

# Una primera aproximación al estudio del efecto del cambio climático sobre la provisión de servicios de los ecosistemas en Región Pampeana (Argentina)

*A first approach to study the effect of climate change on ecosystem services provision in the Pampas Region (Argentina)*

ROSITANO, F.

IFEVA. Universidad de Buenos Aires. CONICET. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Departamento de Producción Vegetal. Cátedra de Cerealicultura. Av. San Martín 4453 (C1417DSE), Buenos Aires, Argentina. rositano@agro.uba.ar

## Resumen

El análisis del impacto del cambio climático sobre la provisión de servicios de los ecosistemas (SE) es esencial porque representan el resultado final de una cadena de interacciones presentes en los agroecosistemas. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto del cambio climático sobre los niveles de SE provistos por los agroecosistemas pampeanos (Argentina). A partir de modelos probabilísticos basados en Redes Bayesianas, se estimó la provisión de cuatro SE (Balance de C del suelo, Balance de N del suelo, Control de contaminación del agua subterránea, y Control de emisión de N<sub>2</sub>O) en tres zonas agrícolas (Norte de Córdoba, Centro de Buenos Aires, y Sur de Entre Ríos). La cuantificación de los modelos se realizó para un escenario base (año 2010) y tres escenarios a futuro (años 2020, 2050, y 2080) considerando el desempeño de tres cultivos (maíz, soja, y trigo). Las estimaciones a futuro se realizaron mediante la aplicación de coeficientes de cambio proyectados para variables ambientales y productivas provistas por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. La provisión de cada SE presentó diferencias mínimas entre escenarios, encontrándose las mayores diferencias entre cultivos y entre zonas. Las diferencias en provisión se observaron también entre SE, siendo el servicio Balance de N del suelo aquel que presentó los menores valores de provisión. En resumen, los SE seleccionados presentaron baja sensibilidad al cambio climático en Región Pampeana.

**Palabras clave:** cambio climático - servicios de los ecosistemas - agroecosistemas pampeanos

## Introducción

El cambio climático se refiere a cualquier modificación en el clima a través del tiempo debido a la variabilidad natural del mismo o como resultado de la actividad humana (IPCC, 2001). La comunidad científica ha aceptado ampliamente que el incremento de los gases de efecto invernadero determinará, en los próximos cien años, cambios climáticos globales significativos (IPCC, 2001). Es por ello que, en los últimos años, se ha incrementado el estudio de las implicancias de esta temática sobre distintos ámbitos (i.e. sociales, económicos y/o ambientales). En términos generales, el cambio climático implica el incremento en las temperaturas globales y el cambio en los regímenes de precipitaciones, que conlleva a la variación en las condiciones físicas que limitan la distribución de las especies, el incremento del nivel de los mares, la presencia de eventos climáticos más extremos, y las migraciones humanas (Montoya & Raffaelli, 2010). Estas modificaciones, obviamente, serán la mayor amenaza para la composición y dinámica de los ecosistemas, además de uno de los mayores factores perjudiciales para la salud y el bienestar de la humanidad (Mooney et al., 2009; Bangash et al., 2013).

## Summary

*The assessment of the effect of climate change on ecosystem services (ES) provision is essential because they represent the outcome of a chain of interactions present in agroecosystems. The objective of this work was to assess the effect of climate change on ES provided by Pampean agroecosystems (Argentina). Using a probabilistic model based on Bayesian networks, the provision of four ES (Soil C balance, Soil N balance, Groundwater contamination control, and N<sub>2</sub>O emission control) was estimated at three agricultural regions (North of Córdoba, Center of Buenos Aires, and South of Entre Ríos). The quantification of these models was performed considering a base scenario (year 2010), three future scenarios (years 2020, 2050, 2080) and the performance of three crops (corn, soybean, and wheat). The forward-looking estimations were made by applying coefficients of projected environmental and productive changes provided by the Intergovernmental Panel on Climate Change. Each ES showed minimal differences between scenarios, the major ones between crops and regions. Differences in provision were also observed among ES, and Soil N balance was the one which showed the lowest values. In summary, these four ES exhibited low sensitivity to the effect of climate change in the Pampas.*

**Key words:** climate change – ecosystem services – Pampean agroecosystems

La mitigación y la adaptación son consideradas como posibles respuestas frente al cambio climático. Por un lado, la mitigación es “una intervención antropogénica para reducir la emisión de gases de efecto invernadero, o bien aumentar sus sumideros” (IPCC, 2001); es decir, las estrategias de mitigación se encuentran enfocadas en atacar directamente las causas de la problemática (SAyDS, 2009). Por otro lado, la adaptación es “el proceso mediante el cual se ajustan las actividades humanas de forma tal que tanto la sociedad como los recursos naturales se encuentren menos expuestos y sean menos vulnerables al cambio climático” (Magrin et al., 2005). Las estrategias de adaptación (preventivas o reactivas) a seguir debieran estar enfocadas no sólo en reducir las pérdidas de los niveles de producción de los sistemas (Easterling & Apps, 2005; Lin et al., 2008), sino también en mantener la sustentabilidad de los recursos naturales con el objetivo de evitar mayores consecuencias negativas frente a las proyecciones climáticas esperadas. En el contexto de cambio climático, la adaptación ha sido objeto de menor atención en la comunidad científica en comparación con la mitigación (SAyDS, 2009).

