantovani, E.C. y Magdalena, C. (Editores), *Manual de Agricultura de Precisión*, Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA), 22-28. Recuperado de: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/999443/1/Usosistema.pdf>

Lara, B. (2016). Fragmentación de pastizales en el centro de la provincia de Buenos Aires, mediante imágenes LANDSAT. *Revista Cartográfica*, (92), 91-109, <https://doi.org/10.35424/rcarto.i92.439>

Lara, B., y Gandini, M. (2014). Quantifying the land cover changes and fragmentation patterns in the Argentina Pampas, in the last 37 years (1974-2011), *GeoFocus*, (14), 163-180.

Lara, B., Gandini, M., Matteucci, S.D., y Scaramuzzino, R.L. (2019). Cambios en el funcionamiento de los ecosistemas de la región pampeana en los últimos 20 años: indicios del impacto del cambio global. *Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisajes*, 9(1): 81-84 Volumen Especial VII Jornadas y IV Congreso AEP: "Paisajes de cambio: la planificación posible y el consumo de suelos"

Lavornia, J. M., Kristensen, M. J. y Rosato, V. (2012). *Los líquenes de los roquedales de Tandil. Bioindicadores de la calidad del aire*. CINEA (eds.), 87-94.

Lattera, P., Orúe, M. E., y Booman, G. C. (2012). Spatial complexity and ecosystem services in rural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 154, 56-67. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.05.013>.

Latruffe, L., Diazabakana, A., Bockstaller, C., Desjeux, Y., Finn, J., Kelly, E., ... y Uthes, S. (2016). Measurement of sustainability in agriculture: a review of indicators. *Studies in Agricultural Economics*, 118(3), 123-130. Recuperado de: <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/6182/1/IR-00-064.pdf>

Layke, C., Mapendembe, A., Brown, C., Walpole, M. y Winn, J. Indicators from the global and sub-global Millennium Ecosystem Assessments: an analysis and next steps. *Ecol. Indic.*, 17 (2012), 77-87.

Leavy, S., y Allen, B. (2015). Comercialización de soja: Mercado disponible vs. Mercado a término, período 1994-2014. Revista de investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNR, 0(25), 019-026. Recuperado de: <https://cienciasagronomicas.unr.edu.ar/journal/index.p>

Lefèvre, C., Rekik, F., Alcantara, V., y Wiese, L. (2017). Soil organic carbon: the hidden potential. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Lemaire, G., Franzluebbers, A., De Faccio Carvalho P., Dedieu, B. (2014). Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190: 4-8.

León, R.J.C., Rusch, G. Oesterheld, M. (1984). Los pastizales pampeanos, impacto agropecuario. *Phytocoenología* 12: 201-218.

Lescano, M., Leticia Pizzul, L., Castillo, M.d.P., Zalazar, C. (2018). Glyphosate and aminomethylphosphonic acid degradation in biomixtures based on alfalfa straw, wheat stubble and river waste. *Journal of Environmental Management*, 228, pp. 451-457.

Lillesand, T., Kiefer, R. W., y Chipman, J. (2014). *Remote sensing and image interpretation*. 763 p. New Jersey, USA: John Wiley and Sons.

Linares, S. y Picone, N. (2018). Modelización de la expansión urbana y su impacto en el paisaje natural mediante Sistemas de la Información Geográfica y Autómatas Celulares: Caso de estudio: Tandil, Argentina. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Humanas. Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales; *Estudios Ambientales*; 6; 1; 5-25.

Lombardo, P. y Tort, M.I. (2018). Contratismo de servicios de maquinaria en el agro pampeano. Heterogeneidad de actores y vínculos. Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora.

Loranzzi, S. (2017). Siembra Directa, revalorando conceptos básicos. *Horizontes Digital*. Recuperado de: <http://horizonteadigital.com/siembra-directa-revalorando-conceptos-basicos-santiago-lorenzatti/>

Lorenz, K. y Lal, R. (2016). *Soil Organic Carbon - An appropriate Indicator to Monitor Trends of Land and Soil Degradation within the SDG Framework?* Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Kragt, M.E., y Robertson, M.J. (2014). Quantifying ecosystem services trade-offs from agricultural practices. *Ecological Economics*, 102, 147-157. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.04.001>

Maceira, N.O., Martiarena, D.A., Rizzalli, R.H., Jaimes, F., Castaño, J.A., Quiñones Martorello, A., ... y Thougnon Islas, A.J. (2020). Unidad demostrativa agroecológica Balcarce (UDAB). Fortaleciendo capacidades para una agricultura sostenible. En Giobellina, B., Murillo, N. y Celiz, Y. (Compiladoras), *Aportes para el ordenamiento territorial de Argentina: estudios de casos y experiencias en marcha*. 1a ed revisada. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ediciones INTA, 208-215.

Maes, J., Egoh, B., Qiu, J., Heiskanen, A., Crossman, N.D., Heiskanen, N.D.C. y Neale, A. (2017). 7.1. Mapping ecosystem services in national and supra-national policy making. Mapping Ecosystem Services, 295. En Burkhard B, Maes J (Editores); *Mapping Ecosystem Services*. Pensoft Publishers, Sofia, 374 pp.

Maes, J., Liqueste, C., Teller, A., Erhard, M., Paracchini, M.L., Barredo, J.I., Grizzetti, B., Cardoso, A., Somma, F., Petersen, J.-E., Meiner, A., Gelabert, E.R., Zal, N., Kristensen, P., Bastrup-Birk, A., Biala, K., Piroddi, C., Egoh, B., Degeorges, P., Fiorina, C., Santos-Martín, F., Naruševičius, V., Verboven, J., Pereira, H.M., Bengtsson, J., Gocheva, K., Marta-Pedroso, C., Snäll, T., Estreguil, C., San-Miguel-Ayanz, J., Pérez-Soba, M., Grêt-Regamey, A., Lillebø, A.I., Malak, D.A., Condé, S., Moen, J., Czúcz, B., Drakou, E.G., Zulian, G., Lavalle, C. (2016). An indicator framework for assessing ecosystem services in support of the EU Biodiversity Strategy to 2020. *Ecosystem Services*, 17, 14-23, <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.10.023>.

Marasas, M., Cap, G., De Luca, L., Pérez, M. y Pérez, R. (2012). *El camino de la transición agroecológica*. 90 p. Buenos Aires, Argentina: Ediciones INTA. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ediciones INTA, 2012.

Mastrangelo, M.E. y Littera, P. (2015). From biophysical to social-ecological trade-offs: integrating biodiversity conservation and agricultural production in the Argentine Dry Chaco. *Ecology and Society*, 20(1). Recuperado de: <https://www.jstor.org/stable/26269724>.

MAyDS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). 2017. *Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Argentina*. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/inventario-nacional-gei-argentina.pdf>

Manuel Navarrete, D. y Gallopín, G.C. (2007). Integración de políticas, sostenibilidad y agriculturización en la pampa argentina y áreas extrapampeanas. Santiago de Chile: CEPAL Naciones Unidas, Seminarios y Conferencias, N° 50, 1-34. Recuperado de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6896/S0700336\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6896/S0700336_es.pdf).

Manuel Navarrete, D., Gallopín, G., Blanco, M., Díaz Zorita, M., Ferraro, D., Herzer, H., ... y Celis, A. (2005). *Análisis sistémico de la agriculturización en la pampa húmeda argentina y sus consecuencias en regiones extrapampeanas: sostenibilidad, brechas de conocimiento e integración de políticas*. 65 p. Santiago de Chile, Chile: CEPAL (Comisión Económica para América Latina de la Organización de las Naciones Unidas).

Manuel-Navarrete, D. y Gallopín, G. (2007). *Integración de políticas, sostenibilidad y agriculturización en la pampa argentina y áreas extrapampeanas*. Santiago de Chile: CEPAL Naciones Unidas, Seminarios y Conferencias N° 50, 1-34. Recuperado de: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6896/S0700336\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6896/S0700336_es.pdf).

Manzanal, M. (2017). Territorio, Poder y Sojización en el Cono Sur latinoamericano. El caso argentino. *Mundo Agrario*, 2017, 18(37), 1-26. doi: <https://doi.org/10.24215/15155994e048>

Martín-López, B., y Montes, C. (2010). Funciones y servicios de los ecosistemas: una herramienta para la gestión de los espacios naturales. *Guía científica de Urdaibai*, 1, 13-32. UNESCO, Dirección de Biodiversidad y Participación Ambiental del Gobierno Vasco. España.

Martínez, J.P., Barbieri, P.A., Sainz Rozas, H.R., y Echeverría, H.E. (2013). Incorporación de cultivos de cobertura previos a soja en el sudeste bonaerense. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 10, 21-25.

Martínez Ortiz (Coordinador). (2007). *Producción agropecuaria y medio ambiente: propuestas compartidas para su sustentabilidad*. Fundación Vida Silvestre Argentina.

Mastrangelo, M. E. y Laterra, P. (2015). From biophysical to social-ecological trade-offs: integrating biodiversity conservation and agricultural production in the Argentine Dry Chaco. *Ecology and Society*, 20(1). Recuperado de: <https://www.jstor.org/stable/26269724>.

Mateucci, S. (2012). Ecorregión Pampa. En Morello, J., S. Matteucci, A. Rodríguez y M. Silva, M. (editores), *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos* (391- 446). Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora.

Mather, P. M., y Koch, M. (2011). *Computer processing of remotely-sensed images: an introduction*. Chichester, Inglaterra: John Wiley and Sons.

Mikkelsen, C. y Velázquez G. (2019). Localidades del sudeste de la provincia de Buenos Aires, aproximación al estudio de su dinámica poblacional. *Revista Huellas*, 23, N° 2, 169-190. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7172797>

Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2003). *Ecosystems and Human Well-being: a Framework for Assessment*. Island Press, Washington, D.C

Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment*. Washington, D.C.: Island Press, p. 266. Recuperado de <http://biblioteca.cehum.org/bitstream/123456789/143/1/Millennium%20Ecosystem%20Assessment.%20ECOSYSTEMS%20AND%20HUMAN%20WELL-BEING%20WETLANDS%20AND%20WATER%20Synthesi.pdf>

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2019). Datos Agricultura, Ganadería y Pesca. Datasets. Existencias Bovinos. Recuperados de: <https://datos.agroindustria.gob.ar/dataset/c19a5875-fb39-48b6-b0b2-234382722afb/archivo/1b920477-8112-4e12-bc2c-94b564f04183>

Meyfroidt, P., de Bremond, A., Ryan, C. M., Archer, E., Aspinall, R., Chhabra, A., ... & Zu Ermgassen, E. K. (2022). Ten facts about land systems for sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(7),. <https://doi.org/10.1073/pnas.2109217118>

Meyfroidt, P., Roy Chowdhury, R., de Bremond, A., Ellis, E.C., Erb, K.H., Filatova, T., Garrett, R.D., Grove, J.M., Heinimann, A., Kuemmerle, T., Kull, C.A., Lambin, E.F., Landon, Y., le Polain de Waroux, Y., Messerli, P., Müller, D., Nielsen, J., Peterson, G.D., Rodriguez

García, V., Schlüter, M., Turner, B.L., Verburg, P.H. (2018). Middle-range theories of land system change. *Global Environmental Change*, 53, 52-67. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.08.006>.

Modernel, P., Rossing, W. A., Corbeels, M., Dogliotti, S., Picasso, V., y Titttonell, P. (2016). Land use change and ecosystem service provision in Pampas and Campos grasslands of southern South America. *Environmental Research Letters*, 11(11), 113002.

Morales Poclava, C., Sobral, R.; Nakama, V., Volante, J. y Bianchi, A. (2015). *Evaluación de tierras mediante métodos paramétricos. Ajuste del sistema Índice de productividad (IP) y su aplicación mediante herramientas SIG para las provincias de Salta y Jujuy. Colección Investigación, desarrollo e innovación*. 1a Edición. – Salta, Ediciones INTA, 35 pp. Recuperado de: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_indice\\_productividad\\_salju\\_moralespoclava.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_indice_productividad_salju_moralespoclava.pdf)

Monzón, J., Calvino, P., Zubiaurre, J. y Andrade, F. (2017). Precision agriculture based on crop physiological principles improves whole-farm yield and profit: A case study. A case study in Argentina. *European Journal of Agronomy*, 99, 62-71. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.06.011>

Moret-Fernández, D., Peña-Sancho, C., Latorre, B., Pueyo, Y., y López, M. V. (2017). Estimating the van Genuchten retention curve parameters of undisturbed soil from a single upward infiltration measurement. *Soil research*, 55(7), 682-691.

Mukumbuta, I. y Hatano, R. (2020) Do tillage and conversion of grassland to cropland always deplete soil organic carbon? *Soil Science and Plant Nutrition*, 66:1, 76-83, doi: 10.1080/00380768.2019.1676135

Müller, F., Burkhard, B., Hou, Y., Kruse, H., Ma, L., Wangai, P. (2016). Indicators for ecosystem services. En Potschin, M., Haines-Young, R., Fish, R., Turner, R. (Editores), *Handbook on Ecosystem Services*. London, 157–170 pp.

Murillo, N. y Barral, P. (2020). Hacia una planificación para el desarrollo rural sostenible en el municipio de General Alvarado, provincia de Buenos Aires. En Giobellina, B., Murillo, N., Celiz, Y. (Editoras - Compiladoras); *Aportes para el ordenamiento territorial de Argentina: estudios de casos y experiencias en marcha* / 1a ed revisada. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ediciones INTA. Recuperado de <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/7801>

Murray D. y Taylor, P. (2007). Pesticide reduction: Strategies. En Pimentel, D. (Editor), *Encyclopedia of Pest Management*, Vol. II. CRC Press.

Naciones Unidas (2018), *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile. Recuperado de: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf)

NCGIA (National Center for Geographic Information and Analysis). (1989). The research plan of the National Center for Geographic Information and Analysis. *International Journal*

of *Geographical Information Systems*, 3 (2), 117–36. doi: <https://doi.org/10.1080/02693798908941502>

Neiman, G., Blanco, M., y Neiman, M. (2020). De contratistas de maquinarias a prestadores de servicios. Tensiones y disputas en la agricultura tercerizada de la región pampeana argentina. *Mundo Agrario*, 21(48), e155-e155.

