



**Universidad Nacional de Rosario**  
**Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura**  
**ESCUELA de AGRIMENSURA**

**TRABAJO FINAL:**

**“Planificación y ejecución de una sistematización  
con terrazas para control de erosión hídrica”**

**Directores:**

NOGUERA, Gustavo  
POSTMA, Jorge

**Alumnos:**

|                      |            |
|----------------------|------------|
| BARBOZA, Guillermina | B - 5427/5 |
| GUZMÁN, Gonzalo      | G - 4593/4 |
| LODIGIANI, Manuel    | L - 2722/7 |

~ Año 2017 ~

## ÍNDICE

### TOMO I

|  |         |
|--|---------|
| 1. OBJETIVOS.....  | Pág. 4  |
| 2. RESUMEN.....  | Pág. 5  |
| 3. UBICACIÓN ESPACIAL DE LA ZONA DE TRABAJO.....               | Pág. 6  |
| 4. INTRODUCCIÓN TEÓRICA.....                                   | Pág. 8  |
| 4.1. Suelo.....  | Pág. 8  |
| 4.1.1. Definición, propiedades y conceptos básicos.....        | Pág. 8  |
| 4.1.2. Taxonomía de suelos.....                                | Pág. 10 |
| 4.2. Erosión hídrica.....                                      | Pág. 11 |
| 4.2.1. Definición.....   | Pág. 11 |
| 4.2.2. Principales causas y consecuencias.....                 | Pág. 12 |
| 4.2.3. Tipos de erosión hídrica.....                           | Pág. 13 |
| 4.2.4. Ecuación universal de pérdida de suelo.....             | Pág. 17 |
| 4.2.5. Tolerancias de pérdida de suelo.....                    | Pág. 23 |
| 4.2.6. Software: “Erosión Hídrica – USLE/RUSLE Argentina”..... | Pág. 23 |
| 4.3. Técnicas de manejo de relieve.....                        | Pág. 24 |
| 4.3.1. Introducción.....                                       | Pág. 24 |
| 4.3.2. Prácticas de manejo.....                                | Pág. 25 |
| 4.3.2.1. Cultivos cortando la pendiente.....                   | Pág. 25 |
| 4.3.2.2. Cultivos en curva de nivel.....                       | Pág. 25 |
| 4.3.2.3. Cultivos en fajas o franjas a nivel.....              | Pág. 25 |
| 4.3.2.4. Terrazas.....   | Pág. 27 |
| 4.3.2.4.1. Tipos de terrazas.....                              | Pág. 27 |
| 4.3.2.4.2. Diseño: espaciamiento, desnivel y longitud.....     | Pág. 30 |
| 4.3.2.4.3. Trazado.....  | Pág. 31 |
| 4.3.2.4.4. Construcción.....                                   | Pág. 31 |
| 4.3.2.4.5. Mantenimiento.....                                  | Pág. 32 |
| 4.4. Topografía.....   | Pág. 33 |
| 4.4.1. Definición y conceptos básicos.....                     | Pág. 33 |
| 4.5. Sistemas y Marcos de referencia.....                      | Pág. 34 |
| 4.5.1. Sistemas de Referencia Geodésicos.....                  | Pág. 34 |
| 4.5.2. Marcos de Referencia Geodésicos.....                    | Pág. 35 |

|   |         |
|---|---------|
| 4.5.3. Sistema de Proyección Cartográfica Gauss-Krüger.....             | Pág. 35 |
| 4.6. Sistema de Posicionamiento Global GPS.....                         | Pág. 37 |
| 4.6.1. Definición y conceptos básicos.....                              | Pág. 37 |
| 4.6.2. Principio de funcionamiento.....                                 | Pág. 37 |
| 4.6.3. Composición del sistema.....                                     | Pág. 37 |
| 4.6.4. Red de Estaciones Permanentes.....                               | Pág. 39 |
| 4.6.5. Clasificación de los métodos de observación.....                 | Pág. 39 |
| 4.6.6. Métodos de posicionamiento.....                                  | Pág. 40 |
| 4.6.6.1. Mediante Código C/A.....                                       | Pág. 40 |
| 4.6.6.1.1. Posicionamiento Absoluto: estático y móvil.....              | Pág. 41 |
| 4.6.6.1.2. Posicionamiento Diferencial: estático y móvil.....           | Pág. 42 |
| 4.6.6.2. Mediante Fase.....   | Pág. 43 |
| 4.6.6.2.1. Posicionamiento Relativo o Diferencial.....                  | Pág. 45 |
| 4.6.7. Errores sistemáticos y accidentales.....                         | Pág. 46 |
| 4.7. Sistema de información Geográfica (SIG).....                       | Pág. 47 |
| 4.7.1. Definición y utilidades.....                                     | Pág. 47 |
| 5. DESARROLLO.....  | Pág. 48 |
| 5.1. Estudio previo de la zona de trabajo.....                          | Pág. 48 |
| 5.1.1. Entre Ríos: visión.....  | Pág. 48 |
| 5.1.2. Zonas agroeconómicas homogéneas: Gualeguay.....                  | Pág. 48 |
| 5.1.3. Taxonomía del suelo.....   | Pág. 50 |
| 5.1.3.1. Vertisoles de Entre Ríos: características.....                 | Pág. 50 |
| 5.1.3.2. Clasificación taxonómica.....                                  | Pág. 52 |
| 5.1.3.3. Serie El Triángulo.....  | Pág. 53 |
| 5.1.3.3.1. Descripción.....   | Pág. 53 |
| 5.1.3.3.2. Perfil tipo.....   | Pág. 54 |
| 5.1.3.3.3. Variabilidad de rasgos.....                                  | Pág. 55 |
| 5.1.3.3.4. Fases.....   | Pág. 56 |
| 5.1.3.3.5. Extensión y fisiografía.....                                 | Pág. 56 |
| 5.1.3.3.6. Drenaje y erosión.....                                       | Pág. 56 |
| 5.2. Análisis del lote y su entorno a partir de la creación de un SIG.. | Pág. 56 |
| 5.2.1. Cambio de uso del suelo en la región: 2002 a la actualidad....   | Pág. 57 |
| 5.2.1.1. Áreas desmontadas.....   | Pág. 58 |
| 5.2.1.2. Aplicación de sistematizaciones.....                           | Pág. 59 |