Los agroecosistemas son vulnerables a los eventos climáticos. Esta vulnerabilidad se irá acrecentando a medida que el proceso de intensificación de la producción también aumente (Lin et al., 2008). Sin embargo, Magrin (2007) establece que la agricultura tiene la capacidad de adaptarse a los cambios paulatinos, siendo los eventos extremos aquellos que representan una verdadera amenaza para estos sistemas. Magrin et al. (2005) proponen cuatro medidas de adaptación de los sistemas agrícolas, como ser el sistema de alquiler condicionado, la transformación en origen de los productos agrícolas, los cambios en la fecha de siembra, y el riego suplementario. En este sentido, la diversificación de la producción (i.e. ampliación de bienes y servicios producidos en una explotación agrícola) también podría considerarse como una estrategia de adaptación al cambio climático, por su característica inherente de disminuir los riesgos climáticos así como los riesgos del mercado. Las estrategias de diversificación ampliamente utilizadas son la rotación de cultivos, los policultivos, los sistemas agro-forestales, los cultivos de cobertura, y la integración animal al sistema agrícola. Estas estrategias no sólo permitirían un mejor uso de los recursos naturales presentes en el sistema sino también el diseño de agroecosistemas sustentables (Altieri, 1999).

## Materiales y Métodos

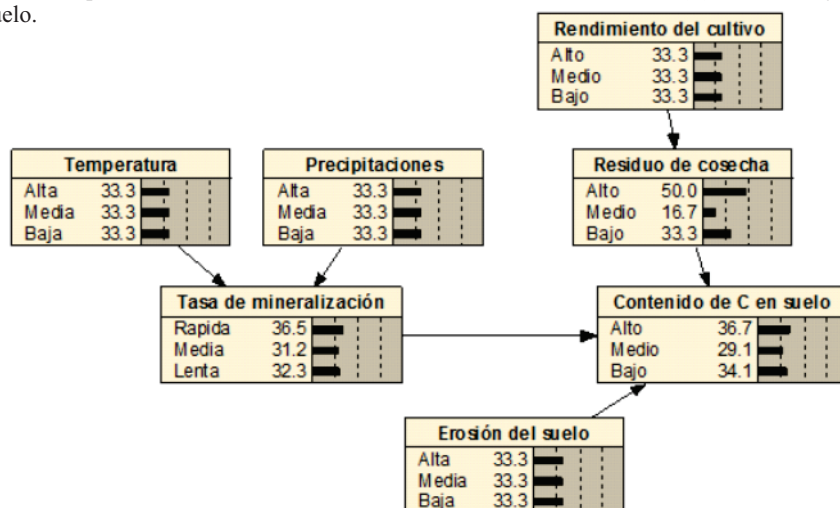
En este trabajo, se utilizaron modelos probabilísticos previamente desarrollados para evaluar la provisión de SE en los agroecosistemas pampeanos (Argentina) como consecuencia de la variabilidad ambiental y de las prácticas de manejo agrícola (Rositano & Ferraro, 2014). Estos modelos probabilísticos se conocen como Redes Bayesianas. Una Red Bayesiana es una estructura gráfica acíclica que conecta un conjunto de variables en términos de relaciones de independencia condicional y un conjunto de distribuciones de probabilidad condicional susceptibles de ser modificadas con base en evidencias por medio del Teorema de Bayes (Henriksen et al., 2007; López Puga et al., 2007). Esta metodología utiliza información cuantitativa, conocimiento experto o ambas para “poblar” (i.e. completar de manera probabilística los escenarios determinados por el arreglo factorial de los estados de aquellas variables de entrada que determinan la variable respuesta) las variables. Para obtener mayor información sobre esta metodología, se recomienda el artículo de Chen & Pollino (2012).

En base a un proceso de revisión bibliográfica y de elicitación del conocimiento experto (i.e. entrevistas individuales a investigadores pertenecientes a organismos públicos y privados), se