Newbold, T., Hudson, L.N., Hill, S.L., Contu, S., Lysenko, I., Senior, R.A. y Day, J. (2015). Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 520 (7545), 45. doi: <https://doi.org/10.1038/nature14324> Paruelo, J. M., Guerschman, J. P., Piñeiro, G., Jobbagy, E. G., Verón, S. R., Baldi, G., y Baeza, S. (2006). Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: marcos conceptuales para su análisis. *Agrociencia*, 10(2), 47-61.

Nogar, G. y Capristo, V. (2012) Escenarios territoriales resultantes de las relaciones entre turismo y migración de amenidad. Estudio de caso en Tandil. En Otero, A. y González R. (Editores), *La sombra del turismo. Movilidades y desafíos de los destinos turísticos con migración de amenidad*. Sección tercera, 371-389. Editorial Educo – Universidad Nacional del Comahue. Neuquén. Argentina

Nogar, L. y Jacinto, G. (2010). Cambios en el uso del suelo del Partido de Tandil: nuevos actores productivos y transformaciones territoriales en pequeñas localidades (Sudeste de la Provincia de Buenos Aires). VII Bienal del Coloquio de Transformaciones Territoriales. Territorio y Territorialidades en Movimiento. Montevideo, Uruguay.

Nogar, A.G., Nogar, M.L., y Jacinto, G. (2017). Redes de poder, deslocalización y cambios en los usos productivos rurales pampeanos: El caso de Tandil. *Pampa (Santa Fe)*, (15), 31-46. Recuperado de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2314-02082017000100002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2314-02082017000100002&lng=es&tlng=es).

NPIC (National Pesticide Information Center). <http://npic.orst.edu/ingred/ppdmove.htm>

Oerke, E. 2006. Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, 144: 31-43.

O'Mara, F. P. (2012). The role of grasslands in food security and climate change. *Annals of Botany*, 110: 1263–1270.

OMS (Organización Mundial de La Salud). (2016). Use of malathion for vector control: report of a WHO meeting, Geneva. Recuperado de: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/207475/9789241510578\\_eng.pdf](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/207475/9789241510578_eng.pdf)

OMS (Organización Mundial de La Salud). (2020). Clasificación recomendada por la OMS de los plaguicidas por el peligro que presentan y directrices para la clasificación 2019. Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas. Recuperado de: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/337246>

Orue, M., Booman, G., Pedro, L. (2011). Uso de la tierra, configuración del paisaje y el filtrado de sedimentos y nutrientes por humedales y vegetación ribereña. En Laterra, P., Ospino-Sepulveda, L.J. y Lopez-Rodriguez, Angela Cecilia. (2019). Definición de Unidades



Ambientales de Análisis (UAA): método alternativo como base para la zonificación ambiental de ecosistemas marino-costeros. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, 48(1), 103-117. doi: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2019.48.1.760>

Jobbagy, E.G., Paruelo, J.M. (Editores). *Valoración de Servicios Ecosistémicos: Conceptos, Herramientas Y Aplicaciones Para El Ordenamiento Territorial*. INTA. pp. 237–264

Osorio García, S.N. (2012). El pensamiento complejo y la transdisciplinariedad: fenómenos emergentes de una nueva racionalidad. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, 20(1).

Otero, G. (2013). El régimen alimentario neoliberal y su crisis: Estado, Agroempresas multinacionales y Biotecnología. Antípoda. *Revista de Antropología y Arqueología*, 17, 49-78.

Pabst, H., Gerschlauser, F., Kiese, R. y Kuzyakov, Y. (2016). Land Use and Precipitation Affect Organic and Microbial Carbon Stocks and the Specific Metabolic Quotient in Soils of Eleven Ecosystems of Mt. Kilimanjaro, Tanzania. *Land Degradation and Development*, 27 (3): 592–602. Doi:10.1002/ldr.2406.

Paleólogos, M., Iermanó, M., Blandi, M., y Sarandón, S. (2017). Las relaciones ecológicas: un aspecto central en el rediseño de agroecosistemas sustentables, a partir de la Agroecología. *Redes, Santa Cruz do Sul*, 22(2), 92-115.

Papagno, S.G. y Vitale, J. (2019). IX. La dimensión de futuro en el desarrollo territorial rural frente a los desafíos de la Agenda 2030. En Cuervo, L. M. y Délano, M del P (Editores), *Planificación multiescalar: ordenamiento, prospectiva territorial y liderazgos públicos*; Volumen III. serie Seminarios y Conferencias N° 93 (LC/TS.2019/61), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Papazlatani, C.V., Karas, P.A., Tucut, G. y Karpouzias D.G. (2019). Expanding the use of biobeds: Degradation and adsorption of pesticides contained in effluents from seed-coating, bulb disinfection and fruit-packaging activities. *Journal of Environmental Management*, 248:109221.

Paruelo, J. (2008). La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. *Ecosistemas*, 17(3). Recuperado de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/83>

Paruelo, J. M. (2011). Valoración de servicios ecosistémicos y planificación del uso del territorio ¿Es necesario hablar de dinero? En Jobbagy, E.G.; Paruelo, J. M. y Littera, P. (Editores). *Valoración de servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*, 121–137.

Paruelo, J. M. (2016). El papel de la Ciencia en el proceso de Ordenamiento Territorial (y en otras cuestiones vinculadas con problemas ambientales). *Ecología austral*, 26(1), 51-58. doi: <https://doi.org/10.25260/EA.16.26.2.0.189>

- Paruelo, J.M., Guerschman, J.P., Piñeiro, G., Jobbágy, E.G., Verón, S.R., Baldi, G. y Baeza, S. (2006). Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: Marcos conceptuales para su análisis. *Agrociencia*. Vol. X, 2, 47 – 61.
- Paruelo, J.M., Jobbágy, E.G. y Laterra, P. (2014). Capítulo 1, Bases conceptuales del ordenamiento territorial rural. En Paruelo, J.M., Jobbágy, E.G., Laterra, P., Diéguez, H., García-Collazo, M.A., Panizza, A. (Editores); *Ordenamiento Territorial: Conceptos, Metodologías y Experiencias*. Ed. FAO/ MAG/ UBA, 10 – 31.
- Paruelo, J.M., Jobbágy, E.G., Laterra, P., Diéguez, H., García-Collazo, M.A., Panizza, A. (Editores). (2015). *Ordenamiento Territorial: Conceptos, Metodologías y Experiencias*. Ed. FAO/ MAG/ UBA.
- Paruelo, J. M., Laterra, P., y Viglizzo, E. (2014). Un plan operativo para incorporar los servicios ecosistémicos en el proceso de ordenamiento territorial. En Paruelo, J.M., Jobbágy, E.G., Laterra, P., Dieguez, H., García Collazo, M. y Panizza, A. (Editores) *Ordenamiento Territorial: Conceptos, Metodologías y Experiencias*. Buenos Aires, UBA/MAG/FAO.
- Paruelo, J. M., Texeira, M., Staiano, L., Mastrángelo, M., Amdan, L., y Gallego, F. (2016). An integrative index of Ecosystem Services provision based on remotely sensed data. *Ecological Indicators*, 71, 145-154. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.06.054>
- Pengue, W. (2009). Cuestiones económico-ambientales de las transformaciones agrícolas en las Pampas. *Revista Problemas del desarrollo*, 40(157), 137-161.
- Pascale Medina, C., Papagno, S.G., Michel, C.L. (2014). Capítulo 28. Ordenamiento Territorial, una alternativa frente al cambio climático. En Pascale Medina, C., Zubillaga, M. y Taboada, M. A. (Editores); *Suelos, producción agropecuaria y cambio climático: avances en la Argentina*; - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación.
- Paulin, M.J., Remme, R.P., Van der Hoek, D.C.J., De Knegt, B., Koopman, K. R., Breure, A.M., ... y De Nijs, T. (2020). Towards nationally harmonized mapping and quantification of ecosystem services. *Science of the Total Environment*, 703, 134973. p. 134973, Recuperado de: [10.1016/j.scitotenv.2019.134973](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134973)
- Pengue, W. (2014). Cambios y escenarios en la agricultura argentina del Siglo XXI. Buenos Aires: GEPAMA, 49 p.
- Pengue, W. y Rodríguez, A. (2018). Las Transformaciones Urbano-Rurales en la Argentina: conflictos, consecuencias y alternativas en los albores del milenio. En Pengue, W. y Rodríguez, A. (Editores), *Agroecología, Ambiente y Salud: Escudos Verdes Productivos y Pueblos Sustentables*, Buenos Aires y Santiago de Chile: Fundación Heinrich Böll, Oficina Regional para Cono Sur, 13-31.
- Pereira, P., Bogunovic, I., Muñoz-Rojas, M., y Brevik, E. C. (2018). Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5, 7-13.



Pérez Casar, M. L. (2019). *Conservar la biodiversidad, clave para garantizar la seguridad alimentaria*. Ediciones INTA. Recuperado de: <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/6538>

Pflugmacher, D., Rabe, A., Peters, M., y Hostert, P. (2019). Mapping pan-European land cover sing Landsat spectral-temporal metrics and the European LUCAS survey. *Remote Sensing of Environment*, 221, 583-595.

Phiri, D. y Morgenroth, J. (2017). Developments in Landsat Land Cover Classification Methods: A Review. *Remote Sensing*, 9(9): 967.

Piazza, G., Vibrans, A., Liesenberg, V. y Refosco, J.L. (2016). Object-oriented and pixel-based classification approaches to classify tropical successional stages using airborne high-spatial resolution images. *Giscience y Remote Sensing*, 53(2), 206-226.

Pino Andradem M. (2017). Los Sistemas Participativos de Garantía en el Ecuador. Aproximaciones a su desarrollo. *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (22), 120-145. Recuperado de: <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.22.2017.2679>

Piquer Rodríguez, M., Butsic, V., Gärtner, P., Macchi, L., Baumann, M., Pizarro, G. G., ... y Kuemmerle, T. (2018). Drivers of agricultural land-use change in the Argentine Pampas and Chaco regions, *Applied geography*, 91, 111-122. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.01.004>

Pinto, P., Fernández Long, M.E., Piñeiro, G. (2017). Including cover crops during fallow periods for increasing ecosystem services: ¿Is it possible in croplands of Southern South America? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 248, 48-57. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.028>

Piñeiro, V., Robles, M., y Elverdin, P. (2017). *El agro argentino: Un sistema productivo y organizacional eficiente*. Washington D. C., USA: IFPRI (International Food Policy Research Institute, Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias). 40 p.

Pons, X., Sevillano, E., Moré, G., Serra, P., Cornford, D., y Ninyerola, M. (2014). Distribución espacial de la incertidumbre en mapas de cubiertas obtenidos mediante teledetección. *Revista de teledetección*, (42), 1-10. doi: <https://doi.org/10.4995/raet.2014.3059>

Powers, R. P., y Jetz, W. (2019). Global habitat loss and extinction risk of terrestrial vertebrates under future land-use-change scenarios. *Nature Climate Change*, 9(4), 323-329.

Powles, S.B. (2008). Evolved glyphosate-resistant weeds around the world: lessons to be learnt. *Pest Management Science*; 64: 360-365.

Powles, S.B. y Yu Q. (2010). Evolution in action: plants resistant to herbicides. *Annual Review of Plant Biology*; 61: 317-347.

- Powlson, D.S., Gregory, P.J., Whalley, W.R., Quinton, J.N., Hopkins, D.W., Whitmore, A.P., ... y Goulding, K.W. (2011). Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services. *Food policy*, 36, S72-S87.
- Pries, C.E.H., Castanha, C., Porras, R.C., y Torn, M.S. (2017). The whole-soil carbon flux in response to warming. *Science*, 355(6332), 1420-1423.
- Quijas, S., Schmid, B. y Balvanera, P. (2010). Plant diversity enhances provision of ecosystem services: a new synthesis. *Basic and Applied Ecology*, v. 11, n. 7, p. 582-593.
- Ramankutty, N., Mehrabi, Z., Waha, K., Jarvis, L., Kremen, C., Herrero, M., y Rieseberg, L. H. (2018). Trends in global agricultural land use: implications for environmental health and food security. *Annual review of plant biology*, 69, 789-815.
- Reboratti, C. (2006). La Argentina rural entre la modernización y la exclusión. En: GERAIGES DE LEMOS, A.M.; ARROYO, M. y SILVEIRA, M.L. (editores). *América Latina: Cidade, campo e turismo*. Buenos Aires: CLACSO, p. 175 – 187.
- Reboratti, C. (2010). Un mar de soja: la nueva agricultura en Argentina y sus consecuencias. *Revista de Geografía Norte Grande*, núm. 45, 63-76. Pontificia Universidad Católica de Chile Santiago, Chile.
- REM (Red de Manejo de Plagas). (2021). *Malezas: continúa el avance de las resistencias*. Recuperado de: <https://www.aapresid.org.ar/blog/malezas-continua-avance-resistencias>
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., y Porter, J.P. (1991). RUSLE: Revised universal soil loss equation. *Journal of soil and Water Conservation*, 46(1), 30-33.
- Requesens, E., y Silva, L. (2011). Tendencias en el uso de la tierra y diversidad productiva en establecimientos agropecuarios del centro-sur de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *AgriScientia*, 28(1), 75-83.
- Richards, J. (1999). *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Berlin: Springer-Verlag, p. 240.
- Richards, J. A. y Jia, X. (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis. An introduction*. Berlin, Alemania: Springer.
- RIMISP Rural (Centro Latinoamericano para el Desarrollo). 2017. *Pobreza y desigualdad: informe latinoamericano 2017. No dejar a ningún territorio atrás*. Santiago de Chile. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10625/57430>
- Rodríguez, J. P., Beard Jr, T.D., Bennett, E.M., Cumming, G.S., Cork, S.J., Agard, J., ... y Peterson, G.D. (2006). Trade-offs across space, time, and ecosystem services. *Ecology and society*, 11(1). Recuperado de: <https://www.jstor.org/stable/26267786>.
- Roldan, M.F. (2012). Distribución del carbono orgánico particulado por tamaño de agregados bajo distintos sistemas de labranza. Tesis de Magister Scientiae dissertation, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, Buenos Aires, Argentina, pp. 84.