|   |         |
|---|---------|
| 5.2.2. Cambio de uso del suelo en el lote de trabajo<br>y estimación de la superficie erosionada..... | Pág. 62 |
| 5.2.3. Análisis de las terrazas construidas en la parcela de trabajo...                               | Pág. 64 |
| 5.3. Planificación y ejecución del relevamiento planialtimétrico.....                                 | Pág. 65 |
| 5.3.1. Instrumental utilizado, precisiones y errores.....   | Pág. 65 |
| 5.3.2. Metodología de trabajo.....  | Pág. 66 |
| 5.3.2.1. Primer Etapa: Método Cinemático.....   | Pág. 66 |
| 5.3.2.2. Segunda Etapa: Método Stop and Go.....   | Pág. 66 |
| 5.3.2.3. Tercer Etapa: Método Estático.....   | Pág. 67 |
| 5.4. Procesamiento en gabinete de los datos obtenidos.....  | Pág. 68 |
| 5.4.1. Bajada de datos y procesamiento.....   | Pág. 68 |
| 5.4.2. Procesamiento de la cota.....  | Pág. 71 |
| 5.4.3. Manipulación de datos a través del Software<br>AutoCad Civil 3D.....                           | Pág. 72 |
| 5.4.3.1. Nube de puntos.....  | Pág. 72 |
| 5.4.3.2. Curvas de nivel y perfiles significativos.....   | Pág. 72 |
| 5.4.3.3. Mapa de elevaciones.....   | Pág. 72 |
| 5.4.3.4. Diseño de terrazas: solución erosión hídrica.....  | Pág. 73 |
| 5.4.4. Aplicación INTA USLE/RUSLE: Pérdida de suelo.....  | Pág. 75 |
| 5.4.4.1. Análisis de pérdida de suelo sin terrazas.....   | Pág. 75 |
| 5.4.4.2. Análisis de pérdida de suelo con terrazas.....   | Pág. 77 |
| 6. CONCLUSIONES.....  | Pág. 80 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA.....  | Pág. 82 |

## **TOMO II**

|   |         |
|---|---------|
| 8. ANEXOS.....  | Pág. 83 |
| ➤ Anexo 1: Mapa de Suelos de la Provincia de Entre Ríos                       |         |
| ➤ Anexo 2: Carta Topográfica Maciá - Provincia de Entre Ríos - Hoja 3360-5-3  |         |
| ➤ Anexo 3: Monografía Punto Fijo denominado PF30n(91)D - Red de Precisión IGN |         |
| ➤ Anexo 4: Lámina 1 – Nube de puntos y cárcavas.                              |         |
| ➤ Anexo 5: Lámina 2 – Curvas de nivel y perfiles significativos.              |         |
| ➤ Anexo 6: Lámina 3 – Mapa de elevaciones.                                    |         |
| ➤ Anexo 7: Lámina 4 – Diseño de terrazas: Solución erosión hídrica.           |         |

## 1. Objetivos

El principal objetivo de este trabajo final es reducir los problemas de erosión hídrica existentes en un lote rural ubicado a 10 km. al Sur de la Localidad de Maciá, Departamento Tala, Entre Ríos.

Para consumar con el mismo se deberá efectuar un estudio previo del área y un análisis posterior, trabajando en forma conjunta con un profesional de la agronomía, para obtener de esta manera las posibles soluciones. Esto incluirá las siguientes actividades:

- ✓ Realizar un análisis previo de la zona de trabajo con cartas de suelo, fotografías aéreas y cartas topográficas.
- ✓ Ejecutar un relevamiento planialtimétrico del lote rural y su entorno.
- ✓ Analizar y procesar los datos obtenidos para crear un modelo digital de terreno que represente la situación actual del lote en cuestión.
- ✓ Crear mapas de curvas de nivel, perfiles topográficos y mapas de elevaciones.
- ✓ Planificar diferentes soluciones teniendo en cuenta la situación topográfica actual y el análisis previo de la zona de trabajo en cuanto a tipos de suelos.

## **2. Resumen**

El trabajo realizado consistió en primer lugar en la determinación del problema existente, es decir la erosión hídrica. En base a dicha problemática se comenzó un análisis previo en gabinete a partir de la utilización de distintos recursos para obtener la mayor cantidad de información posible de la zona de trabajo.

Algunas de las fuentes implementadas fueron: cartas topográficas del IGN (Instituto Geográfico Nacional), cartas de suelos del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) e imágenes satelitales de Google Earth de diferentes años.

Posteriormente, en base a dicho análisis previo y un recorrido de la zona de trabajo, se planificó el relevamiento planialtimétrico. Dicha medición fue llevada a cabo con un equipo GPS, modelo Trimble R6, a partir de tres métodos de observación: Stop and Go, Cinemático y Estático. El método Estático se utilizó para realizar la vinculación del relevamiento con un punto perteneciente a la Red Altimétrica de Precisión.

Obtenida la información de campo, se procesaron los datos del relevamiento planialtimétrico para la confección de un MDT (Modelo Digital de Terreno). A partir de éste, se realizaron mapas de curvas de nivel, mapas de elevaciones, perfiles transversales y longitudinales, cálculos de pérdida de suelo, etc.

Conjuntamente con el análisis previo realizado en gabinete y la información que brindó el MDT, se diseñaron las terrazas correspondientes para solucionar la problemática existente.

Cabe destacar que todas las tareas realizadas se llevaron a cabo mediante una continua comunicación con el Ingeniero Agrónomo Jorge Postma, ya que el trabajo en cuestión es un trabajo interdisciplinario que contiene incumbencia sobre ambas profesiones.

### 3. Ubicación espacial de la zona de trabajo

El trabajo realizado con fines de cumplir el objetivo propuesto se llevó a cabo en un lote rural ubicado a 10 kilómetros aproximadamente al Sur de la localidad de Maciá, Departamento Tala, Provincia de Entre Ríos.