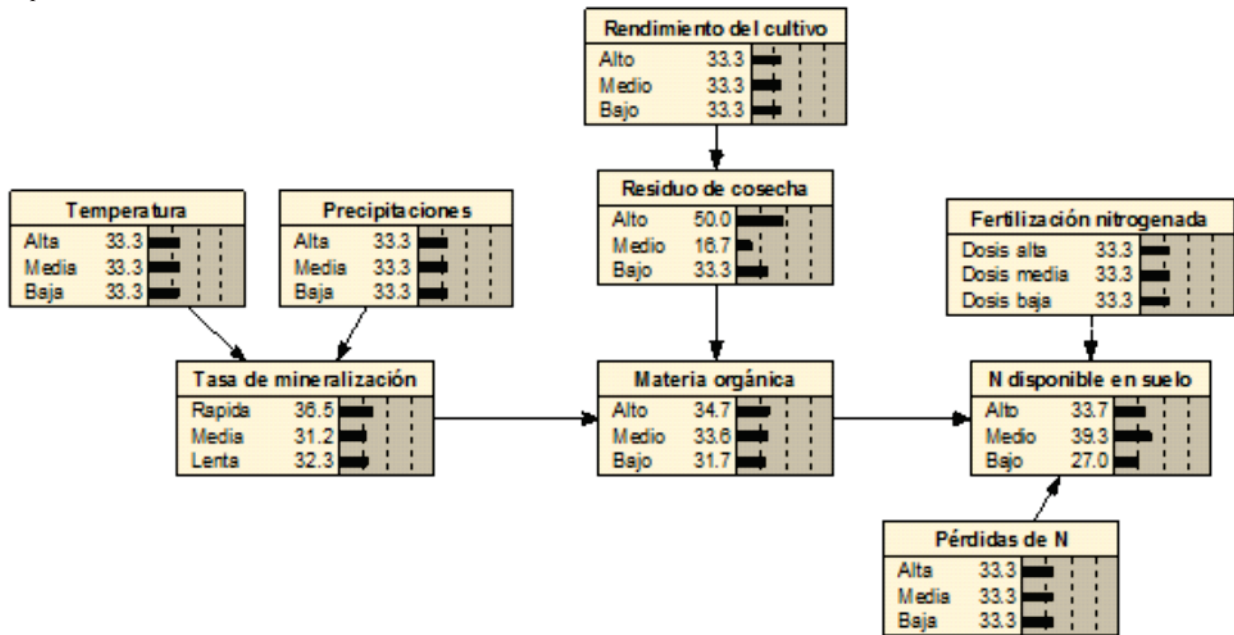
La evaluación de la provisión de servicios de los ecosistemas (SE) (i.e. beneficios de la naturaleza reconocidos por la humanidad (MEA, 2005)) se presenta como un enfoque alternativo para el estudio de la sustentabilidad de los agroecosistemas, debido a que representan el funcionamiento de un sistema desde un punto de vista sistémico al incluir tanto su condición biofísica como su dimensión utilitaria (Müller, 2005). En los últimos años, se ha evidenciado un incremento en el estudio de la relación entre el cambio climático y la provisión de SE en distintos ecosistemas. En los agroecosistemas finlandeses, por un lado, los SE de provisión de alimentos y de producción de madera se beneficiarían del incremento en la temperatura y la prolongación de la estación de crecimiento, aunque se incrementaría el riesgo de enfermedades fúngicas (Forsius et al., 2013). En la región de la cuenca del Mediterráneo, por otro lado, el cambio climático impactaría de manera negativa sobre los SE de provisión de agua para consumo y control de la erosión del suelo (Bangash et al., 2013). En este sentido, el análisis del impacto del cambio climático sobre la provisión de SE es esencial debido a que representan el nodo final de una cadena de interacciones presentes en los sistemas (Gosling, 2013). En base a estos antecedentes, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del cambio climático sobre un conjunto de SE presentes en tres sub-regiones agrícolas pampeanas (Argentina).

representaron cuatro SE provistos por los agroecosistemas pampeanos: 1) Balance de carbono (C) del suelo (Figura 1), 2) Balance de nitrógeno (N) del suelo (Figura 2), 3) Control de contaminación del agua subterránea (Figura 3), y 4) Control de emisión de N<sub>2</sub>O (Figura 4) (Rositano & Ferraro, 2014; Rositano, 2015). Estos modelos probabilísticos están modulados por variables de entrada ambientales (e.g. temperatura, precipitaciones), edáficas (e.g. erosión del suelo, textura del suelo) y productivas (e.g. rendimiento del cultivo, fertilización nitrogenada, riego). En un primer paso, fue necesario determinar el número de estados (e.g. tres estados: alto, medio y bajo) de cada variable. Los estados son *clusters* o grupos delimitados por intervalos o rangos de las variables bajo estudio. El número de estados es dependiente de la información que se desee transmitir y de los posibles valores que pueda llegar a tomar la variable (Dlamini, 2010). En este trabajo, las variables presentaron entre dos y tres estados. En un segundo paso, fue necesario “poblar” las variables. Aquellas variables determinadas por una o más variables están caracterizadas por una tabla de probabilidad condicional que representa la combinación de todos los estados de las variables de las cuales depende junto con sus valores probabilísticos; mientras que las variables de entrada tienen distribuciones pro-

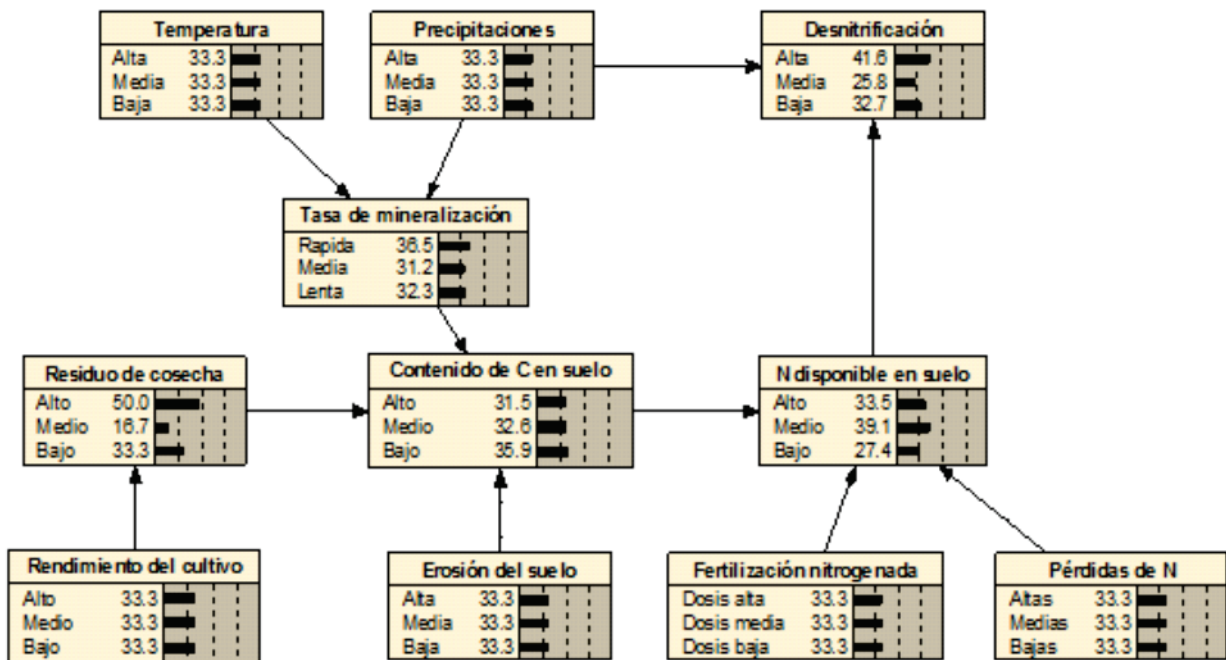
**Figura 1:** Red Bayesiana representando el servicio del ecosistema Balance de carbono (C) del suelo, y su variable respuesta Contenido de C en suelo.