Rosegrant, M., Koo, J., Cenacchi, N., Ringler, C., Robertson, R., Fisher, M., Cox, C., Garrett, K., Perez, N. y Sabbagh, P. (2014). *Food security in a world of natural resource scarcity. The role of agricultural technologies*. International Food Policy Research Institute. Washington D. C.

Rositano, F. (2020). Desarrollo sustentable de sistemas agrícolas en la Región Pampeana (Argentina): factores ambientales y productivos que determinan la provisión de servicios de los ecosistemas. En Durand, P.B. y Gelabert, C. (compiladores), *Aportes de los objetivos de desarrollo sostenible para una agricultura sustentable en la Argentina: Una mirada social desde la universidad*. 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Editorial Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía; 121-140. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11336/135068>

Rosset, P. y Altieri, M.A. (2018). *Agroecología. Ciencia y Política*. Barcelona: Icaria.

Ruiz de Galarreta, V. A. y Banda Noriega, R. (2005). Geohidrología y evaluación de nitratos del Partido de Tandil, Buenos Aires, Argentina. En Actas del IV Congreso Argentino de Hidrogeología y II Seminario Hispano Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea. p. 99-108. Río Cuarto.

Saarikoski, H., Primmer, E., Saarela, S. R., Antunes, P., Aszalós, R., Baró, F., ... y Young, J. (2018). Institutional challenges in putting ecosystem service knowledge in practice. *Ecosystem services*, 29, 579-598. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.07.019>

SAGyP (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca) – INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). (1990). *Atlas de Suelos de la República Argentina*. Buenos Aires. Tomo I, 83-202. Proyecto PNUD Argentina 85/019.

SAGyP-INTA (Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca – Instituto de tecnología agropecuaria). (1989). *Proyecto PNUD Argentina 85/019. Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina: 473 p.

Sala, O. E. et al. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287, 1770–1774 (2000). doi: 10.1126/science.287.5459.1770

Salinas-Castillo, W.E., Terrazas-Ruiz, M., Mora-Olivo, A. y Paredes-Hernandez, C.U. (2020). Análisis multitemporal de cambios de uso de la tierra en San Fernando, Tamaulipas, durante el periodo 1987 a 2017. *Ciencia UAT*, 14(2), 160-173. doi: <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i2.1298>

Salvio, C., Manetti, P. L., Clemente, N. L., y López, A. N. (2015). Scarítes anthracinus (coleoptera: carabidae): efecto tóxico de clorpirifos y de cipermetrina en bioensayos de laboratorio. *Ciencia del suelo*, 33(1), 0-0. Recuperado de: [http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol\\_33n1/11-18%20p%E2%80%A0gs%201CS%20338%20Salvio%20%20julio%2010.pdf](http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_33n1/11-18%20p%E2%80%A0gs%201CS%20338%20Salvio%20%20julio%2010.pdf)

Sánchez, R.O., Mattus, M.G. y Zulaica, M.L. (1999). Compartimentación Ecológica y Ambiental del Partido de Tandil (Provincia de Buenos Aires). En Congreso ambiental '99.

Actas del Congreso Ambiental. Vol. 99, 338-346. Programa de Estudios Ambientales, Universidad Nacional de San Juan, Argentina.

Sánchez, R.O. y Zulaica, M.L. (2002). Ordenamiento morfoedáfico de los sistemas ecológico-paisajísticos del Partido de Tandil (Provincia de Buenos Aires). *Contribuciones Científicas*, Sociedad Argentina de Estudios Geográficos, 63, 387-402. Recuperado de: [pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=15427544](http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=15427544).

Sánchez R.O. y Nuñez, M.V. (2004). El Sistema de Tandilia: una aproximación a la definición de su espacialidad y compartimentación territorial, 311-321. En Segundo Congreso de la Ciencia Cartográfica y IX Semana Nacional de Cartografía. Buenos Aires.

Sandoval, C., Sanhueza, A., y Williner, A. (2015). La planificación participativa para lograr un cambio estructural con igualdad: las estrategias de participación ciudadana en los procesos de planificación multiescalar. Área de Gestión del Desarrollo Local y Regional del Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social (ILPES) de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Naciones Unidas, Santiago de Chile. Recuperado de: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39055/7/S1501278\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39055/7/S1501278_es.pdf)

Santé Rivera, I. y Crecente Maseda, R. (2005). Evaluación de métodos para la obtención de mapas continuos de aptitud para usos agroforestales. *Geofocus*, 5, 40-68. Recuperado de [http://www.miramon.uab.cat/geofocus\\_ojs/index.php/geofocus/article/view/58](http://www.miramon.uab.cat/geofocus_ojs/index.php/geofocus/article/view/58)

Sarandón, S.J. (2002). El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. En Sarandón, S.J. (Editor). *Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable* (pp. 393-414). La Plata: Ediciones Científicas Americanas.

Sarandón, S.J. y Chamorro, A.M. (2003). Policultivos en los sistemas de producción de granos. En *Producción de granos: bases funcionales para su manejo*. 4 ed. Buenos Aires, AR. Editorial Facultad de Agronomía. P 353-360.

Sarandón, S. J. (2020). *Biodiversidad, agroecología y agricultura sustentable*. Libros de Cátedra. DOI: <https://doi.org/10.35537/10915/109141>

Sarandón, S.J. (2021). Agroecología: una revolución del pensamiento en las ciencias agrarias. *Ciencia, Tecnología y Política*; no. 6 <https://doi.org/10.24215/26183188e055>

Sarandón SJ, Marasas ME, Dipietro F, Belaus A, Muiño W, Oscares E. 2006a. Evaluación de la sustentabilidad del manejo de suelos en agroecosistemas de la provincia de La Pampa, Argentina, mediante el uso de indicadores. *Revista Brasileira de Agroecología* 1(1): 497-500.

Sarandón, S.J., y Flores, C.C. (2009). Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: Una propuesta metodológica. *Agroecología*, 4, 19-28. Recuperado a partir de <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/117131>

Sarandón, S.J. y Flores, C.C. (2014). *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*. Colección libros de cátedra. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. 131-158.

Sarandón, E. (2015). *Social and environmental externalities of soybean production in Argentina: The hidden costs of the model* (tesis de maestría). Master of Arts in Development Management and Policy, Georgetown University, USA.

Sarandón, S.J. (2020). Agrobiodiversidad, su rol en una agricultura sustentable. Capítulo 1. En Sarandón, S. J., *Biodiversidad, agroecología y agricultura sustentable*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP), 13-36. doi: <https://doi.org/10.35537/10915/109141>.

Sarandón, S.J. (2021). Agroecología: una revolución del pensamiento en las ciencias agrarias Agroecology: Ciencia, Tecnología y Política. Universidad Nacional de La Plata, Argentina. 1-9. doi: <https://doi.org/10.24215/26183188e055>

Satorre, E. H. y Slafer, G. A. (1999). *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*. Food Products Press New York, USA: 503.

Satorre, E. 2015. Los sistemas de producción agrícola y el problema de malezas. Oportunidades y limitaciones para su manejo integrado. Actas XXII Congreso Latinoamericano de Malezas. ALAM, ASACIM. Buenos Aires, Argentina, 20-22.

Satorre, E.H. y Bert, F. (2014). Agricultura por ambientes: Conceptos para su incorporación eficaz al manejo de nuestros campos. *Revista Cultivar decisiones*, 13, 5 pp. Recuperado de: [www.cultiagro.org](http://www.cultiagro.org).

Satorre, E.H. (2015). Los sistemas de producción agrícola y el problema de malezas. Oportunidades y limitaciones para su manejo integrado. Actas XXII Congreso Latinoamericano de Malezas. 9 y 10 de septiembre. ALAM, ASACIM. Buenos Aires, Argentina. pp. 20-22.

Satorre, E.H. (2019). Ciencia y tecnología en el problema de las malezas de los cultivos extensivos de granos. *Anales de la ANAV*, 70. Recuperado de: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/87349>.

Sayles, J.S. y Baggio, J.A. (2017). Social–ecological network analysis of scale mismatches in estuary watershed restoration. *Proc Natl Acad Sci* 114:E1776–E1785. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1604405114>

Sbarbati Nudelman, N. (2011). Uso Sustentable de Agroquímicos. Debates a nivel nacional e internacional. *Anales de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria*. Tomo, LXV: 471-482.

Schroeder, T.A., Cohen, W.B., Song, C., Canty, M. J. y Yang, Z. (2006). Radiometric correction of multi-temporal Landsat data for characterization of early successional forest patterns in western Oregon. *Remote Sensing of Environment*, vol. 103, 16-26.

Scotta, E. y Gvozdenovich J.J. (2014). Factores C para el modelo USLE. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas". Producción sustentable en ambientes frágiles. Bahía Blanca, 5 al 9 de mayo de 2014.

Scursoni, J., Vera, A., Oreja, F., Kruk, B., y De la Fuente, E. (2019). Weed management practices in Argentina crops. *Weed Technology*, 33(3), 459-463. DOI:10.1017/wet.2019.26

Shennan, C., Pisani Gareau, T., Sirrine, J.R. (2004) Agroecological approaches to pest management in the US. En Pretty, J. (Editores), *The pesticide detox, solutions for safe agriculture*, 193–211. London, UK: Earthscan Publications Ltd.

Sequeira, N. y Vazquez, P. (2022). Impacto de la erosión hídrica sobre la rentabilidad de los productores agrícolas en el partido de Tres Arroyos, Región Pampeana Austral, Argentina. *Revista Geográfica de América Central*, (68), 379-408. doi: <https://dx.doi.org/10.15359/rgac.68-1.14>

Sequeira, N. D., Vazquez, P., y Sacido, M. (2019). Erosión hídrica y su relación con el avance de la agricultura en el sudeste bonaerense, Argentina. El caso del partido de Benito Juárez durante las campañas 1989/90, 2002/03 y 2014/15. *Papeles de Geografía*, (65), 106–120. doi: <https://doi.org/10.6018/geografia.395691>

Sequeira, N., Vazquez, P., Sacido, M. (2021). Efectos de la agriculturización sobre la extracción de nutrientes en la Región Pampeana Argentina. el caso del N y P en el partido de Benito Juárez. *Revista Geoambiente On-line*, 40, 1 -22.

Sequeira, N.D., Vazquez, P.S., y Zulaica, M.L. (2016). Impactos sobre el ecosistema derivados de la agriculturización en el partido de Benito Juárez, Buenos Aires, período 2003-2011. *Revista Iberoamericana Universitaria en Ambiente, Sociedad y Sustentabilidad (AMBIENS)*, 2, 30-51.

Sequeira, N.D., Vazquez, P.S., Sacido, M.B., y Daga, D.Y. (2021). Zonificación agroecológica del partido de Benito Juárez (Argentina): agriculturización y consecuencias ambientales en una porción de la Región Pampeana Argentina, *Investigaciones Geográficas*, (76): 285-307.

SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria) (2012). Manual para la aplicación de fitosanitarios. 104 p. Buenos Aires, Argentina: Ediciones SENASA.

SIIA (2017). Datos Abiertos de Agroindustria, Ministerio de Agroindustria de la Presidencia de la Nación Argentina. Recuperado de: <https://www.agroindustria.gob.ar/datosabiertos/>.

Singh, R.K., Murty, H.R., Gupta, S.K. y Dikshit, A.K. (2009). An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecol. Indic.*, 9:189-212.



Shi, Y., Xiao, J., Shen, Y., y Yamaguchi, Y. (2012). Quantifying the spatial differences of landscapes change in the Hai River Basin, China, in the 1990s. *International Journal of Remote Sensing*, 33(14), 4482-4501.

SMN (Servicio Meteorológico Nacional). (2018). Informe especial de la sequía 2017-2018 en la Región Pampeana. Buenos Aires, Argentina: Ministerio de Defensa, Presidencia de la Nación.

[https://www.smn.gob.ar/sites/default/files/Informe\\_sequ%C3%ADa\\_regi%C3%B3npampeana.pdf](https://www.smn.gob.ar/sites/default/files/Informe_sequ%C3%ADa_regi%C3%B3npampeana.pdf)

Solbrig, O.T. (2004). Ventajas y desventajas de la agrobiotecnología. En A. Bárcena, J. Katz, C. Morales y M. Schapper (Editores), *Los transgénicos en América Latina y el Caribe: un debate abierto*, 33-69. Santiago de Chile: CEPAL.

Somoza, A., Vazquez, P.S y Zulaica, L. (2019). Implementación de Buenas Prácticas Agrícolas para la gestión ambiental rural. *Revista de Investigaciones Agropecuarias RIA*, 44(3), 398-423.

Somoza, A.; Vazquez, P. S, Zulaica, L. y Sacido, M. (2020). Dinámica espacio-temporal de usos del suelo en sistemas ecológicos de la región pampeana austral, Argentina. *Agriculturización en el partido de Tandil. M+ A, revista electrónica de medioambiente*, 21(1), 82-101.

Somoza A., Vazquez P.S., Sacido M.B. y Zulaica, M.L. (2021). Zonificación agroecológica del partido de Tandil (Argentina): aportes para gestión de servicios ecosistémicos, *Cadernos de Geografía*, 43, 107 – 126. doi: [https://doi.org/10.14195/0871-1623\\_43\\_8](https://doi.org/10.14195/0871-1623_43_8)

Somoza, A. y Vazquez, P. S. (2022). Adopción del agronegocio y estrategias para el ordenamiento ambiental territorial. Unidades de Agriculturización y Unidades Ambientales en el partido de Tandil, Región Pampeana Argentina. *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNR*. En prensa.