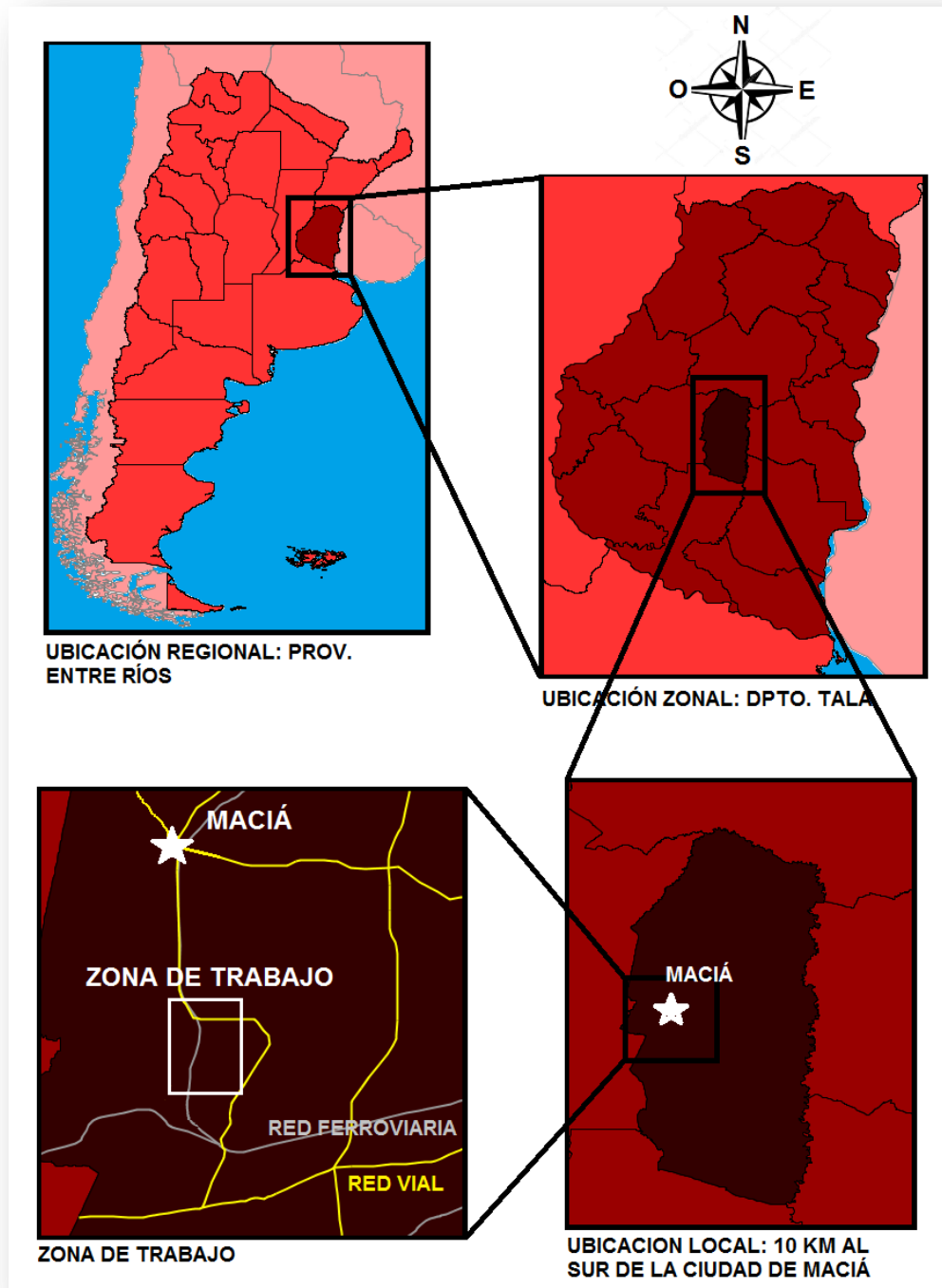


Imagen 1: Ubicación zona de trabajo en diferentes escalas.

La zona de trabajo ocupa un área aproximada de 65 Hectáreas, que comprenden el lote en cuestión y sectores linderos.

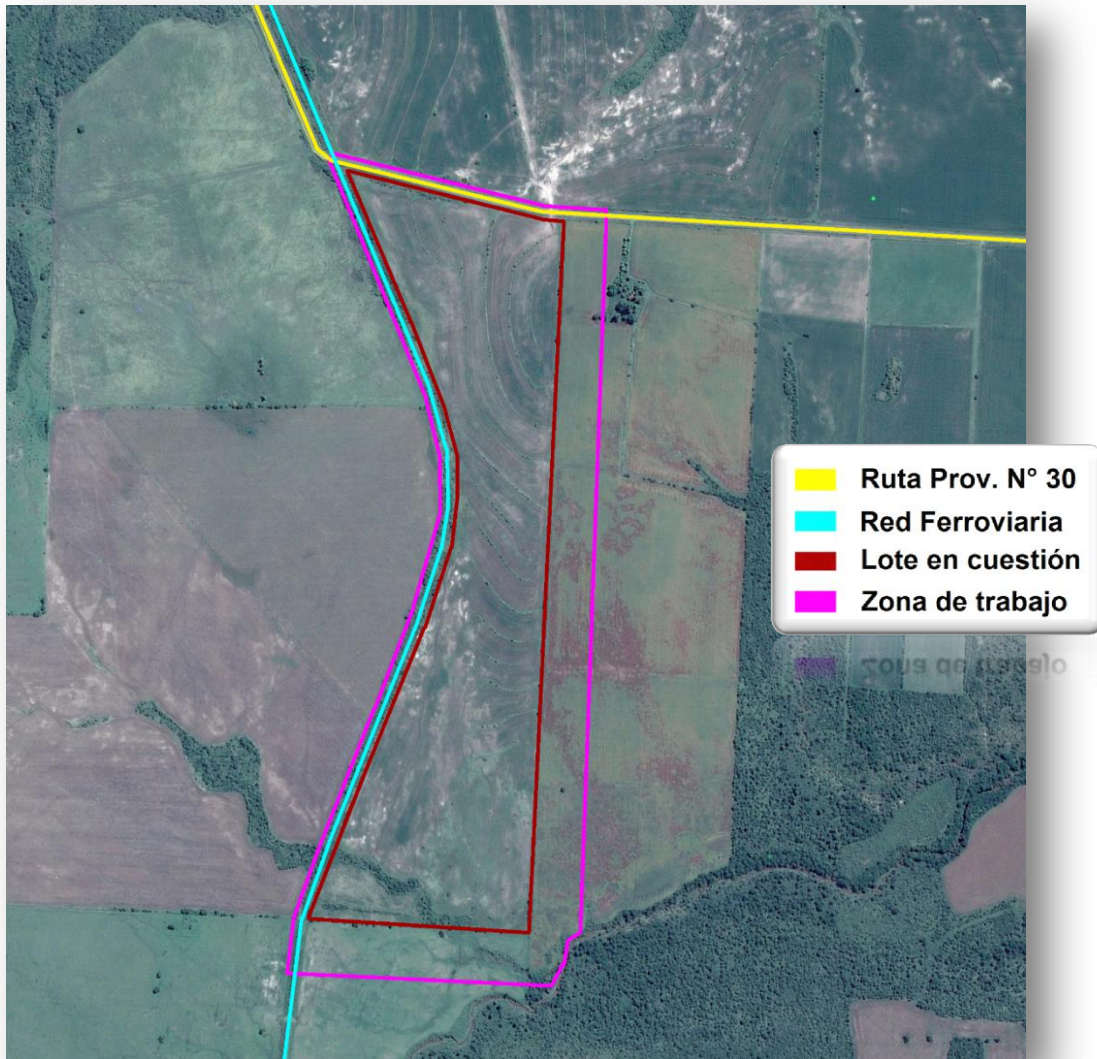


Imagen 2: Imagen satelital de Google Earth de la zona de trabajo.

## 4. Introducción Teórica

### 4.1. Suelo

#### 4.1.1. Definición, propiedades y conceptos básicos

El suelo es una porción tridimensional y dinámica del paisaje, que se desarrolla tanto en profundidad como en ancho y largo. Se lo relaciona principalmente con:

- ✓ Clima: temperaturas, precipitaciones, etc.
- ✓ Material generador: roca que dio origen.
- ✓ La topografía.