**Figura 2:** Red Bayesiana representando el servicio del ecosistema Balance de nitrógeno (N) del suelo, y su variable respuesta N disponible en suelo.



**Figura 3:** Red Bayesiana representando el servicio del ecosistema Control de emisión de N<sub>2</sub>O, y su variable respuesta Desnitrificación.



probabilísticas marginales que representan la frecuencia de cada estado (Chen & Pollino, 2012). Para obtener mayor información sobre el desarrollo lógico de estos cuatro modelos probabilísticos, se recomiendan los artículos Rositano & Ferraro (2014, 2017) y Rositano et al. (2017).

Específicamente, cada modelo tiene una variable respuesta con tres estados: Alto, Medio y Bajo. En términos de obtener mayor legibilidad, en la sección Resultados se muestran únicamente aquellos estados de la variable respuesta con mayor relación con la sustentabilidad de los agroecosistemas: 1) *Alto* Contenido de C en suelo (Figura 1), 2) *Alto* N disponible en suelo (Figura 2), 3) *Baja* Concentración de NO<sub>3</sub> en agua subterránea (Figura 3), y 4)

*Baja* Desnitrificación (Figura 4) (Rositano & Ferraro, 2014; Rositano, 2015; Rositano et al., 2017).

Los modelos se aplicaron a tres zonas de estudio con el fin de estimar, y comparar, la provisión de SE para cuatro momentos puntuales de tiempo (años 2010, 2020, 2050, y 2080) y tres cultivos (maíz, soja, y trigo). La información productiva y ambiental para obtener dicha estimación provino de tres sistemas ubicados en sub-regiones pampeanas agroecológicamente contrastantes: 1) Norte de Córdoba (NC), 2) Centro de Buenos Aires (CBA), y 3) Sur de Entre Ríos (SER) (Figura 5). El sistema NC está ubicado en una región de transición entre Pampa Semiárida y la Región Chaqueña; el sistema CBA está ubicado en

Figura 4: Red Bayesiana representando el servicio del ecosistema Control de contaminación del agua subterránea, y su variable respuesta Concentración de NO<sub>3</sub> en agua subterránea.