Soong, J.L., Fuchslueger, L., Marañón-Jimenez, S., Torn, M.S., Janssens, I.A., Penuelas, J., Richter, A. (2020). Microbial carbon limitation: the need for integrating microorganisms into our understanding of ecosystem carbón cycling. *Global change biology* 26(4):1953-1961.

Soriano, A., León, R.J., Sala, O.E., Lavado, R.S., Deregibus, V.A., Cahupé, M.A., Scaglia, O.A., Velázquez, C.A., Lemcoff, J.H. (1991). Río de la Plata grasslands. En Coupland, R.T., (Editor), *Ecosystems of the world 8A. Natural grasslands*, Elsevier, New York, 367–407.

Souza Casadinho, J. (2018). El proceso de artificialización de la naturaleza y el desarrollo de la agroecología en la Argentina. *Revista Cultura Económica*, 36 (96). Recuperado de: <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/9267>

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs,R., Carpenter, S.R., de Vries, W., de Wit, C.A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace,G.M., Persson, L.M., Ramanathan, V., Reyers, B. y Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet, *Science*, 347.

Steinbach, H., Alvarez, R. (2006). Changes in soil organic carbon contents and nitrous oxide emissions after introduction of no-till in Pampean agroecosystem. *Journal of Environmental Quality*, 35: 3-13.

Stockmann, U., Adams, M.A., Crawford, J.W., Field, D.J., Henakaarchchi, N., Jenkins, M., ... y Zimmermann, M. (2013). The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 164, 80-99.

Studdert, G. y Echeverria, H. (2002). Soja, girasol y maiz en los sistemas de cultivos en el sudeste bonaerense. Capítulo 14. En Andrade, F., Sadras, V. (Editores). *Bases para el manejo del maiz el girasol y la soja*. 2da Edicion. INTA, FCA UNMP. p. 450.

Studdert, G., Echeverria, H. y Casanovas, E. (1997). Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic Argiudoll. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1466-1472.

Stupino, S., Iermanó, M.J., Gargoloff, N.A. y Bonicatto, M.M. (2014). La biodiversidad en los agroecosistemas. Capítulo 5, 131-158. En Sarandón, S.J. y Flores C.C. (Editores); *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*. La Plata: EduLP. Disponible en <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/37280>.

Suárez Venero, G.M. (2014). Notes on the agroecological zoning crop. Special in Cuba. *Cultivos Tropicales*, 35(4), 36-44. Recuperado de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362014000400005&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000400005&lng=en&nrm=iso&tlng=es)

Surendra, K.D. (2019). The New Integrated Pest Management Paradigm for the Modern Age, *Journal of integrated pest management*, 10, 1, 12. doi: <https://doi.org/10.1093/jipm/pmz010>

Syrbe, R. U., Schröter, M., Grunewald, K., Walz, U., y Burkhard, B. (2017). 5.1. What to map? Mapping Ecosystem Services, 151. En Burkhard, B., Maes, J. (Editores). *Mapping Ecosystem Services*, Pensoft Publishers, Sofia, 374 pp.

Swaminathan, M.S. (1990). *Changing Nature of the Food Security Challenge: Implications for Agricultural Research and Policy*. Consultative Group on International Agricultural Research.

Sztulwark, S.G., Girard, M. (2017). El desarrollo de la agro-biotecnología en Argentina desde una perspectiva de cambio estructural; Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE; Yura; 9; 52-70. Recuperado de: [http://world\\_business.espe.edu.ec/edicion-n-9-enero-marzo/](http://world_business.espe.edu.ec/edicion-n-9-enero-marzo/)

Tait, J., Morris, D. (2000). Sustainable development of agricultural systems: Competing objectives and critical limits. *Futures*, 32, 247–260. doi: [https://doi.org/10.1016/S0016-3287\(99\)00095-6](https://doi.org/10.1016/S0016-3287(99)00095-6)

Tschumi, M., Albrecht, M., Entling, M. H., & Jacot, K. (2015). High effectiveness of tailored flower strips in reducing pests and crop plant damage. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1814), 20151369. <http://doi.org/10.1098/rspb.2015.1369>



- Tamburini, G., De Simone, S., Sigura, M., Boscutti, F., y Marini, L. (2016). Conservation tillage mitigates the negative effect of landscape simplification on biological control. *Journal of Applied Ecology*, 53(1), 233-241. doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12544>
- Tamagno, L.N., Iermanó, M.J. y Sarandón, S.J. (2018). Los saberes y decisiones productivo-tecnológicas en la agricultura familiar pampeana: Un mecanismo de resistencia al modelo de agricultura industrial. *Mundo Agrario*, 19(42). doi: <https://doi.org/10.24215/15155994e100>
- Teruggi, M. y Kilmurray, J. (1980). Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires. En *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba. II: 919-965.
- Teubal, M. (2006). Expansión del modelo sojero en la Argentina. De la producción de alimentos a los commodities. *Realidad económica*, 220, 71-96.
- Teubal, M. (2009). Expansión de la Soja Transgénica en la Argentina. En Perez, M. (Editor). *Promesas y peligros de la liberalización del comercio agrícola: lecciones desde América Latina*. La Paz, 73-90. Grupo de Trabajo de Desarrollo y Medio Ambiente en las Américas. Recuperado de: [http://ase.tufts.edu/gdae/WorkingGroupAgric\\_Spanish](http://ase.tufts.edu/gdae/WorkingGroupAgric_Spanish).
- Thompson, J., Scoones, I. (2009). Addressing the dynamics of agri-food systems: An emerging agenda for social science research. *Environmental Science & Policy*, 12, 4, 386–397. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.03.001>
- Thornthwaite, C.W. y Mather, J.R. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Laboratory of Climatology*. 10, Centertown, N. J.
- Tiscornia, G., Aackar, M. y Drazeiro, A. (2014). Efectos de la intensificación agrícola sobre la estructura y diversidad del paisaje en la región sojera de Uruguay. *Ecología Austral*, 24(2), 212-219. doi: <https://doi.org/10.25260/EA.14.24.2.0.24>
- Tittonell, P. (2014). Ecological intensification of agriculture– sustainable by nature. *Current Opin Environ Sust* 8:53-61. doi: 10.1016/j.cosust.2014.08.006
- Tittonell, P. (2018). Chapter 13. Ecological Intensification of Agriculture. En *Agriculture & Food Systems to 2050*. Recuperado de: [www.worldscientific.com](http://www.worldscientific.com)
- Tittonell, Pablo. (2019). Las transiciones agroecológicas: múltiples escalas, niveles y desafíos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo, 51(1), 231-246. Recuperado en 28 de enero de 2023, de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1853-6652019000100017&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-6652019000100017&lng=es&tlng=es)
- Tittonell, P. (2020). Assessing resilience and adaptability in agroecological transitions. *Agricultural Systems*, 184, 102862. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102862>
- Tscharntke, T., Clough, Y., Wanger, T. C., Jackson, L., Motzke, I., Perfecto, I., ... y Whitbread, A. (2012). Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification, *Biological conservation*, 151(1), 53-59.

UNEP/CDB/COP/5. (2000). *The Biodiversity Agenda. Decisiones adoptadas por la conferencia de las partes en el convenio sobre la diversidad biológica en su quinta reunión.* Apéndice. Nairobi.

USDA (Natural Resources Conservation Service). (2014). *Keys to Soil Taxonomy.* Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 12th ed. Washington, DC. Gobierno de los Estados Unidos. Recuperado de: <https://www.nrcs.usda.gov/Internet/>.

USGS (U.S. Geological Survey). (2013). Using the USGS Landsat 8 Product. U.S. Department of the Interior. Recuperado de: <http://landsat.usgs.gov>.

USGS (U.S. Geological Survey). (2020). Landsat—Earth Observation Satellites. Fact Sheet 2015–3081, ver. 1.2. doi: <https://doi.org/10.3133/fs20153081>

Vagaría, A.R., y Gaspari, F. (2015). Estimación de la admisibilidad de pérdidas de suelo por erosión hídrica en la cuenca del arroyo Napaleofú, provincia de Buenos Aires-Argentina. *Revista Geográfica Venezolana*, 56(1), 105-119.

Valarezo Beltrón, C.O., Julca-Otiniano, A., y Rodríguez Berrío, A. (2020). Evaluación de la sustentabilidad de fincas productoras de limón en Portoviejo, Ecuador. *Rivar (Santiago)*, 7(20), 108-120. doi: <http://dx.doi.org/10.35588/rivar.v7i20.4482>

Van Oudenhoven, A. P., Schröter, M., Drakou, E. G., Geijzenborffer, I. R., Jacobs, S., van Bodegom, P. M., ... y Albert, C. (2018). Key criteria for developing ecosystem service indicators to inform decision making. *Ecological Indicators*, 95, 417-426.

Vargas, L., Willemsen, L. y Hein, L. (2019). Assessing the Capacity of Ecosystems to Supply Ecosystem Services Using Remote Sensing and An Ecosystem Accounting Approach. *Environmental Management*, 63, 1–15. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1110-x>

Vayá, F.S. y San Martín González, E. (2020). Casos de éxito de desarrollo rural en Europa: una primera aproximación a su aplicabilidad en España. *International Review of Economic Policy*, 2, 2: 46-74. Recuperado de <https://ojs.uv.es/index.php/IREP/article/view/19350>

Vazquez, P. (2004). *Comparación temporal de la sustentabilidad de dos modalidades de producción agrícolas (Tandil, Argentina)*. Tesis de Licenciatura en Diagnóstico y Gestión Ambiental, Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Argentina.

Vazquez, P., Sacido, M. y Ruiz Gonzales, D. (2020). Riesgos Ambientales. Partido de Tres Arroyos. Región Pampeana Austral. Argentina. *Raega - O Espaço Geográfico em Análise*, 1, (4), 49-66.

Vazquez, P., Sacido, M., y Zulaica, L. (2012a). Transformaciones agroproductivas e indicadores de sustentabilidad en la Cuenca del río Quequén Grande (provincia de Buenos Aires, Argentina), durante los períodos 1988-1998 y 1998-2008. *Cuadernos Geográficos*, (50), 119-146.

Vazquez, P.; Sacido, M. y Zulaica, L. (2012b). Técnicas de análisis para el ordenamiento territorial de cuencas agropecuarias: Aplicaciones en la Pampa Austral, Argentina. *Scripta Nova*, XVI, 1–19, Barcelona. Recuperado de: <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-392.htm>.

Vazquez, P.S. y Somoza, A. (2020). Cuenca hidrográfica agropecuaria y evolución de los servicios ecosistémicos en la región sur pampeana Argentina. *Papeles de Geografía*, (66): 103-122.

Vazquez, P., y Zulaica, L. (2011). Cambios en el uso de la tierra del partido de Tandil y principales impactos ambientales. *Revista Párrafos geográficos*, 10(2), 242-267.

Vazquez, P., y Zulaica, L. (2012b). Transformaciones agroproductivas e indicadores de sustentabilidad en el partido de Tandil (provincia de Buenos Aires), durante los períodos 1988-2002 y 2002-2010. *Campo-Territorio, Revista de Geografía Agraria*, 7(13), 5-39.

Vazquez, P., y Zulaica, L. (2013). Intensificación agrícola y pérdida de servicios ambientales en el partido de Azul (Provincia de Buenos Aires) entre 2002-2011. *Sociedade & Natureza*, 25, (3), 543-556.

Vazquez, P., Zulaica, L., y Ferreyra, M. V. (2014b). Expansión agrícola e impactos territoriales en la Cuenca Superior del Arroyo Languetú (Partido de Tandil, provincia de Buenos Aires, Argentina). *Geografia em Questão*, 7(01), 177-202.

Vazquez, P., Zulaica, L., y Benavidez, B. (2017). Agriculturización e impactos ambientales en el partido de Necochea, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Raega-O Espaço Geográfico em Análise*, 39, 202-218.

Vazquez, P., Zulaica, L., Mikkelsen, C., Somoza, A., y Sacido, M. (2018). Zonificación ecológica y expansión agropecuaria en el partido de Tres Arroyos: un estudio de caso en la región pampeana argentina. V Jornadas Nacionales de Investigación en Geografía Argentina y XI Jornadas de Investigación y Extensión del Centro de Investigaciones Geográficas. 16 al 19 de mayo, Tandil, Buenos Aires, Argentina.

Vazquez, P., Zulaica, L., y Requesens, E. (2016). Análisis ambiental de los cambios en el uso de las tierras en el partido de Azul (Buenos Aires, Argentina). *AgriScientia*, 33(1), 15-26.

Vazquez, P., Zulaica, L., y Sequeira, N. D. (2017a). Tasas de cambio de uso del suelo y agriculturización en el partido de Lobería, Argentina. Ciencias Agronómicas. *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias UNR*, 17(29), 028-036.

Vazquez, P. S., Zulaica, M. L., Sequeira, N. D., y Daga, D. Y. (2019). Expansión agrícola y potenciales implicancias sobre los servicios ecosistémicos en los paisajes del partido de Necochea, Buenos Aires, Argentina. *Acta Geográfica*, 13(31): 171-196.

Vazquez, P., Zulaica, L., y Somoza, A. (2019). Agriculturización, impactos ambientales y zonificación ecológica en el partido de Tres Arroyos (provincia de Buenos Aires, Argentina). Período 2002 y 2017. *GOT: Revista de Geografía e Ordenamento do Território*, (18), 209.

Vazquez, P., Zulaica, L., y Somoza, A. (2019c). Tasas de cambio de uso del suelo y agriculturización en el partido de Tandil, Argentina. *Geoambiente on-line*, (34), 66-86.

Vega Guzmán, Á., López-García, J., y Manzo Delgado, L.D.L. (2008). Análisis espectral y visual de vegetación y uso del suelo con imágenes Landsat ETM+ con apoyo de fotografías aéreas digitales en el Corredor Biológico Chichinautzin, Morelos, México. *Investigaciones geográficas*, (67), 59-75.