En él se producen efectos químicos y biológicos independientes o vinculados entre sí que lo caracterizan. La misma está dada a través de una serie de estratos denominados "horizontes". Tomando una porción de suelo se puede distinguir:

- ✓ una parte sólida constituida por una fracción mineral (entre el 60% y 70%).
- ✓ una parte de materia orgánica (5% y 10%).
- ✓ poros de variado tamaño compuestos de agua (25% y 30%) y aire (15% y 25%).

La parte mineral está compuesta por partículas de diverso tamaño y se clasifican en Arenas (las de mayor tamaño), Limos (tamaño intermedio) y Arcillas (menor tamaño).

Desde el punto de vista físico las propiedades del suelo están ligadas a dos características fundamentales: la textura y la estructura. Podemos describir las distintas propiedades que los suelos presentan:

- ✓ Textura: expresión que sintetiza las características del suelo dependientes del tamaño de las partículas. Existen distintas clases texturales que se determinan sobre la base de la relación en peso de las tres fracciones: arena, limo y arcilla. Dado que el mayor o menor predominio de las fracciones gruesas o finas de un suelo, marcan una serie de tendencias de gran interés, se vio la necesidad de clasificar los suelos de acuerdo al tamaño predominante de sus partículas minerales primarias.  
A continuación se muestra un esquema que muestra el tipo de suelo dependiendo del porcentaje de arena, limo y arcilla que contenga. Las clases texturales son de gran importancia para saber cómo se comporta el suelo frente al drenaje interno. El drenaje es la velocidad con que el agua circula en la superficie o en el interior del perfil.

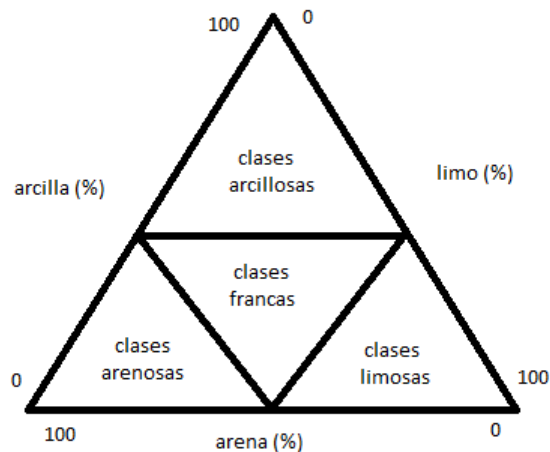


Imagen 3: Base de triángulos texturales.

Las clases arcillosas corresponden a suelos pesados, plásticos y con fuerte poder adhesivo cuando están húmedos y duros cuando están secos; son difíciles de trabajar y retienen la humedad.

Las clases arenosas son suelos livianos o sueltos, fáciles de trabajar y con tendencia a la aridez.

Las clases francas presentan un equilibrio entre los distintos componentes finos, medios y gruesos. De esta manera son óptimas para el crecimiento de las plantas y la producción agrícola. Cabe destacar que poseen un buen drenaje.

- ✓ Estructura: se refiere al grado de ordenamiento de las partículas de arena, limo y arcilla presentes en el suelo en los distintos horizontes. Está relacionado al tamaño, forma y disposición de los poros o espacios que separan las partículas. El tamaño y continuidad de los poros son importantes para el movimiento y la retención de agua. Los poros grandes transportan el agua, los medianos las retienen para las plantas y los más chicos retienen agua no disponible para las plantas.

La estructura es una de las propiedades que puede alterarse fácilmente con los trabajos agrícola-ganaderos. Los suelos con una buena estructura son menos susceptibles a los daños que puedan llegar a ocasionar los trabajos de labranza, son mejores para el crecimiento de las plantas, permiten un buen drenaje, tienen buena retención hídrica y además ofrecen mayor resistencia a la erosión.

Cada horizonte, de acuerdo a la textura, presenta una determinada estructura. La presencia de arcilla y materia orgánica da un mayor ordenamiento estructural.

Existen dos niveles de organización estructural, la macroestructura y la microestructura. La primera es aquella que se puede identificar a simple vista y la segunda es aquella en la cual se necesitan microscopios para ver los detalles de la agregación y la distribución de los poros.

La agregación se describe de acuerdo al tipo, clase y grado de desarrollo de los poros. En cuanto a los tipos podemos tener de forma laminar, columnar, prismática, en bloques angulares o subangulares, granular o migajosa. En cuanto a la clase, de acuerdo al tamaño, pueden ser muy fina, fina, media, gruesa, muy gruesa. De acuerdo al grado de desarrollo se lo define de acuerdo a la presencia y estabilidad de los agregados.

- ✓ Color: esta propiedad indica el material de origen, los minerales presentes, la materia orgánica, la sal presente y las condiciones químicas, entre otras características. La importancia del color está en que permite evaluar parámetros importantes como la cantidad de materia orgánica presente y las condiciones de drenaje y aireación, que están relacionadas con la fertilidad del suelo. Los colores de los distintos tipos de suelo son:

- Cuarzo: blanco, amarillo.
- Calcita: blanco.
- Materiales arcillo-silicatados: Pardos, dependen de su naturaleza y cantidad de revestimiento. Con tintes rojizos (feldespatos). Los que contienen óxidos de hierro presentan distintos colores según su grado de hidratación: hematita (rojo), limonita (amarillo). El aumento de materia orgánica ocasiona un cambio de pardo a pardo oscuro o negro.

Otro dato que nos aporta el color del suelo es el material originario, edad del mismo, clima, relieve y los procesos pedogenéticos. Cuando el suelo es joven dominan los colores del material original, pero al llegar a la madurez influyen las condiciones bioclimáticas.

Los colores del suelo se miden por comparación con la tabla de Munsell. El color se caracteriza a través de tres parámetros: matiz, luminosidad e intensidad.

#### 4.1.2. Taxonomía de suelos

La Taxonomía de Suelos es una forma de clasificación natural de los suelos que permite la agrupación de los grandes tipos de suelos en función de su génesis y de sus propiedades fundamentales, a partir de la definición de categorías superiores (Órdenes, Subórdenes, Grandes Grupos) y categorías inferiores (Subgrupos, Familias y Series).

Dicha clasificación debe ser dinámica, es decir, que está sujeta a cambios o a distintas posibilidades de interpretación a causa de las diversas características que se presentan.

Mediante la Taxonomía se logra dar una denominación genérica a cada tipo de suelo mediante una nomenclatura que utiliza fuentes griegas y latinas. El nombre de un suelo se confecciona combinando elementos formativos del Gran Grupo,

Suborden y Orden de manera de formar una sola palabra. A ésta, se le agrega una palabra que indica la principal característica diferenciadora del subgrupo.

## 4.2. Erosión hídrica

### 4.2.1. Definición

La erosión es el desgaste que se produce en la superficie del suelo por la acción de agentes externos o por la fricción continua de otros cuerpos.