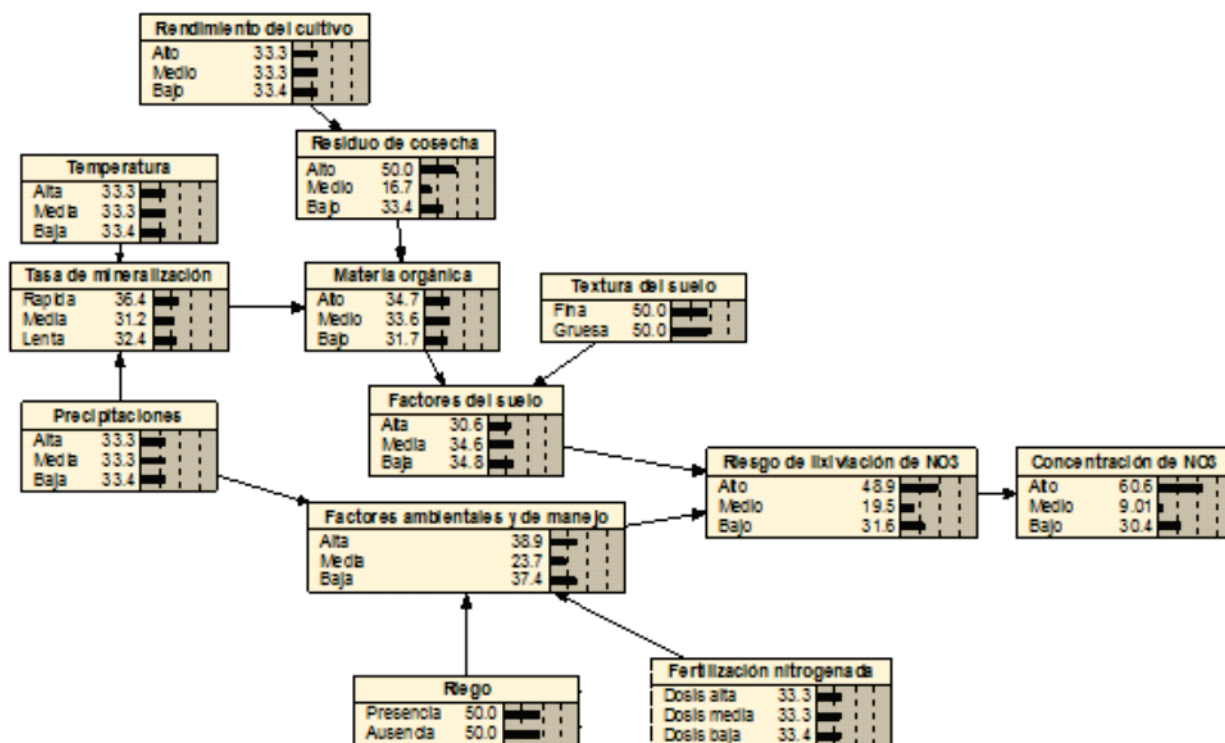
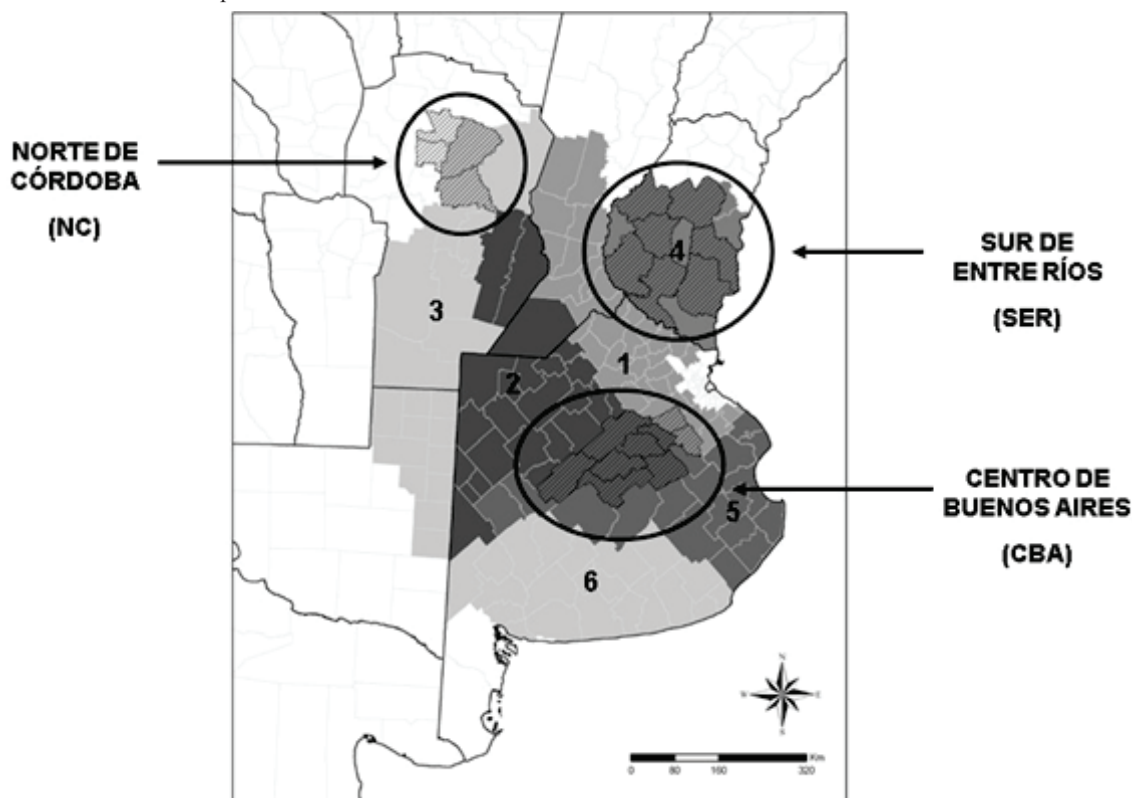


Figura 5: Agroecosistemas pampeanos seleccionados para estimar la provisión de cuatro servicios de los ecosistemas. Los distintos tonos de gris corresponden a cada una de las sub-regiones pampeanas: 1) Pampa Ondulada, 2) Pampa Interior, 3) Pampa Semiárida, 4) Pampa Mesopotámica, 5) Pampa Deprimida, y 6) Pampa Arenosa (Basada en Viglizzo et al., 2003). Los departamentos/partidos delineados y rayados son aquellos de los cuales se obtuvo la información productiva y ambiental con el objetivo de estimar el efecto del cambio climático sobre la provisión de cuatro servicios de los ecosistemas.



Pampa Deprimida y un pequeño territorio se encuentra en Pampa Ondulada; mientras que el sistema SER se localiza en Pampa Mesopotámica.

La cuantificación de los modelos para el año 2010 se realizó a través de: 1) bases de datos productivas provenientes de la Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA), y 2) bases de datos ambientales provenientes del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). La cuantificación de los modelos para los tres restantes años (2020, 2050, y 2080) se realizó a partir de la aplicación de los coeficientes de incremento y/o disminución (en °C y en %) propuestos por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, presentes en la Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3, a los valores productivos y ambientales correspondientes al año 2010.

En el caso de los cambios proyectados en Temperatura (Tabla 1), se realizó un promedio para cada estación climática en cada año. Los valores de invierno se aplicaron al ciclo agrícola del cultivo de trigo, mientras que los valores de verano al ciclo agrícola de los cultivos de maíz y soja. En el caso de los cambios proyectados en Precipitaciones (Tabla 2), se utilizaron los valores extremos de porcentaje de cambio para cada estación climática en cada año. En el caso del impacto en el Rendimiento del cultivo (Tabla 3), cada escenario climático se asoció a un año en particular; es decir, el escenario +1°C, por ejemplo, se asoció al año 2020 debido a que los promedios de cambio en temperatura para invierno y verano se acercaban (o eran iguales) a este valor. Este razonamiento se aplicó también para los escenarios climáticos +2°C y +3°C.

**Tabla 1:** Cambios proyectados en las temperaturas para América del Sur. (Extraído de la página web del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático).