Velten, S., Leventon, J., Jager N., y Newig J. (2015). What Is Sustainable Agriculture? A Systematic Review. *Sustainability*, 7(6):7833-7865. doi: <https://doi.org/10.3390/su7067833>

Verellen M.C., Beier L. y Sánchez R.O. (2009). Delimitación y ordenación de las cuencas hidrológicas del Partido de Tandil. *Contribuciones Científicas, GAEA (Sociedad Argentina de Geografía)*, 70, 373-383.

Vergara-Buitrago Paulina-Alejandra. (2018). Los saberes campesinos como estrategia de desarrollo rural en la Serranía de los Yariguíes (Santander, Colombia). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. Vol. 38., 2: 461. <http://dx.doi.org/10.5209/AGUC.62488>

Viglizzo, E. *Manual AGRO-ECO-INDEX*. Buenos Aires: Programa Nacional de Gestión Ambiental Agropecuaria-Proyecto de Eco-Certificación, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2003.

Viglizzo, E. (2007). Desafíos y oportunidades de la expansión agrícola Argentina. En Martínez Ortiz, U. (Coordinador). *Producción agropecuaria y medio ambiente: propuestas compartidas para su sustentabilidad*, 1a ed. Buenos Aires : Fundación Vida Silvestre Argentina.

Viglizzo, E. (2008). Agricultura, clima y ambiente en Argentina: tendencias, interacciones e impacto. En Solbrig y Adámoli, *Agro y ambiente: una agenda compartida para el desarrollo sustentable*. Buenos Aires: Foro J de la Cadena Agroindustrial Argentina.

Viglizzo, E. F. (2014). El contexto ecológico-ambiental en el desarrollo sustentable del espacio rural. *Revista industrial y agrícola de Tucumán*, 91(2), 31-34. Recuperado de: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-30182014000200005&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-30182014000200005&lng=es&nrm=iso)

Viglizzo, E. F. (2018). Cambio climático y seguridad alimentaria global: Oportunidades y amenazas para el sector rural argentino. *Anales de la ANAV*, 69.

Viglizzo, E.L. Carreño, H., Pereyra, F., Ricard, J., Clatt, D., Pincén. (2010). Dinámica de la frontera agropecuaria y cambio tecnológico. En Viglizzo, E.F., Jobbágy, E. (Editores). *Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina y su impacto ecológico - ambiental*. Ediciones INTA. Buenos Aires. p. 102.

Viglizzo, E., Frank, F., Carreño L.V., Jobbágy, E., Pereyra, E., Clatt, J., ... y Ricard, F. (2011). Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global change biology*, 17(2), 959-973.

Viglizzo, E., y Jobbágy, E. (Editores) (2010). *Expansión de la frontera agropecuaria en argentina y su impacto ecológico ambiental*. 102 p. Buenos Aires, Argentina: Ediciones INTA.

Viglizzo E.F., Paruelo, J.M., Lateral, P., y Jobbágy, E.G. (2012). Ecosystem service evaluation to support land-use policy, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 154, 78-84. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.07.007>.

Viglizzo, E.F., Pordomingo, A.J., Castro, M.G., Lértora, F.A. (2003). Environmental assessment of agriculture at a regional scale in the Pampas of Argentina. *Environmental monitoring and assessment*, 87(2), 169-195. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1024654316879>

Viglizzo, E.F., Pordomingo, A.J., Castro, M.G. Lértora, F. (2004). La sustentabilidad ambiental de la agricultura pampeana. ¿Oportunidad o amenaza? Seminario Agro Eco Negocios. Un desafío para el MERCOSUR. Bolsa de Cereales, 23.

Vila-Aiub M. y Fischer A. (2014). Capítulo XVII. Resistencia a Herbicidas. En Fernández, O.A. ... [et.al.] (Editores); *Malezas e invasoras de la Argentina: ecología y manejo* - 1a ed. - (423-449). Bahía Blanca: Editorial de la Universidad Nacional del Sur. Ediusn. Recuperado de: <https://ediuns.com.ar/wp-content/uploads/2018/02/Malezas-I-web.pdf>

Villamil, C.B., Delucchi, G., Long, M.A. (1996). Cincuenta especies prioritarias para su conservación en la provincia de Buenos Aires. Resúm. XXV Jornadas Argentinas de Botánica: 517. Mendoza.

Villarino, S.H., Studdert, G.A., Lateral, P., y Cendoya, M.G. (2014). Agricultural impact on soil organic carbon content: Testing the IPCC carbon accounting method for evaluations at county scale. *Agriculture, ecosystems & environment*, 185, 118-132.

Villarino S. H. y Studdert, G. A. (2016). Método inventario del IPCC nivel 2: Estimación del carbono del suelo en el Chaco Semiárido. En XXV Congreso argentino de la ciencia del suelo "Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo". Río Cuarto.

Volante, J., Mosciaro, J., Poclava, M.M., Vale, L., Castrillo, S., Sawchik, J., ... y Paruelo, J. (2015). Expansión agrícola en Argentina, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Chile entre 2000-2010. Caracterización espacial mediante series temporales de índices de vegetación. *RIA, Revista de investigaciones agropecuarias*, 41(2), 179-191.

Wolansky, M. 2011. Plaguicidas y salud humana. *Ciencia Hoy*; 21: 23-29.

Wolff, S., Schulp, C.J. y Verburg P.H. (2015). Mapping ecosystem services demand: a review of current research and future perspectives. *Ecological Indicators*, 55, 159-171. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.016>

Wingeyer, A.B., Amado, T.J.C., Pérez-Bidegain, M., Studdert, G.A., Varela, C.H.P., Garcia, F.O. y Karlen, D.L. (2015). Soil quality impacts of current South American agricultural practices. *Sustainability*, 7, 2213-42. doi: <https://doi.org/10.3390/su7022213>

- Wischmeier, W. H. y Smith, D.D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses*. USDA. Agricultural Research Service Handbook 537. 58 pp.
- Wolff, S.; Schulp, C.J.; Verburg P.H. (2015). Mapping ecosystem services demand: a review of current research and future perspectives. *Ecological Indicators*, 55: 159-171.
- Wright, A. y Hons, F. (2005). Soil carbon and nitrogen storage in aggregates from different tillage and crop regimes. *Soil Science Society of America Journal*, 69(1), 141-147. doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0141a>
- Yang, S., Zhao W., Pereira P. y Liu, Y. (2019). Socio-cultural valuation of rural and urban perception on ecosystem services and human well-being in Yanhe watershed of China. *Journal of environmental management*, 251, 109615. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109615>
- Zalba, S.M., Villamil, C.B. (2002). Woody plant invasion in relictual grasslands. *Biological Invasions*, 4: 55–72.
- Zhang, W., Ricketts, T.H., Kremen, C., Carney, K., y Swinton, S. M. (2007). Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological economics*, 64(2), 253-260. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.02.024>
- Zhang, X., Yao, G., Vishwakarma, S., y Davidson, E. (2020). Measuring sustainable agriculture on a national scale. *Earth and Space Science Open Archive*. doi: <https://doi.org/10.1002/essoar.10502709.1> 1-15pp
- Zhang, X., Yao, G., Vishwakarma, S., Dalin, C., Komarek, A. M., Kanter, D. R., ... y Davidson, E. A. (2021). Quantitative assessment of agricultural sustainability reveals divergent priorities among nations. *One Earth*, 4(9), 1262-1277. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.08.015>
- Zomer, R. J., Neufeldt, H., Xu, J., Ahrends, A., Bossio, D., Trabucco, A., ... y Wang, M. (2016). Global Tree Cover and Biomass Carbon on Agricultural Land: The contribution of agroforestry to global and national carbon budgets. *Scientific Reports*, 6(1), 1-12.
- Zomer, R. J., Bossio, D. A., Sommer, R., y Verchot, L. V. (2017). Global sequestration potential of increased organic carbon in cropland soils. *Scientific Reports*, 7(1), 1-8. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15794-8>
- Zulaica, M. L. (2008). Sistemas ambientales de la cuenca superior del arroyo Langueyú (partido de Tandil, Argentina). *Investigaciones Geográficas*, 45: 251-269.
- Zulaica, L., Vazquez, P., y Daga, D. (2020). Transformaciones territoriales en el periurbano hortícola de Mar del Plata (Argentina) y su incidencia en los procesos de erosión hídrica. *Revista de geografía Norte Grande*, (75), 179-200. doi: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022020000100179>



---

## ANEXOS

---



ANEXO I

*Unidades de Aptitud de Uso (UAU) para usos agroproductivos del Partido*

Se esquematizan y categorizan a continuación los resultados obtenidos en relación a los aspectos agroproductivos (UAU) de las unidades. Se exhibe el mapa de “Clases de aptitud de tierras (**Figura I**) y el mapa de “Índices de productividad” identificado en cada unidad (**Figura II**).

**Figura I.** Categorización de UAU por aptitud de las tierras.

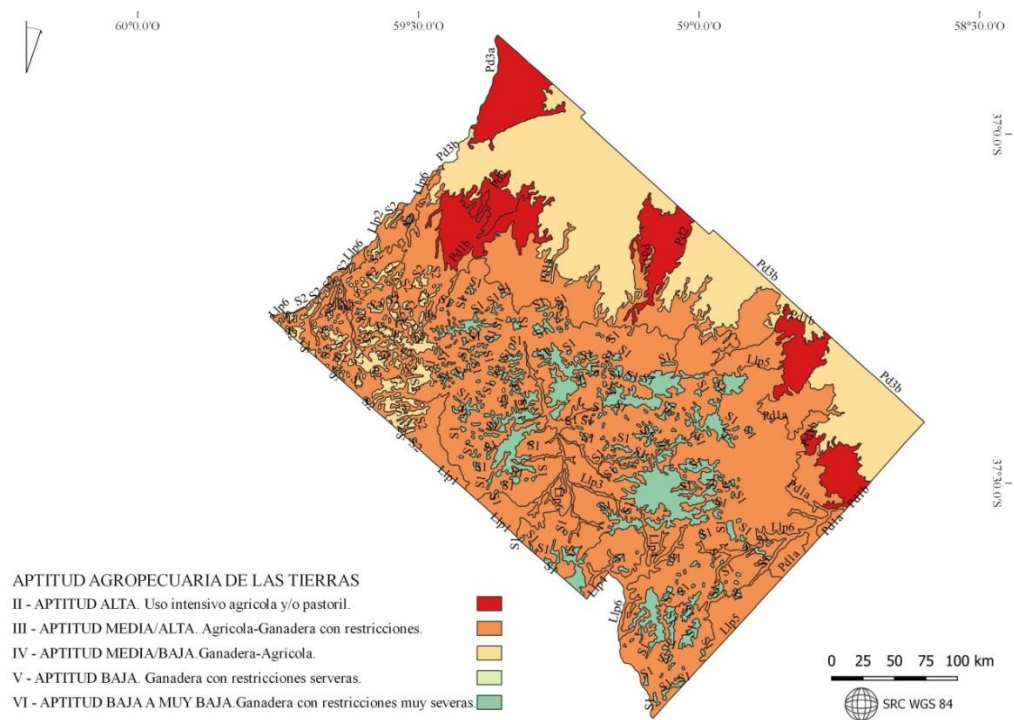
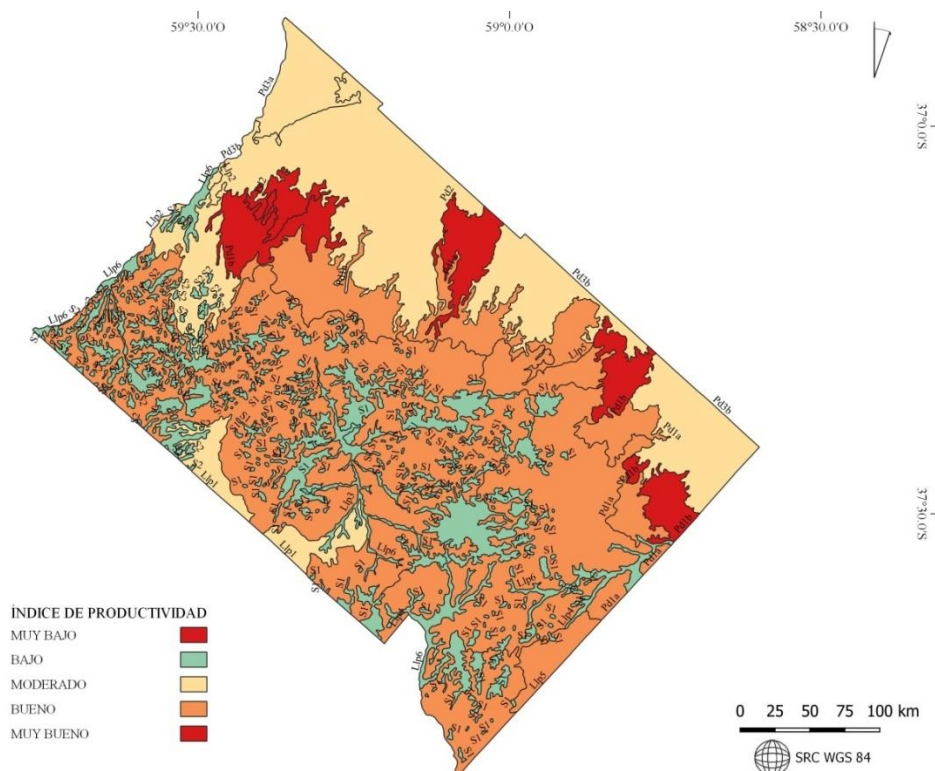


**Figura II.** Categorización de UAU por índice de productividad.



Tal como se desprende de las **Figuras I y II** y como se ha mencionado anteriormente la UAE - S1 presenta los mayores impedimentos para el desarrollo agropecuario perteneciendo a la Clase VI de aptitud “ganadera baja a muy baja”. No son aptas para la producción agrícola y es posible un uso pastoril, con limitaciones muy severas. El aprovechamiento está reducido a la utilización de pastizales naturales y de pasturas implantadas, con fuertes restricciones para la elección de especies y con alto riesgo de degradación de los suelos y pastizales.