La erosión hídrica es el proceso por el cual se produce el desprendimiento, transporte y deposición de las partículas de suelo por acción de los siguientes agentes principales:

- ✓ La energía cinética de la gota de lluvia: la energía de las lluvias se disipa sobre la superficie del suelo produciendo la ruptura de los terrones y agregados, generando una salpicadura (erosión por salpicadura) que desprende partículas que luego son arrastradas pendiente abajo. Este fenómeno de disipación de la energía de la lluvia está relacionado a la pérdida de infiltración del suelo.
- ✓ La escorrentía en movimiento: este agente erosivo produce el desprendimiento de nuevo suelo y el transporte del suelo removido, en una magnitud proporcional al caudal escurrido y a la velocidad que adquiere el flujo de agua sobre la superficie. Este agente produce los fenómenos erosivos más visibles, como cárcavas, y es el responsable del movimiento de las partículas de suelo removidas. Dentro de la escorrentía pueden distinguirse dos tipos de flujo: el laminar, que se mueve con velocidad lenta, y el turbulento o flujo en surcos, que es el responsable de la mayor parte del transporte de sedimentos.
- ✓ La gravedad: la sola acción de la gravedad es capaz de mover suelo, especialmente cuando esta mojado y en ambientes de pendientes importantes. Algunas de estas acciones pueden notarse en los movimientos en masa, deslizamientos de laderas, erosión lateral de meandros de ríos y avalanchas de nieve.

Se debe tener en cuenta que todos los agentes descriptos, erosión hídrica, desprendimiento, transporte y depositación, forman parte de un fenómeno conjunto y dinámico en el tiempo.

El comportamiento de los distintos tipos de suelos frente a estos procesos es variable, ya que en algunos suelos la erosión estará limitada por la capacidad de desprendimiento, y en otros por la capacidad de transporte. En suelos arcillosos, de alta cohesión y adhesión de las partículas, la erosión estará limitada por la

capacidad de desprendimiento de suelo. Para el caso de suelos arenosos, con muy baja estabilidad del material, la erosión estará limitada por la capacidad de transporte, ya que los suelos presentan alta permeabilidad.

#### 4.2.2. Principales causas y consecuencias

La erosión hídrica es un proceso multicausal, dinámico, de tipo episódico y sujeto a un conjunto de causas que ocurren en el ámbito de una cuenca hidrográfica.

##### ✓ Clima

El principal factor climático que influye en la erosión hídrica es la precipitación y su energía cinética. El estudio de las precipitaciones es importante dentro de cualquier estudio referido al manejo de la erosión hídrica, ya sea a nivel de una cuenca, como así también a nivel regional. Dentro de la caracterización de las lluvias interesa conocer:

- Cantidad y distribución: la precipitación media y su distribución indica los periodos críticos en cuanto a la ocurrencia de tormentas erosivas.
- Intensidad: la intensidad de una precipitación define la energía cinética que desencadena los procesos de desprendimiento y escurrimiento.

##### ✓ Relieve

Dentro del relieve, el principal parámetro a tener en cuenta es el grado de inclinación de la pendiente, la que se puede expresar en porcentaje o en grados sexagesimales. La longitud de la pendiente es otro factor que define la cantidad de erosión de una ladera y la velocidad terminal de la escorrentía. La complejidad de la pendiente hace referencia a la mayor o menor uniformidad de gradientes, direcciones y longitudes, y es un parámetro importante a considerar al momento de planificar el control de la erosión mediante técnicas de manejo del relieve.

##### ✓ Suelo

La erosionabilidad y erodabilidad del suelo es una medida de la susceptibilidad al desprendimiento y transporte por los agentes de erosión. La erodabilidad es un efecto integrado de los procesos que regulan la absorción de la lluvia y la resistencia de las partículas del suelo al desprendimiento y posterior transporte. Estos procesos están influidos por las propiedades del suelo tales como tamaño de partículas, estabilidad de agregados, materia orgánica, cantidad y tipo de arcilloso por características edáficas que afectan la estructura del suelo y la transmisión de agua.

#### 4.2.3. Tipos de erosión hídrica

##### ✓ Salpicadura

Se debe al impacto de las gotas de lluvia sobre los agregados de un suelo desnudo. Se producen pequeños cráteres de impacto, con liberación de partículas, que se desplazan en un radio máximo de 150 cm, siendo las arenas finas las más afectadas. Puede dar origen a un sello o costra superficial que influirá negativamente en las velocidades iniciales de infiltración.



*Imagen 4: erosión por salpicadura.*

Se relaciona directamente con la intensidad de la lluvia y su energía cinética, e inversamente con la estabilidad de los agregados superficiales. La presencia de vegetación arbórea puede incrementar este tipo de erosión por la formación de gotas más grandes a partir del flujo de hojas.

##### ✓ Laminar



*Imagen 5: erosión laminar.*

Es una forma de erosión superficial que se produce por acción del escurrimiento, perdiéndose una fina y uniforme capa de toda la superficie del suelo en forma de lámina.

Este proceso produce una mayor pérdida neta de suelo que la erosión por salpicadura, siendo el tamaño de las partículas más afectado el que se desprende debido a la energía de la lluvia. Es un tipo de erosión poco perceptible por el productor, no obstante

es una importante vía de pérdida de suelo en condiciones de baja pendiente y suelos con infiltración disminuida.

### ✓ Por surcos

Conforme se incrementan los caudales, la altura del agua y su velocidad, se pasa de un flujo tipo laminar a uno concentrado, definido por la micro topografía del lote en estudio. Este tipo de escorrentía concentrada tiene una mayor capacidad de desprendimiento y de transporte que el flujo laminar, logrando una erosión más abrasiva, pasando de ser un flujo subcrítico a supercrítico. Suele denominarse a la erosión en surcos como aquella que el productor puede eliminar con los implementos de labranza, luego de que ocurre.



*Imagen 6: erosión por surcos.*

El mecanismo de erosión en surcos requiere la formación de una pequeña “cabecera” que produce una erosión retrocedente, es decir en sentido contrario al flujo. La velocidad de avance del surco depende de la cohesividad del material de suelo, la altura del salto de agua en la cabecera del surco y el caudal y la velocidad del flujo.

La erosión en surco es la predominante en la mayor parte de los suelos. Es una función de la fuerza de corte del escurrimiento concentrado en surcos y de dos propiedades del suelo: la erodabilidad del suelo para erosión en surcos y la resistencia al corte crítica del suelo, es decir aquella resistencia del suelo debajo de la cual el desprendimiento es despreciable.

### ✓ En cárcavas

Las cárcavas son la manifestación más visible y llamativa del proceso erosivo. Se desarrollan a partir de la acción del escurrimiento sobre la superficie, luego de que se alcanza un cierto caudal y velocidad del flujo, y se considera una cárcava como aquella forma de erosión que no puede ser borrada por labranzas.