Cambios proyectados en Temperatura (°C)	Año 2020	Año 2050	Año 2080
Invierno (J/J/A)	+0,6 a +1,1	+1,0 a +2,9	+1,8 a +4,5
<i>Promedio Invierno (J/J/A)</i>	<i>0,85</i>	<i>1,95</i>	<i>3,15</i>
Verano (D/E/F)	+0,8 a +1,2	+1,0 a +3,0	+1,8 a +4,5
<i>Promedio Verano (D/E/F)</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3,15</i>

Referencias: J/J/A = Junio/Julio/Agosto; D/E/F = Diciembre/Enero/Febrero.

**Tabla 2:** Cambios proyectados en las precipitaciones para América del Sur. (Extraído de la página web del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático).

Cambios proyectados en Precipitaciones (%)	Año 2020	Año 2050	Año 2080
Invierno (J/J/A)	-5 a +3	-12 a +10	-12 a +12
Verano (D/E/F)	-3 a +5	-5 a +10	-10 a +10

Referencias: J/J/A = Junio/Julio/Agosto; D/E/F = Diciembre/Enero/Febrero.

**Tabla 3:** Impactos futuros del cambio climático en el sector agrícola de Región Pampeana. (Extraído de la página web del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático que, a su vez, obtuvo los datos del artículo publicado por Magrin & Travasso (2002))

Escenario climático	Impacto en el Rendimiento del cultivo (%)		
	Trigo	Maíz	Soja
+1°C (550 ppm CO <sub>2</sub> ).I	11	0	40
+2°C (550 ppm CO <sub>2</sub> ).I	3	-5	42
+3°C (550 ppm CO <sub>2</sub> ).I	-4	-9	39

## Resultados

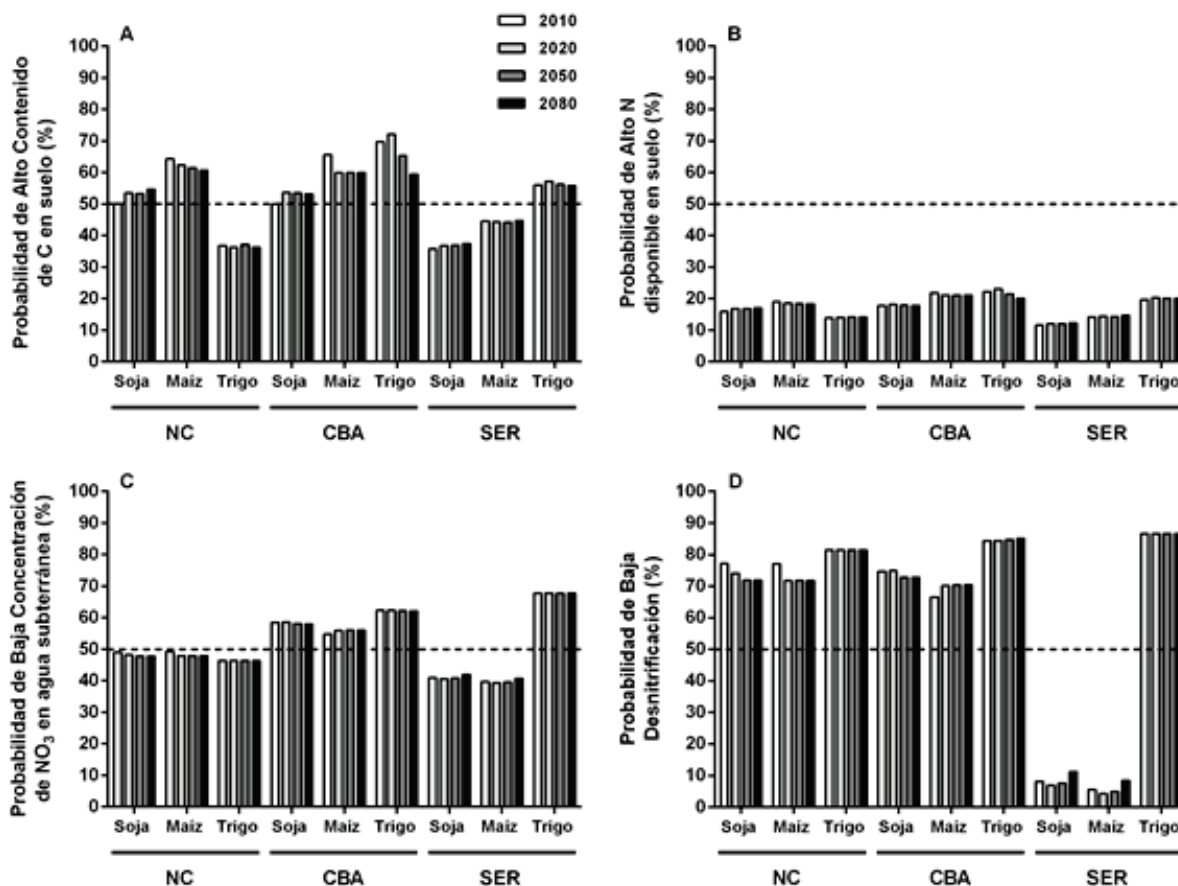
La provisión de cada SE presentó diferencias mínimas entre años, encontrándose las mayores diferencias entre cultivos y entre zonas agrícolas (Figura 6). Las diferencias en provisión se observaron también entre SE, siendo el servicio Balance de N del suelo aquel que presentó los menores valores de su variable respuesta (Figura 6B).