Las UAE - S2 y PD3b poseen una aptitud “media/baja ganadera – agrícola” en las cuales es factible el uso poco intensivo agrícola o pastoril, con severas limitaciones. Los niveles de producción son reducidos, la elección de cultivos está limitada, las prácticas culturales con frecuencia no pueden realizarse oportunamente y/o los riesgos de degradación del suelo son altos.

Para ambos casos y al igual que acontece en la UAE - S1 de clase VI, para un uso intensivo se requieren prácticas o un manejo muy condicionado que pueden no estar económicamente justificados. A su vez, ante la eventual degradación de los horizontes superiores requieren un lapso muy prolongado para su recuperación.

Es posible establecer una conexión entre estos datos de aptitud de uso de las tierras con el IP siendo la productividad baja para UAE - S1 (CLASE VI) y moderada para las UAE - S2 y PD3b (CLASE V).

Las UAE LLP1, LLP2, LLP3, LLP4, LLP5, LLP6 y PD1a, es decir, el mayor porcentaje de las tierras del Partido (%) exhiben una aptitud “media/alta agrícola-ganadera”. En dichas unidades es posible el uso medianamente intensivo agrícola y/o pastoril, con moderadas limitaciones. Si se requieren prácticas o un manejo especial, generalmente están justificados económicamente. La eventual degradación de los horizontes superiores requiere un lapso prolongado para su recuperación.

Al analizar los IP correspondientes a las UAE de aptitud de uso “media/alta agrícola ganadera” surgen diferencias puesto que dentro de esta misma categoría las unidades presentan IP que van desde “bajo”, en LLP6, “moderado”, en LLP1 y LLP2, “bueno” en LLP3, LLP4 y LLP5, hasta “muy bueno” en PD1a.

Las UAE con mejor aptitud agrícola del área de estudio (aptitud “alta agrícola”) son las UAE PD1b, PD2 y PD3a en las cuales el uso intensivo agrícola y/o pastoril presenta leves limitaciones y la posibilidad de elección de cultivos es amplia. Si se requieren prácticas o manejo especial, son realizables con gastos y/o esfuerzos adicionales menores. Bajo manejo adecuado, los niveles de producción se mantienen elevados y, la eventual degradación de los horizontes superiores puede recuperarse en pocos años.

Si bien en las UAE PD1b y PD2 coinciden tanto una aptitud de uso de las tierras de clase II con uno de los IP más elevados del Partido no ocurre lo mismo con la UAE - PD3a cuyo IP es “moderado” en asociación a las limitaciones generadas por el drenaje, alcalinidad sódica y salinidad.

## ANEXO II

A continuación, se lista la localización de los datos de entrenamientos empleados para orientar las ROIs en la clasificación supervisada y en la valoración de la precisión.

**Tabla I.** Localización de las Regiones de Interés utilizadas para efectuar la clasificación supervisada (Capítulo II).

| Sistema Ecológico Paisajístico de pertenencia | Clase de uso del suelo | Localización                    |
|-----------------------------------------------|------------------------|---------------------------------|
| Llanura periserrana                           | Agrícola               | 59° 16' 37,11"S 37° 32' 42,15"O |
| Llanura periserrana                           | Agrícola               | 58° 53' 16,36"S 37° 35' 9,54"O  |
| Llanura periserrana                           | Agrícola               | 59° 28' 4,07"S 37° 24' 40,21"O  |
| Llanura periserrana                           | Agrícola               | 58° 54' 49,76"S 37° 21' 54,73"O |

|                     |          |                                 |
|---------------------|----------|---------------------------------|
| Llanura periserrana | Agrícola | 59° 1' 5,79"S 37° 18' 23,10"O   |
| Llanura periserrana | Agrícola | 58° 52' 48,29"S 37° 18' 58,55"O |
| Llanura periserrana | Agrícola | 59° 21' 38,15"S 37° 30' 18,03"O |
| Llanura periserrana | Agrícola | 59° 22' 15,91"S 37° 21' 13,22"O |
| Llanura periserrana | Agrícola | 58° 52' 58,53"S 37° 19' 17,86"O |
| Llanura periserrana | Agrícola | 59° 33' 33,02"S 37° 23' 14,38"O |
| Llanura periserrana | Agrícola | 58° 54' 12,69"S 37° 30' 25,36"O |
| Llanura periserrana | Agrícola | 58° 53' 38,51"S 37° 27' 13,19"O |
| Llanura periserrana | Agrícola | 59° 30' 1,55"S 37° 10' 7,64"O   |
| Llanura periserrana | Agrícola | 59° 37' 0,18"S 37° 12' 36,27"O  |
| Llanura periserrana | Agrícola | 58° 53' 54,88"S 37° 18' 40,94"O |
| Llanura periserrana | Agrícola | 59° 19' 46,83"S 37° 25' 37,99"O |
| Llanura periserrana | Agrícola | 59° 18' 3,58"S 37° 16' 34,97" O |
| Llanura periserrana | Agrícola | 59° 10' 54,31"S 37° 26' 47,53"O |
| Llanura periserrana | Agrícola | 59° 10' 54,31"S 37° 26' 47,53"O |
| Llanura periserrana | Agrícola | 59° 12' 5,73"S 37° 31' 59,61"O  |
| Planicie distal     | Agrícola | 59° 12' 23,53"S 37° 11' 34,86"O |
| Planicie distal     | Agrícola | 59° 0' 59,91"S 37° 13' 57,47"O  |
| Planicie distal     | Agrícola | 58° 55' 18,87"S 37° 15' 25,89"O |
| Planicie distal     | Agrícola | 59° 23' 32,85"S 37° 1' 22,30"O  |
| Planicie distal     | Agrícola | 59° 27' 33,49"S 37° 5' 54,77"O  |
| Planicie distal     | Agrícola | 59° 5' 16,16"S 37° 9' 54,56"O   |
| Planicie distal     | Agrícola | 59° 23' 23,14"S 36° 57' 29,87"O |
| Planicie distal     | Agrícola | 58° 51' 17,12"S 37° 19' 7,78"O  |
| Planicie distal     | Agrícola | 58° 53' 33,90"S 37° 16' 53,23"O |
| Planicie distal     | Agrícola | 58° 48' 44,02"S 37° 25' 21,98"O |
| Planicie distal     | Agrícola | 59° 19' 21,27"S 37° 10' 29,44"O |
| Planicie distal     | Agrícola | 59° 21' 16,74"S 37° 6' 31,62"O  |
| Planicie distal     | Agrícola | 59° 3' 23,52"S 37° 10' 12,11"O  |
| Planicie distal     | Agrícola | 58° 47' 52,60"S 37° 20' 8,37"O  |
| Planicie distal     | Agrícola | 59° 5' 48,68"S 37° 11' 54,69"O  |
| Planicie distal     | Agrícola | 59° 5' 38,83"S 37° 13' 18,57"O  |
| Planicie distal     | Agrícola | 59° 20' 38,18"S 38° 8' 0,96"O   |
| Planicie distal     | Agrícola | 59° 12' 1,28"S 36° 59' 28,19"O  |
| Planicie distal     | Agrícola | 59° 15' 11,55"S 37° 0' 42,48"O  |
| Planicie distal     | Agrícola | 58° 48' 9,76"S 37° 24' 27,03"O  |
| Sierras             | Agrícola | 59° 32' 59,16"S 37° 5' 55,68"O  |

|                     |                       |                                 |
|---------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Sierras             | Agrícola              | 59° 21' 17,64"S 37° 12' 53,14"O |
| Sierras             | Agrícola              | 58° 59' 31,07"S 37° 22' 26,10"O |
| Sierras             | Agrícola              | 58° 57' 58,15"S 37° 25' 23,83"O |
| Sierras             | Agrícola              | 59° 22' 57,90"S 37° 29' 50,16"O |
| Sierras             | Agrícola              | 59° 26' 20,58"S 37° 19' 45,52"O |
| Sierras             | Agrícola              | 59° 11' 39,53"S 37° 21' 14,80"O |
| Sierras             | Agrícola              | 58° 57' 29,21"S 37° 29' 31,54"O |
| Sierras             | Agrícola              | 59° 20' 53,17"S 37° 17' 23,23"O |
| Sierras             | Agrícola              | 59° 31' 3,37"S 37° 16' 7,42"O   |
| Llanura periserrana | Pastizales y Pasturas | 59° 6' 1,22"S 37° 29' 38,31"O   |
| Llanura periserrana | Pastizales y Pasturas | 58° 47' 44,15"S 37° 33' 49,04"O |
| Llanura periserrana | Pastizales y Pasturas | 58° 49' 12,41"S 37° 30' 39,91"O |
| Llanura periserrana | Pastizales y Pasturas | 58° 47' 31,79"S 37° 32' 1,19"O  |
| Llanura periserrana | Pastizales y Pasturas | 58° 53' 23,70"S 37° 27' 55,28"O |
| Llanura periserrana | Pastizales y Pasturas | 58° 47' 44,15"S 37° 14' 32,72"O |
| Llanura periserrana | Pastizales y Pasturas | 59° 16' 39,51"S 37° 16' 33,69"O |
| Llanura periserrana | Pastizales y Pasturas | 59° 18' 48,11"S 37° 14' 17,85"O |
| Llanura periserrana | Pastizales y Pasturas | 59° 13' 17,10"S 37° 26' 4,97"O  |
| Llanura periserrana | Pastizales y Pasturas | 59° 14' 33,55"S 37° 23' 47,27"O |
| Llanura periserrana | Pastizales y Pasturas | 59° 17' 47,64"S 37° 28' 30,66"O |
| Llanura periserrana | Pastizales y Pasturas | 59° 22' 19,30"S 37° 30' 5,53"O  |
| Llanura periserrana | Pastizales y Pasturas | 59° 23' 59,99"S 37° 11' 13,53"O |
| Llanura periserrana | Pastizales y Pasturas | 59° 30' 58,09"S 37° 5' 31,99"O  |
| Llanura periserrana | Pastizales y Pasturas | 59° 27' 32,55"S 37° 9' 48,38"O  |
| Llanura periserrana | Pastizales y Pasturas | 59° 53' 58,36"S 37° 20' 10,44"O |
| Llanura periserrana | Pastizales y Pasturas | 59° 8' 33,27"S 37° 16' 24,28"O  |
| Llanura periserrana | Pastizales y Pasturas | 59° 51' 23,26"S 37° 25' 25,64"O |
| Llanura periserrana | Pastizales y Pasturas | 59° 32' 17,67"S 37° 6' 26,74"O  |
| Llanura periserrana | Pastizales y Pasturas | 59° 48' 38,75"S 37° 33' 31,66"O |
| Planicie distal     | Pastizales y Pasturas | 58° 56' 46,68"S 37° 12' 21,46"O |
| Planicie distal     | Pastizales y Pasturas | 58° 58' 39,11"S 37° 15' 45,95"O |
| Planicie distal     | Pastizales y Pasturas | 58° 47' 47,99"S 37° 26' 17,35"O |
| Planicie distal     | Pastizales y Pasturas | 58° 49' 52,14"S 37° 22' 42,27"O |
| Planicie distal     | Pastizales y Pasturas | 58° 46' 24,66"S 37° 29' 30,36"O |
| Planicie distal     | Pastizales y Pasturas | 59° 20' 18,40"S 36° 59' 55,66"O |
| Planicie distal     | Pastizales y Pasturas | 59° 21' 23,51"S 37° 1' 0,56"O   |

|                     |                       |                                 |
|---------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Planicie distal     | Pastizales y Pasturas | 59° 14' 32,19"S 37° 1' 47,47"O  |
| Planicie distal     | Pastizales y Pasturas | 59° 17' 12,30"S 36° 58' 20,01"O |
| Planicie distal     | Pastizales y Pasturas | 59° 1' 49,99"S 37° 9' 30,90"O   |
| Planicie distal     | Pastizales y Pasturas | 59° 3' 19,98"S 37° 12' 30,39"O  |
| Planicie distal     | Pastizales y Pasturas | 59° 21' 46,75"S 37° 10' 13,92"O |
| Planicie distal     | Pastizales y Pasturas | 59° 25' 23,00"S 37° 6' 55,86"O  |
| Planicie distal     | Pastizales y Pasturas | 59° 3' 5,33"S 37° 12' 28,70"O   |
| Planicie distal     | Pastizales y Pasturas | 58° 44' 24,50"S 37° 26' 33,05"O |
| Planicie distal     | Pastizales y Pasturas | 58° 41' 53,13"S 37° 22' 57,21"O |
| Planicie distal     | Pastizales y Pasturas | 59° 16' 15,84"S 37° 12' 53,20"O |
| Planicie distal     | Pastizales y Pasturas | 59° 16' 12,33"S 37° 12' 58,13"O |
| Planicie distal     | Pastizales y Pasturas | 59° 25' 48,64"S 37° 4' 27,39"O  |
| Planicie distal     | Pastizales y Pasturas | 59° 10' 20,37"S 37° 5' 44,79"O  |
| Sierras             | Pastizales y Pasturas | 59° 0' 39,06"S 37° 28' 19,24"O  |
| Sierras             | Pastizales y Pasturas | 59° 14' 25,56"S 37° 19' 18,79"O |
| Sierras             | Pastizales y Pasturas | 59° 14' 33,47"S 37° 21' 0,83"O  |
| Sierras             | Pastizales y Pasturas | 58° 59' 10,19"S 37° 27' 43,76"O |
| Sierras             | Pastizales y Pasturas | 58° 59' 7,42"S 37° 25' 12,94"O  |
| Sierras             | Pastizales y Pasturas | 59° 1' 36,53"S 37° 23' 50,59"O  |
| Sierras             | Pastizales y Pasturas | 59° 30' 31,28"S 37° 22' 37,41"O |
| Sierras             | Pastizales y Pasturas | 59° 35' 1,45"S 37° 22' 20,88"O  |
| Sierras             | Pastizales y Pasturas | 59° 30' 49,94"S 37° 11' 49,79"O |
| Sierras             | Pastizales y Pasturas | 59° 31' 10,07"S 37° 20' 4,75"O  |
| Llanura periserrana | Cuerpo de Agua        | 59° 7' 49,38"S 37° 20' 42,02"O  |
| Llanura periserrana | Cuerpo de Agua        | 59° 38' 3,18"S 37° 15' 58,27"O  |
| Llanura periserrana | Cuerpo de Agua        | 59° 3' 23,05"S 37° 34' 28,22"O  |
| Llanura periserrana | Cuerpo de Agua        | 59° 29' 38,69"S 37° 12' 5,90"O  |
| Planicie distal     | Cuerpo de Agua        | 58° 53' 11,50"S 37° 12' 29,81"O |
| Planicie distal     | Cuerpo de Agua        | 58° 56' 10,36"S 37° 10' 53,48"O |
| Planicie distal     | Cuerpo de Agua        | 58° 56' 28,96"S 37° 12' 42,19"O |
| Planicie distal     | Cuerpo de Agua        | 58° 56' 21,60"S 37° 14' 14,78"O |

### ANEXO III

Se presentan imágenes fotográficas de algunos sectores del partido de Tandil que representan los distintos paisajes del partido de Tandil.