La tasa de erosión en cárcavas depende del potencial de generación de escurrimiento de la cuenca, del área de drenaje que recibe la cárcava, del material del suelo y subsuelo, de la forma que toma la sección y de la pendiente del terreno. La forma y profundidad que adoptan las cárcavas queda determinada por el material del suelo y su grado de cohesión. Para materiales poco cohesivos, la forma tiende a ser en “U”, mientras que para materiales más cohesivos tiene a ser en “V”.

Generalmente, el piso de la cárcava tiende a asentarse sobre mantos de tosca calcárea, retardando su avance en profundidad y dificultando la estabilización mediante vegetación.



*Imagen 7: erosión en cárcavas.*

La evolución de las cárcavas comienza con un salto hidráulico, que puede generarse en un quiebre de pendiente y que produce una cabecera de corte que avanza en forma retrocedente. Esto ocurre debido a la formación de una cascada o salto de agua que va erosionando el piso de caída del agua, y generando un debilitamiento del subsuelo por salpicadura y un debilitamiento

del subsuelo por humedecimiento. En estas condiciones se producen caídas de bloques en la cabecera, produciendo el nombrado avance retrocedente.

Este tipo de erosión avanza siguiendo un ciclo de retroalimentación positiva, ya que la altura del salto de cabecera es cada vez mayor, lo cual genera una mayor energía cinética de la cascada que incrementa adicionalmente su poder erosivo. Por otra parte, se van ramificando por toda la red de drenaje, generando una red de cárcavas.

Las cárcavas pueden estar activas, cuando la cabecera avanza y el fondo de la misma genera nuevas cabeceras internas, o inactivas cuando tanto la cabecera como el piso están vegetados.

Cabe destacar, que este tipo de deterioro es el más reconocido por los productores agropecuarios, ya que implica daños muy visibles en sus tierras y en caminos rurales que funcionan como vías preferenciales de circulación de escurrimientos.

#### ✓ Movimientos en masa

Implica el desplazamiento de grandes volúmenes de material en condiciones especiales de humedad, pendiente y tipo de suelo. Los movimientos en masa se producen frecuentemente en suelos someros, asentados sobre un material impermeable, como rocas graníticas, bajo fuertes pendientes. En estas condiciones el material fluye sobre la interfase suelo-roca por un efecto mecánico de disminución de la resistencia al corte, aumento del peso y lubricación del contacto entre ambas capas.



*Imagen 8: erosión por movimiento en masa.*

Las condiciones de manejo del suelo influyen sobre este tipo de erosión, en especial el desmonte de áreas en pendiente. Otros factores que influyen son el fuego y el sobrepastoreo, que producen la eliminación de la vegetación y la generación de escurrimientos que desencadena en riegos de ocurrencia de fenómenos erosivos de movimientos en masa.

✓ Erosión de cursos permanentes

Los bordes y fondos de cursos de agua son las zonas de la cuenca más susceptibles a la erosión, debido a que deben soportar la máxima energía de las crecientes, siendo los puntos de concentración de escurrimientos.



*Imagen 9: erosión de cursos permanentes.*

La erosión de los márgenes se produce en el borde del río/arroyo debido a la acción erosiva de la corriente que desestabiliza la base y produce el desmoronamiento del resto de la margen, mecanismo similar a la erosión en cárcavas (genera colapso de costa). Generalmente sucede en los sectores cóncavos de meandros o curvas de ríos de llanura, y es el responsable del avance del curso sobre otras tierras.

Es un fenómeno relacionado principalmente con la eliminación de la vegetación de la zona de riberas, causada por el avance de la frontera agrícola.

La erosión de fondo de los cauces es un fenómeno relacionado a la pérdida paulatina del material del lecho, a causa de los caudales erogados en la cuenca, a la carga de sedimentos y al tipo de material de fondo. Las principales causas antrópicas de la erosión de fondo de los cauces pueden mencionarse: extracción de áridos del lecho, construcción de embalses, deforestación de márgenes y rectificación de meandros o canales muy profundos.

#### 4.2.4. Ecuación universal de pérdida de suelo

Los métodos de estimación de la erosión son herramientas que permiten evaluar mediante un indicador cuantitativo el grado de erosión presente, y las posibilidades de control del proceso mediante un conjunto de técnicas de manejo. Los modelos pueden dar una estimación en términos absolutos, cuando representan adecuadamente lo que ocurre en la realidad, o relativo, cuando el interés de uso está en comparaciones entre otras situaciones, para ayudar a la toma de decisiones sobre el manejo.

El modelo más utilizado es de la Ecuación Universal de Perdida de Suelo EUPS, creado por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos. Éste, se desarrolla a partir de relaciones estadísticas perfeccionadas a partir de una amplia base de datos experimentales con más de 8000 parcelas, combinando diferentes condiciones climáticas, de suelo, pendiente, sistemas de uso y manejo del suelo.

Algunos de los usos más importantes que se le puede dar a la EUPS son los siguientes:

- ✓ Estimar la pérdida anual promedio de suelo de una pendiente, en un campo con condiciones específicas de uso y manejo de la tierra.
- ✓ Dar sustento a las decisiones en la selección de sistemas de uso y manejo, y de prácticas de conservación para condiciones específicas de suelos y pendientes.
- ✓ Estimar el cambio en la pérdida de suelo que resultaría de un cambio de uso o de las técnicas de conservación sobre una situación dada.
- ✓ Estimar las pérdidas de suelo en áreas con un uso de suelos distinto del agrícola.

A continuación, se detalla la ecuación básica del modelo y sus correspondientes factores que la componen:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

**Siendo:**

***A = pérdida anual de suelo en toneladas por hectárea por año (t/ha/año)***

***R = factor de erosividad por la precipitación pluvial***

***K = factor de erodabilidad del suelo***

***L = factor de longitud de la pendiente***

***S = factor de gradiente de pendiente***

***C = factor de manejo de cosechas***

***P = factor del modelo de control de erosión***

Los factores de la ecuación se desarrollaron mediante una unidad de evaluación llamada parcela estándar, que posee una longitud de 22,13 m sobre una pendiente uniforme de 9% en sentido longitudinal. La parcela fue laboreada a favor de la

pendiente y estuvo bajo barbecho durante por lo menos dos años. Esta parcela se toma como base para definir la variación en L, S, C y P.

Consecuentemente se detalla cada factor que involucra la EUPS:

➤ Erosividad por la precipitación pluvial: R

Este factor representa la erosividad de la precipitación pluvial, que se define como la capacidad potencial de la lluvia para provocar erosión. Es una función de dos características de las lluvias intensas: la energía cinética y la intensidad máxima durante 30 minutos.

A continuación se presenta la ecuación de regresión que describe la energía cinética de una lluvia:

$$E = 0,119 + 0,0873 \times \log_{10} I$$

Siendo:

- E: energía cinética de la lluvia en Mj/ha-mm.
- I: intensidad de la precipitación en mm/h.