En el caso de la variable respuesta Alto Contenido de C en suelo, las probabilidades halladas fueron mayores en el sistema CBA para maíz y trigo, observándose una disminución de los niveles con el paso de los años en el caso del cultivo de trigo (Figura 6A). Esta misma tendencia, en menor medida, se observó para el cultivo de maíz en el sistema NC (Figura 6A). Tanto trigo en NC como soja en SER presentaron los menores valores de probabilidad.

En el caso de la variable respuesta Alto N disponible en suelo, los mayores valores de probabilidad se hallaron para los cultivos de maíz y trigo en el sistema CBA, y trigo en el sistema SER (Figura 6B). Los valores obtenidos se encuentran entre 10 y 20%, siendo valores bajos en comparación con los valores obtenidos para la variable respuesta del servicio Balance de C del suelo.

En el caso de la variable respuesta Baja Concentración de NO<sub>3</sub> en agua subterránea, no se hallaron diferencias temporales dentro de cada cultivo en cada zona agrícola (Figura 6C). En los sistemas NC y CBA, los tres cultivos presentaron similares valores de probabilidad mientras que en el sistema SER los cultivos de soja y maíz presentaron menores valores de probabilidad que el cultivo de trigo (Figura 6C).

**Figura 6:** Respuesta probabilística de la variable respuesta de cada servicio del ecosistema en relación a tres zonas, tres cultivos y cuatro años. En términos de obtener mayor legibilidad en los resultados, se muestran únicamente aquellos estados de la variable respuesta con mayor relación con la sustentabilidad de los agroecosistemas pampeanos: A) Alto Contenido de C en suelo, B) Alto N disponible en suelo, C) Baja Concentración de NO<sub>3</sub> en agua subterránea, y D) Baja Desnitrificación. Referencias: NC = Norte de Córdoba; CBA = Centro de Buenos Aires; SER = Sur de Entre Ríos.



En el caso de la variable respuesta Baja Desnitrificación, los cultivos de soja y maíz presentaron los menores valores de probabilidad en el sistema SER debido, principalmente, a los elevados valores de la variable de entrada Precipitaciones en comparación con los valores obtenidos para las restantes zonas

agrícolas (Figura 6D). En el sistema NC, los cultivos de soja y maíz tuvieron disminuciones de sus niveles de provisión en comparación con el año 2010 ocurriendo lo mismo en el cultivo de soja y lo contrario en el cultivo de maíz para el sistema CBA (Figura 6D).

## Discusión

Las variaciones en los niveles de rendimiento (resultados no presentados) tuvieron un patrón similar a aquellos obtenidos por otros autores (Magrin et al., 1997; Murgida et al., 2014). Sin embargo, estos no fueron luego representados en variaciones en los niveles de provisión de SE. Existen dos posibles causas asociadas a esta baja sensibilidad en la respuesta frente a los cambios en temperatura, precipitaciones y rendimiento. Primero, ciertas variables edáficas (e.g. erosión del suelo) y productivas (e.g. fertilización nitrogenada, riego) no se modificaron con el paso de los años, manteniendo sus mismos niveles no sólo en el año 2010 sino también en los años 2020, 2050 y 2080. Segundo, el manejo agrícola presente en la base de datos del año 2010 fue homogéneo en distintos puntos de Región Pampeana (Rositano, 2015). Como fue explicado anteriormente, las modificaciones se hicieron a partir de los valores de temperatura, precipitaciones y rendimiento del año 2010 y, como puede verse en la Figura 6, este año base no presentó marcadas variaciones entre zonas ni entre cultivos para cada SE; por ello, los escenarios a futuro tampoco presentaron variaciones en sus probabilidades.

El incremento homogéneo en los valores ambientales y productivos podría mejorarse mediante estimaciones zonales diferenciales del cambio climático y sus efectos sobre el rendimiento (Magrin et al., 1997; Magrin & Travasso, 2002; Magrin, 2007; Murgida et al., 2014) y el nivel de provisión de SE. En este sentido, un futuro trabajo abordará la recopilación de proyecciones regionales climáticas a utilizarse en modelos de simulación para estimar el impacto del cambio climático sobre el rendimiento de estos tres cultivos. Estas proyecciones climáticas y productivas, se incorporarán a los cuatro modelos bayesianos. De esta manera, se evaluará la influencia de distintos escenarios ambientales y productivos futuros sobre la provisión de SE. Finalmente, se determinará si distintas rotaciones de cultivos, como estrategia de diversificación de la producción, permitirían contrarrestar las posibles disminuciones en los niveles de provisión de SE en Región Pampeana como consecuencia del cambio climático.

## Conclusiones

En términos generales, estos resultados preliminares (basados en coeficientes de cambio y no en simulaciones climáticas ni productivas) determinaron que este conjunto de SE presenta baja sensibilidad al cambio climático en Región Pampeana. Si bien este trabajo es exploratorio, las variaciones ambientales (i.e.

temperatura y precipitaciones) y productivas (i.e. rendimiento del cultivo) deberían aplicarse por sistema evaluado ya que es de esperar que el cambio climático no tenga el mismo efecto, por ejemplo, en CBA que en NC o en SER.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (PIP 555), por la Agencia Nacional de Promoción Científica (PICT 1559) y por la Universidad de Buenos Aires (UBACYT 20020110100196). La autora es beneficiaria de una beca posdoctoral CONICET. La autora agradece a D.O. Ferraro y G. Piñeiro por sus comentarios a versiones previas de este manuscrito.