**Figura III.** Imágenes fotográficas representativas del Sistema Ecológico Paisajístico de la Llanura Periserrana.

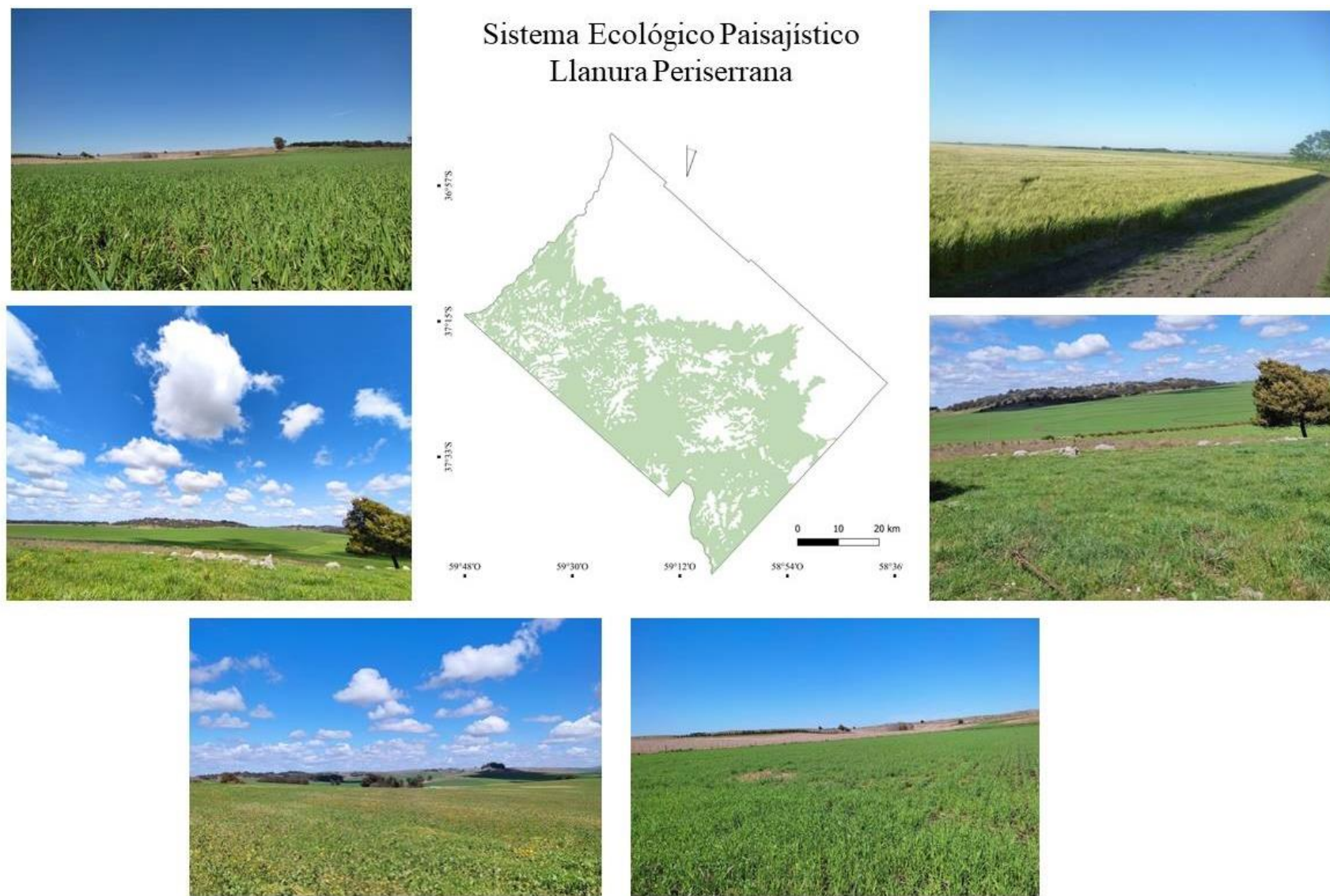


**Figura IV.** Imágenes fotográficas representativas del Sistema Ecológico Paisajístico de la Planicie distal.

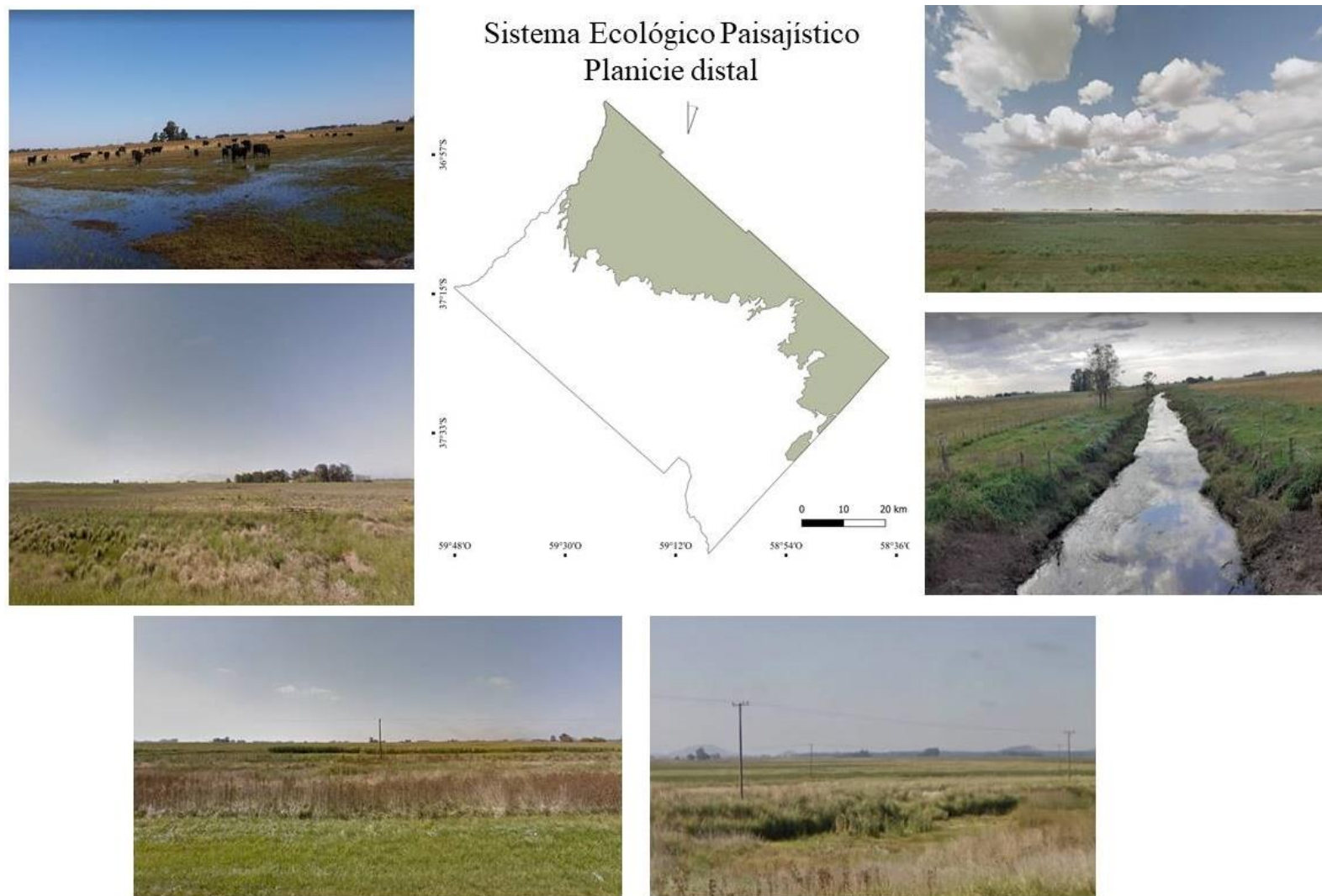
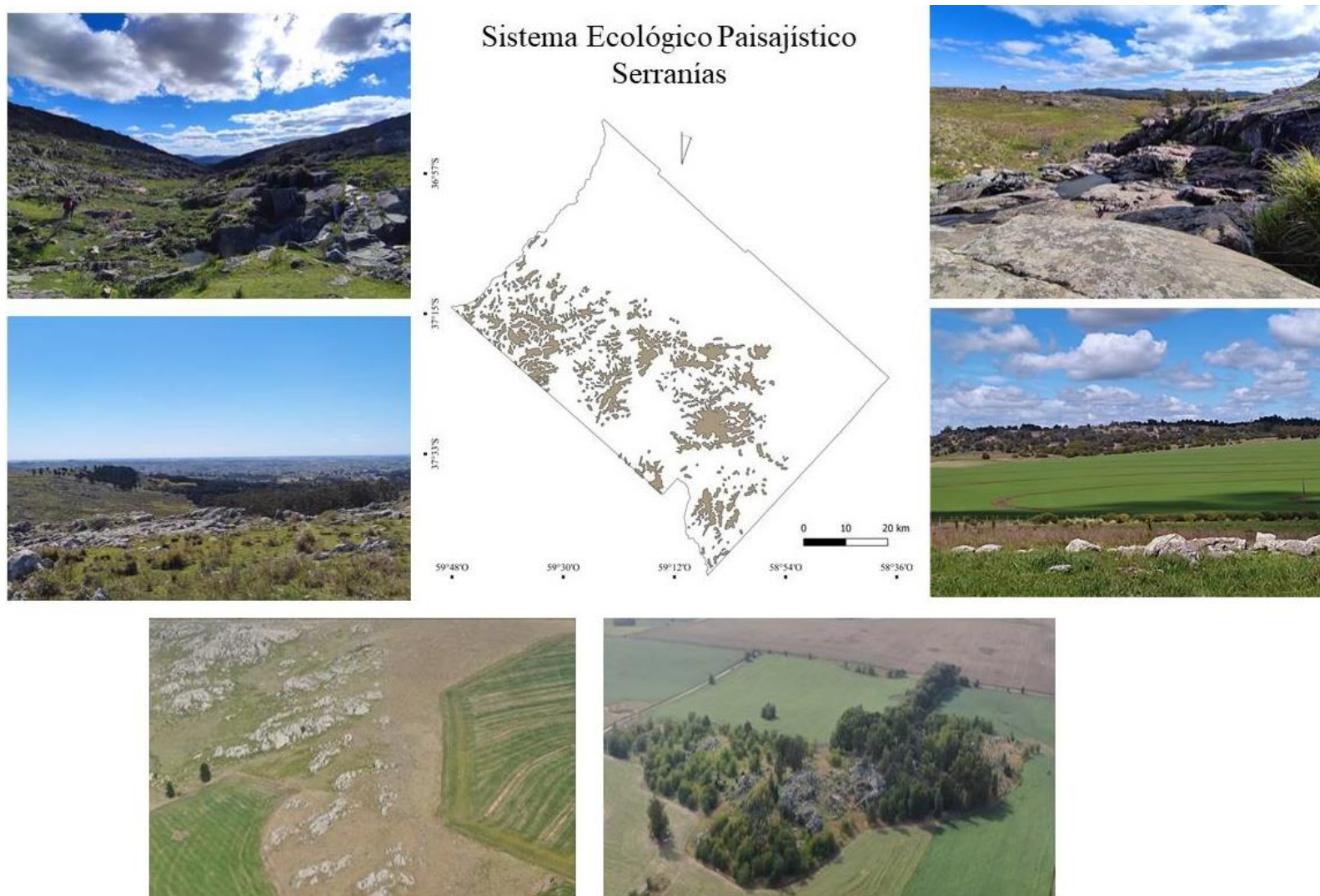




**Figura V.** Imágenes fotográficas representativas del Sistema Ecológico Paisajístico de Serranías.



## ANEXO IV

Se presentan, a modo de ejemplo, distintas imágenes fotográficas de recetas agronómicas presentadas por Ingenieros Agrónomos ante la Dirección Provincial de Fiscalización Agropecuaria, Alimentaria y de los Recursos Naturales y la Dirección de Fiscalización Vegetal en 2019.