El factor R se obtiene a través del producto de la energía por la intensidad horaria de una lluvia de duración igual a 30 minutos ( $E \cdot I_{30}$ ), que es una medida de la manera en que se combinan estas variables y define los efectos conjuntos del impacto de las gotas de lluvia y la turbulencia de la escorrentía con el transporte de las partículas del suelo procedentes de un campo.

La intensidad de 30 minutos de la tormenta se calcula a través de los registros de los pluviógrafos, localizando en ellos la mayor cantidad de lluvia caída en 30 minutos y multiplicando dicha cantidad por dos para expresarla en forma de intensidad horaria.

Otro método para la obtención del Factor R es utilizando el mapa de isocías. El mismo contempla los valores a partir de un promedio de las lluvias que se produjeron en un intervalo de tiempo considerable y promedia los valores desde 1950 hasta 2005.

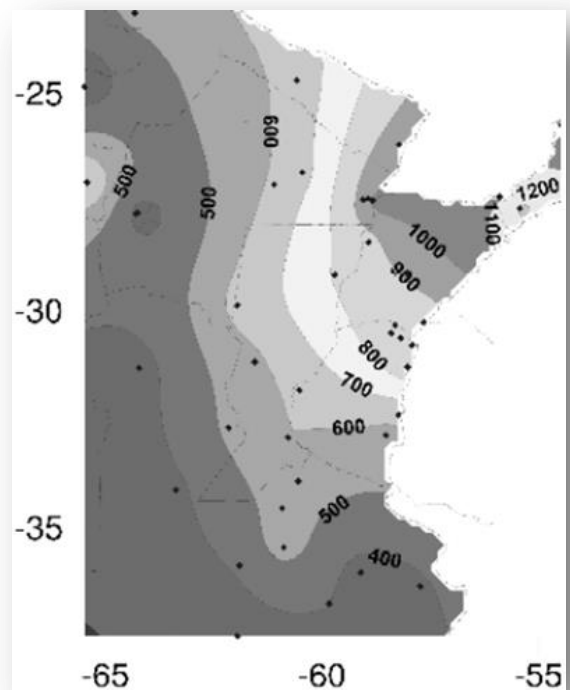


Imagen 10: mapa de isocías.

➤ Erodabilidad del suelo (K)

La erodabilidad del suelo es su vulnerabilidad o susceptibilidad a la erosión, expresada en unidades de pérdida de suelo (t/ha) por cada punto de R (Mj\*mm/ha\*h). Este factor refleja el hecho de que diferentes suelos se erosionan a diferentes tasas cuando los demás factores que afectan a la erosión son los mismos.

El factor K es función de cinco parámetros del suelo: porcentaje de limo más arena fina, porcentaje de arena, contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad.

El siguiente nomograma permite obtener el factor K. Los valores obtenidos corresponden a unidades del sistema americano, que deben ser consistentes con el uso de unidades de R.

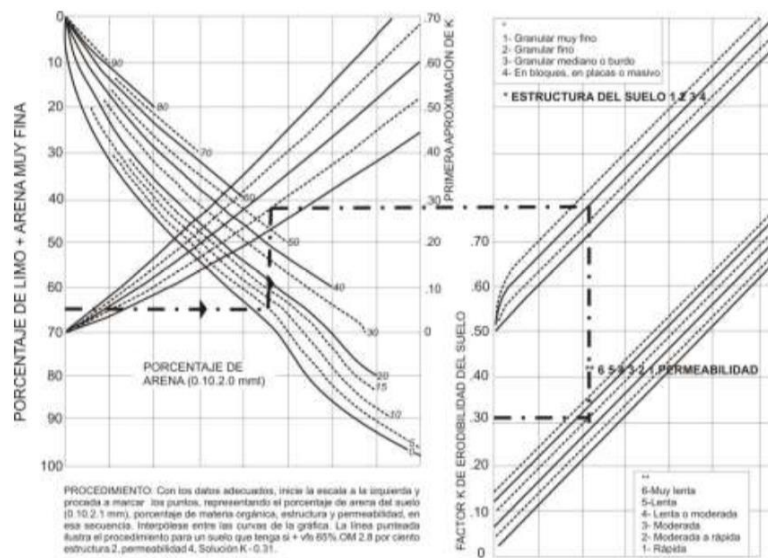


Imagen 11: nomograma. Factor K.

También puede calcularse el factor K mediante la siguiente fórmula, cuando el valor del porcentaje de limo y arena muy fina es menor de 70%.

$$K = \frac{2,1 \cdot M^{1,14} \cdot (10^{-4}) \cdot (12 - a) + 3,25 \cdot (b - 2) + 2,5 \cdot (c - 3)}{100} \cdot 1,292$$

Siendo:

M = (% de limo + % arena muy fina) · (100 - % de arcilla).

a = porcentaje de materia orgánica.

b = coeficiente correspondiente al tipo de estructura.

c = coeficiente correspondiente al tipo de permeabilidad.

El coeficiente 1,292 transforma el resultado al sistema métrico.

➤ Longitud (L) y gradiente de pendiente (S)

La longitud de la pendiente se define como la distancia desde el punto de origen del flujo sobre la superficie hasta el punto donde la pendiente disminuye lo bastante como para que ocurra deposición o hasta el punto en el que el escurrimiento entra en un canal definido. El gradiente de pendiente se expresa en porcentaje (diferencia de cota en 100 m de distancia horizontal). El método agrega ambos valores para la obtención del factor LS, de tipo adimensional.

El desarrollo de la EUPS se basó en la longitud de una parcela estándar de cómo se detalló anteriormente, por lo tanto el factor de longitud de la pendiente se definió como:

$$L = \left( \frac{x}{22,13} \right)^m$$

Siendo:

- L: factor de longitud de pendiente.
- x: longitud de la pendiente en m.
- m: coeficiente que varía según el porcentaje de pendiente, donde:
  - m = 0,5 si la pendiente es mayor a 5 %.
  - m = 0,4 si la pendiente está entre 5 % y 3 %.
  - m = 0,3 si la pendiente está entre 3% y 1%.
  - m = 0,2 si la pendiente es menor a 1%.