## Bibliografía

1. **ALTIERI MA** (1999) Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. En: Altieri MA (Ed.) Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable. Ediciones Científicas Americanas.
2. **BANGASH RF, PASSUELLO A, SANCHEZ-CANALES M, TERRADO M, LÓPEZ A, ELORZA FJ, ZIV G, ACUÑA V, SCHUHMACHER M** (2013) Ecosystem services in Mediterranean river basin: Climate change impact on water provisioning and erosion control. *Science of the Total Environment*. 458-460:246-255.
3. **CHEN SH, POLLINO CA** (2012) Good practice in Bayesian network modelling. *Environmental Modelling & Software* 37:134-145.
4. **DLAMINI WM** (2010) A Bayesian belief network analysis of factors influencing wildfire occurrence in Swaziland. *Environmental Modelling & Software* 25:199-208.
5. **EASTERLING W, APPS M** (2005) Assessing the consequences of climate change for food and forest resources: A view from the IPCC. *Climatic Change* 70(1-2):165-189.
6. **FORSIUS M, ANTTILA A, ARVOLA L, BERGSTRÖM I, HAKOLA H, HEIKKINEN HI, HELENIUS J, HYVÄRINEN M, JYLHÄ K, KARJALAINEN J, KESKINEN T, LAINE K, NIKINMAA E, PELTONEN-SAINIO P, RANKINEN K, REINIKAINEN M, SETÄLÄ H, VUORENMAAJ** (2013) Impacts and adaptation options of climate change on ecosystem services in Finland: a model base study. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5:26-40.
7. **GOSLING SN** (2013) The likelihood and potential impact of future change in the large-scale climate-earth system on ecosystem services. *Environmental Science & Policy* 27(1):15-31.
8. **HENRIKSEN HJ, RASMUSSEN P, BRANDT G, VON BÜLOW D, JENSEN FV** (2007) Public participation modeling using Bayesian networks in management of groundwater contamination. *Environmental Modelling & Software* 22:1101-1113.
9. **IPCC** (2001) Climate Change 2001: IPCC Third Assessment Report. Synthesis Report.
10. **LIN BB, PERFECTO I, VANDERMEER J** (2008) Synergies between agricultural intensification and climate change could create surprising vulnerabilities for crops. *BioScience* 58(9):847-854.
11. **LÓPEZ PUGA J, GARCÍA GARCÍA J, DE LA FUENTE SÁNCHEZ L, INMACULADA DE LA FUENTE SOLANA E** (2007) Las redes bayesianas como herramientas de modelado en psicología. *Anales de Psicología* 23:307-316.
12. **MAGRIN GO** (2007) Variabilidad climática, cambio climático y sector agropecuario. CLIMA LATINO - Encuentro Internacional sobre Cambio Climático en América Latina. Guayaquil - Quito, Ecuador. 15-18 de octubre de 2007.
13. **MAGRIN GO, TRAVASSO MI** (2002) An integrated climate change assessment from Argentina (Chapter 10) En: Doering III O, Randolph JC, Southworth J, Pfeifer RA (Eds.), Effects of climate change and variability on agricultural production systems. Kluwer Academic Publishers (Boston). 26 pp.
14. **MAGRIN GO, TRAVASSO MI, DÍAZ RA, RODRÍGUEZ RO** (1997) Vulnerability of the agricultural systems of Argentina to climate change. *Climate* 9:31-36.
15. **MAGRIN GO, TRAVASSO MI, LÓPEZ GM, RODRÍGUEZ GR, LLOVERAS AR** (2005) Vulnerabilidad de la producción agrícola en la Región Pampeana argentina. Informe Final. 2da Comunicación Nacional sobre el Cambio Climático.
16. **MEA** (2005) Millenium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being. Washington, DC.
17. **MONTOYA JM, RAFFAELLI D** (2010) Climate change, biotic interactions and ecosystem services. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 365:2013-2018.
18. **MOONEY H, LARIGAUDERIE A, CESARIO M, ELMQUIST T, HOEGH-GULDBERG O, LAVOREL S, MACE GM, PALMER M, SCHOLES R, YAHARA T** (2009) Biodiversity, climate change, and ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 1:46-54.
19. **MÜLLER F** (2005) Indicating ecosystem and landscape organisation. *Ecological Indicators* 5:280-294.
20. **MURGIDA AM, TRAVASSO MI, GONZÁLEZ S, RODRÍGUEZ GR** (2014) Evaluación de impactos del cambio climático sobre la producción agrícola en la Argentina. Serie Medio Ambiente y Desarrollo N° 155. Editorial Naciones Unidas. Pp. 70.
21. **ROSITANO F** (2015) Sustentabilidad de los agroecosistemas pampeanos: Análisis cualitativo y cuantitativo de la provisión de servicios de los ecosistemas. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
22. **ROSITANO F, FERRARO DO** (2014) Ecosystem services provided by agroecosystems: A qualitative and quantitative assessment of this relationship in the Pampa region, Argentina. *Environmental Management* 53(3):606-619.
23. **ROSITANO F, FERRARO DO** (2017) Una nueva aproximación metodológica basada en redes conceptuales y redes probabilísticas para evaluar la provisión de servicios de los ecosistemas. *Ecología Austral* 27:10-17.
24. **ROSITANO F, BERT F, PIÑEIRO G, FERRARO DO** (2017) Evaluación del impacto ambiental del manejo agrícola en tres sistemas agrícolas argentinos. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 25:9-14.
25. **SAYDS** (2009) El cambio climático en Argentina. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Pp. 88.
26. **VIGLIZZO EF, PORDOMINGO AJ, CASTRO MG, LERTORA FA** (2003) Environmental assessment of agriculture at a regional scale in the Pampas of Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment* 87:169-195.