**Figura VI.** Rectas agronómicas de aplicación partido de Tandil.

### Aplicar En/A: Barbecho

#### Productos

| Diagnóstico | Principio Activo        | Marca comercial | CT | Conc.(%)  | Dosis  | Cantidad Total | P.C | P.R    | P.V |
|-------------|-------------------------|-----------------|----|-----------|--------|----------------|-----|--------|-----|
| Malezas     | GLIFOSATO               | ROUNDUP FULL II | IV | 66,2/54   | 2 l/ha | 150 l          | N/C | 24 H/s | N/C |
| Malezas     | 2,4-D EQUIVALENTE ACIDO | ENLIST          | II | 66,9/45,6 | 1 l/ha | 75 l           | N/C | 24 H/s | N/C |

CT: Clasificación Toxicológica, PC: Periodo de carencia, PR: Periodo de reingreso al lote, PV: Periodo de ventilación

#### Recomendación:

El equipo de aplicación debe estar inscripto en el Ministerio de Agroindustria. El operario debe contar con el curso de aplicador aprobado. El operario debe utilizar siempre el equipo de protección personal durante la carga de los productos y limpieza de la máquina. Suspender la aplicación si los vientos están en dirección a un poblado, viviendas, escuelas, concentración de animales, causas de agua, arroyos y espejos de agua. No aplicar sobre arroyos, lagunas o cárcavas, en el caso de que se encuentren en el lote dejar 50 metros de bordura sin aplicación de cada lado. En el caso de viviendas dejar sin aplicar una distancia mínima de 100 metros desde la vivienda. En el caso de escuelas, realizar la aplicación fuera del horario escolar y sin presencia de personas dentro de las instalaciones, dejando una distancia mínima de 200 metros desde la escuela. Evitar derivas a lotes linderos. Cuando existan colmenares ubicados a menos de 3000 mts. de los límites del lote a tratar, las empresas de aplicación (terrestre o aéreas) deben comunicar la aplicación al Centro apícola con 36 hs de anticipación y realizar los tratamientos con posterioridad, en el horario comprendido entre las 5 y las 10:30 hs. Aplicar entre 120-150 litros de agua. Si los vientos superan los 10 km/ha utilizar pastillas de aire inducido (baja deriva), con baja presión (no mayor a 3 bares), logrando gotas mayores a los 200 micrones, mantener el botallón bajo. Suspender la aplicación con vientos superiores a los 15 km/ha. No aplicar bajo condiciones de inversión térmica. Finalizada la carga de productos, enjuagar los envases con agua a presión durante 30 segundos o triple lavado (Normas IRAM 12069), y perforarlos para que no sean reutilizados. Enjuagar el tanque antes de la carga del producto con cloro o lavandina 0.5 lts/100 lts de agua para asegurar que no queden residuos de productos de la aplicación anterior. Los enjuagues NO deben estar cerca de pozos de riego, tomas de agua o

### Aplicar En/A: Barbecho

#### Productos

| Diagnóstico | Principio Activo    | Marca comercial     | CT | Conc.(%) | Dosis     | Cantidad Total | P.C | P.R    | P.V |
|-------------|---------------------|---------------------|----|----------|-----------|----------------|-----|--------|-----|
| Malezas     | GLIFOSATO           | SULFOSATO TOUCHDOWN | IV | 50       | 2,5 l/ha  | 187,5 l        | N/C | 24 H/s | N/C |
| Malezas     | CARFENTRAZONE ETHYL | AFFINITY            | IV | 40       | 75 cm3/ha | 5625 cm3       |     |        |     |
| Malezas     | SULFENTRAZONE       | ADELFO              | II | 50       | 0,35 l/ha | 26,25 l        |     |        |     |
| Malezas     | S-METOLACLOLO       | SYMPHONY            | II | 96       | 1,2 l/ha  | 90 l           |     |        |     |

CT: Clasificación Toxicológica, PC: Periodo de carencia, PR: Periodo de reingreso al lote, PV: Periodo de ventilación

#### Recomendación:

El equipo de aplicación debe estar inscripto en el Ministerio de Agroindustria. El operario debe contar con el curso de aplicador aprobado. El operario debe utilizar siempre el equipo de protección personal durante la carga de los productos y limpieza de la máquina. Suspender la aplicación si los vientos están en dirección a un poblado, viviendas, escuelas, concentración de animales, causas de agua, arroyos y espejos de agua. No aplicar sobre arroyos, lagunas o cárcavas, en el caso de que se encuentren en el lote dejar 50 metros de bordura sin aplicación de cada lado. En el caso de viviendas dejar sin aplicar una distancia mínima de 100 metros desde la vivienda. En el caso de escuelas, realizar la aplicación fuera del horario escolar y sin presencia de personas dentro de las instalaciones, dejando una distancia mínima de 200 metros desde la escuela. Evitar derivas a lotes linderos. Cuando existan colmenares ubicados a menos de 3000 mts. de los límites del lote a tratar, las empresas de aplicación (terrestre o aéreas) deben comunicar la aplicación al Centro apícola con 36 hs de anticipación y realizar los tratamientos con posterioridad, en el horario comprendido entre las 5 y las 10:30 hs. Aplicar entre 120-150 litros de agua. Si los vientos superan los 10 km/ha utilizar pastillas de aire inducido (baja deriva), con baja presión (no mayor a 3 bares), logrando gotas mayores a los 200 micrones, mantener el botallón bajo. Suspender la aplicación con vientos superiores a los 15 km/ha. No aplicar bajo condiciones de inversión térmica. Finalizada la carga de productos, enjuagar los envases con agua a presión durante 30 segundos o triple lavado (Normas IRAM 12069), y perforarlos para que no sean reutilizados. Enjuagar el tanque antes de la carga del producto con cloro o lavandina 0.5 lts/100 lts de agua para asegurar que no queden residuos de productos de la aplicación anterior. Los enjuagues NO deben estar cerca de pozos de riego, tomas de agua o

### Aplicar En/A: Barbecho

#### Productos

| Diagnóstico | Principio Activo        | Marca comercial | CT  | Conc.(%)  | Dosis    | Cantidad Total | P.C    | P.R    | P.V |
|-------------|-------------------------|-----------------|-----|-----------|----------|----------------|--------|--------|-----|
| Malezas     | GLIFOSATO               | PANZER GOLD     | IV  | 60,8/48   | 2 l/ha   | 200 l          | N/C    | 24 H/s | N/C |
| Malezas     | CLETODIM                | LUXOR           | III | 24        | 0,5 l/ha | 50 l           | 80 D/s | 24 H/s | N/C |
| Malezas     | 2,4-D EQUIVALENTE ACIDO | ENLIST          | II  | 66,9/45,6 | 1,5 l/ha | 150 l          | N/C    | 24 H/s | N/C |
| Malezas     | SAFLUFENACIL            | HEAT            | IV  | 70        | 35 g/ha  | 3500 g         | N/C    | 24 H/s | N/C |

CT: Clasificación Toxicológica, PC: Periodo de carencia, PR: Periodo de reingreso al lote, PV: Periodo de ventilación

#### Recomendación:

El equipo de aplicación debe estar inscripto en el Ministerio de Agroindustria. El operario debe contar con el curso de aplicador aprobado. El operario debe utilizar siempre el equipo de protección personal durante la carga de los productos y limpieza de la máquina. Suspender la aplicación si los vientos están en dirección a un poblado, viviendas, escuelas, concentración de animales, causas de agua, arroyos y espejos de agua. No aplicar sobre arroyos, lagunas o cárcavas, en el caso de que se encuentren en el lote dejar 50 metros de bordura sin aplicación de cada lado. En el caso de viviendas dejar sin aplicar una distancia mínima de 500 metros desde la vivienda. En el caso de escuelas, realizar la aplicación fuera del horario escolar y sin presencia de personas dentro de las instalaciones, dejando una distancia mínima de 500 metros desde la escuela. Evitar derivas a lotes linderos. Cuando existan colmenares ubicados a menos de 3000 mts. de los límites del lote a tratar, las empresas de aplicación (terrestre o aéreas) deben comunicar la aplicación al Centro apícola con 36 hs de anticipación y realizar los tratamientos con posterioridad, en el horario comprendido entre las 5 y las 10:30 hs. Aplicar entre 100-120 litros de agua. Suspender la aplicación con vientos inferiores a los 3 km/hs y superiores a los 10 km/ha. No aplicar bajo condiciones de inversión térmica. No aplicar cuando las temperaturas superen los 30 grados centígrados. No aplicar con Valores inferiores al 65% de Humedad Relativa. Finalizada la carga de productos, enjuagar los envases con agua a presión durante 30 segundos o triple lavado (Normas IRAM 12069), y perforarlos para que no sean reutilizados. Enjuagar el tanque antes de la carga del producto con cloro o lavandina 0.5 lts/100 lts de agua para asegurar que no queden residuos de productos de la aplicación anterior. Las zonas de aprovisionamiento de los equipos aplicadores deberán tener una distancia mínima de 500 mts desde las viviendas habitadas y situaciones similares. Los enjuagues NO deben estar cerca de pozos de riego, tomas de agua o canales, cárcavas,



**Aplicar En/A: Barbecho****Productos**

| Diagnóstico | Principio Activo        | Marca comercial | CT  | Conc.(%)  | Dosis    | Cantidad Total | P.C    | P.R    | P.V |
|-------------|-------------------------|-----------------|-----|-----------|----------|----------------|--------|--------|-----|
| Malezas     | GLIFOSATO               | PANZER GOLD     | IV  | 60.8/48   | 2 l/ha   | 458 l          | N/C    | 24 H/s | N/C |
| Malezas     | 2,4-D EQUIVALENTE ACIDO | ENLIST          | II  | 66.9/45.6 | 1.5 l/ha | 343.5 l        | N/C    | 24 H/s | N/C |
| Malezas     | CLETODIM                | EUDOR           | III | 24        | 0.6 l/ha | 137.4 l        | 80 D/s | 24 H/s | N/C |
| Malezas     | GLUFOSINATO DE AMONIO   | BIFFO           | III | 20        | 2 l/ha   | 458 l          |        |        |     |

CT: Clasificación Toxicológica, PC: Periodo de carencia, PR: Periodo de reingreso al lote, PV: Periodo de ventilación

**Recomendación:**

El equipo de aplicación debe estar inscripto en el Ministerio de Agroindustria. El operario debe contar con el curso de aplicador aprobado. El operario debe utilizar siempre el equipo de protección personal durante la carga de los productos y limpieza de la máquina. Suspender la aplicación si los vientos están en dirección a un poblado, viviendas, escuelas, concentración de animales, causas de agua, arroyos y espejos de agua. No aplicar sobre arroyos, lagunas o cárcavas, en el caso de que se encuentren en el lote dejar 50 metros de bordura sin aplicación de cada lado. En el caso de viviendas dejar sin aplicar una distancia mínima de 500 metros desde la vivienda. En el caso de escuelas, realizar la aplicación fuera del horario escolar y sin presencia de personas dentro de las instalaciones, dejando una distancia mínima de 500 metros desde la escuela. Evitar derivas a lotes linderos. Cuando existan colmenares ubicados a menos de 3000 mts. de los límites del lote a tratar, las empresas de aplicación (terrestre o aéreas) deben comunicar la aplicación al Centro apícola con 36 hs de anticipación y realizar los tratamientos con posterioridad, en el horario comprendido entre las 5 y las 10:30 hs. Aplicar entre 100-120 litros de agua. Suspender la aplicación con vientos inferiores a los 3km/h y superiores a los 10 km/ha. No aplicar bajo condiciones de inversión térmica. No aplicar cuando las temperaturas superen los 30 grados centígrados. No aplicar con Valores inferiores al 65% de Humedad Relativa. Finalizada la carga de productos, enjuagar los envases con agua a presión durante 30 segundos o triple lavado (Normas IRAM 12069), y perforarlos para que no sean reutilizados. Enjuagar el tanque antes de la carga del producto con cloro o lavandina 0.5 lts/100 lts de agua para asegurar que no queden residuos de productos de la aplicación anterior. Las zonas de aprovisionamiento de los equipos aplicadores deberán tener una distancia mínima de 500 mts desde las viviendas habitadas y situaciones similares. Los enjuagues NO deben estar cerca de pozos de riego, tomas de agua o canales, cárcavas,

**Aplicar En/A: Trigo****Productos**

| Diagnóstico | Principio Activo              | Marca comercial | CT  | Conc.(%) | Dosis    | Cantidad Total | P.C    | P.R    | P.V |
|-------------|-------------------------------|-----------------|-----|----------|----------|----------------|--------|--------|-----|
| Fungosis    | PICOXYSTROBIN + CIPROCONAZOLE | STINGER         | III | 20+8     | 0,5 l/ha | 30 l           | 35 D/s | 12 H/s | N/C |

CT: Clasificación Toxicológica, PC: Periodo de carencia, PR: Periodo de reingreso al lote, PV: Periodo de ventilación

**Recomendación:**

El equipo de aplicación debe estar inscripto en el Ministerio de Agroindustria. El operario debe contar con el curso de aplicador aprobado. El operario debe utilizar siempre el equipo de protección personal durante la carga de los productos y limpieza de la máquina. Suspender la aplicación si los vientos están en dirección a un poblado, viviendas, escuelas, concentración de animales, causas de agua, arroyos y espejos de agua. No aplicar sobre arroyos, lagunas o cárcavas, en el caso de que se encuentren en el lote dejar 50 metros de bordura sin aplicación de cada lado. En el caso de viviendas dejar sin aplicar una distancia mínima de 500 metros desde la vivienda. En el caso de escuelas, realizar la aplicación fuera del horario escolar y sin presencia de personas dentro de las instalaciones, dejando una distancia mínima de 500 metros desde la escuela. Evitar derivas a lotes linderos. Cuando existan colmenares ubicados a menos de 3000 mts. de los límites del lote a tratar, las empresas de aplicación (terrestre o aéreas) deben comunicar la aplicación al Centro apícola con 36 hs de anticipación y realizar los tratamientos con posterioridad, en el horario comprendido entre las 5 y las 10:30 hs. Aplicar entre 100-120 litros de agua. Suspender la aplicación con vientos inferiores a los 3km/h y superiores a los 7 km/ha. No aplicar bajo condiciones de inversión térmica. No aplicar cuando las temperaturas superen los 30 grados centígrados. No aplicar con Valores inferiores al 40% de Humedad Relativa. Finalizada la carga de productos, enjuagar los envases con agua a presión durante 30 segundos o triple lavado (Normas IRAM 12069), y perforarlos para que no sean reutilizados. Enjuagar el tanque antes de la carga del producto con cloro o lavandina 0.5 lts/100 lts de agua para asegurar que no queden residuos de productos de la aplicación anterior. Las zonas de aprovisionamiento de los equipos aplicadores deberán tener una distancia mínima de 500 mts desde las viviendas habitadas y situaciones similares. Los enjuagues NO deben estar cerca de pozos de riego, tomas de agua o canales, cárcavas,