Para obtener el valor de S, se basó en investigaciones que determinaron que la pérdida de suelo estaba correlacionada también con una descripción parabólica del efecto de la inclinación de la pendiente:

$$S = \frac{0,43 + 0,3 \times s + 0,043 \times s^2}{6,613}$$

Siendo:

- S: factor de gradiente de la pendiente.
- s: gradiente de la pendiente [%]

Como consecuencia, los valores de LS, pueden tratarse conjuntamente en la siguiente ecuación:

$$L \times S = \left( \frac{x}{22,13} \right)^m \times (0,065 + 0,045 \times s + 0,0065 \times s^2)$$

La siguiente tabla muestra cómo obtener el valor LS a partir de la entrada de valor de la longitud de la pendiente y el porcentaje de pendiente:

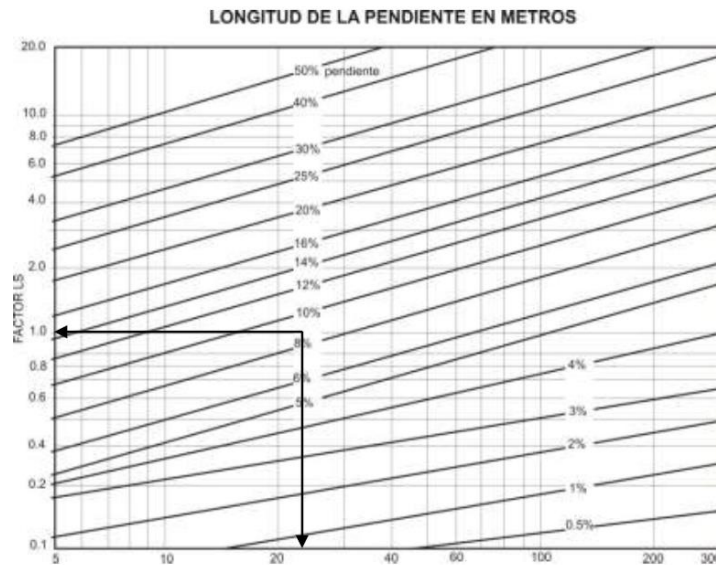


Imagen 12: tabla para obtener factor LS.

➤ Manejo de cultivos (C)

El factor manejo de cultivos, de unidad adimensional, representa la relación de pérdida de suelo a partir de una condición específica de cobertura, con la pérdida de suelo a partir de un estado de barbecho continuo para el mismo suelo, pendiente y precipitación pluvial. La condición de barbecho desnudo, laboreado a favor de la pendiente toma el valor  $C=1$ .

Cabe destacar que el cálculo de esta variable incluye los efectos interrelacionados de la cubierta de rastrojos, la secuencia y tipo de cultivos, el nivel de productividad, la duración de la estación de crecimiento, las prácticas de cultivo y los sistemas de labranza, entre otros. Cada una de las condiciones del suelo se distribuye anualmente y se integra con la erosividad de la lluvia, dando como resultado el factor C de la rotación establecida.

En la siguiente tabla se pueden observar algunos valores orientativos para dicho factor, según distintos cultivos, usos y manejos de suelo:

| Cultivo – Secuencia                           | Sistema de labranza |                 |
|---|---------------------|-----------------|
|   | Convencional        | Siembra Directa |
| Barbecho desnudo, a favor de la pendiente     | 1                   | -               |
| Trigo – Soja 2º                               | 0,15                | 0,09            |
| Soja 1ª – Trigo                               | 0,49                | 0,07            |
| Soja – Maíz                                   | 0,34                | 0,10            |
| Soja - Soja                                   | 0,55                | 0,15            |
| Girasol – Girasol                             | 0,40                | 0,10            |
| Maní  | 0,55                | -               |
| Sorgo – Soja                                  | 0,44                | 0,13            |
| Campo natural                                 | 0,02                | -               |
| Gramíneas perennes                            | 0,05                | 0,02            |
| Pasturas alfalfa + gramíneas                  | 0,05                | 0,02            |
| Verdeo de invierno                            | 0,15                | 0,09            |
| Forestación artificial (Eucaliptos de 8 años) | 0,006               | -               |

Imagen 13: tabla para el cálculo del factor C.

➤ Prácticas de control de la erosión (P)

El factor P de prácticas de control de la erosión, es la proporción de la pérdida de suelo que se obtiene mediante alguna técnica de manejo del relieve, en comparación con la pérdida de suelo cuando se cultiva en laderas con 9 % de pendiente, a favor de la misma.

En la siguiente tabla se expresan algunas prácticas de control de la erosión para diferentes porcentajes de pendiente:

| Pendiente del terreno (%) | Cultivo en contorno | Cultivos en franjas en contorno | Terrazas |
|---------------------------|---------------------|---------------------------------|----------|
| 1-2                       | 0,60                | 0,30                            | 0,12     |
| 3-8                       | 0,50                | 0,25                            | 0,10     |
| 9-12                      | 0,60                | 0,30                            | 0,12     |
| 13-16                     | 0,70                | 0,35                            | 0,14     |
| 17-20                     | 0,80                | 0,40                            | 0,16     |
| 21-25                     | 0,90                | 0,45                            | 0,18     |

Imagen 14: tabla para el cálculo del factor P.

Para éstas prácticas, no solo es importante la reducción de pérdida de suelo, sino que también debe considerarse la retención de sedimentos en el campo, especialmente en la porción superior de los bordes de las fajas de cultivo o en los canales de las terrazas.

#### 4.2.5. Tolerancia a la pérdida de suelo

La tolerancia de pérdida de suelo es la tasa máxima de erosión de suelo que permite que se sostenga un alto nivel de productividad. En relación a la génesis del suelo, una tasa de erosión tolerable sería aquella pérdida de suelo anual equivalente a la tasa de formación del mismo suelo.

No existe un acuerdo general de sobre cuál es la tasa de erosión tolerable, todo depende de cada caso en particular. Tradicionalmente algunos expertos en el tema han considerado esta pérdida entre 4 y 20 t/ha/año, aunque otros proponen una pérdida menor, de entre 2 y 10 t/ha/año.

Este rango de variación depende de la génesis de los suelos, correspondiendo los valores mayores a suelos profundos, de textura franca, moderadamente permeables y que tienen características del subsuelo favorables para el crecimiento de las plantas y los menores a suelos con las características opuestas. Este valor se utiliza como una guía para la planificación en la conservación de suelos.

#### 4.2.6. Software: “Erosión Hídrica – USLE/RUSLE Argentina”

Como se mencionó con anterioridad, la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) fue creada en Estados Unidos en el año 1930.

El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) desarrollo un software que permite estimar el nivel de pérdida de suelo por erosión hídrica de un lote en particular, realizando el cálculo en base a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

Dicha aplicación tiene la particularidad de que todos los factores y constantes que utiliza están actualizados y aplicados específicamente a cada suelo del país, debido a mayores experiencias zonales y/o regionales. También le permite al usuario ingresar los valores manualmente.

Solo se deben ingresar las características particulares que solicita del suelo en estudio y automáticamente se genera el cálculo de la pérdida de suelo, haciendo este proceso rápido y preciso.

Cabe destacar que dicha aplicación es de gran utilidad ya que permite ir variando los distintos factores para hallar valores deseados de manera espontánea.

A continuación se brinda el Link de descarga gratuito de dicha aplicación:  
[https://inta.gob.ar/archivos/herramienta-para-calculiar-perdida-de-suelo-en-argentina/at\\_download/file/view](https://inta.gob.ar/archivos/herramienta-para-calculiar-perdida-de-suelo-en-argentina/at_download/file/view)

### 4.3. Técnicas de manejo de relieve

#### 4.3.1. Introducción

Las técnicas de manejo de relieve (también llamadas prácticas de conservación, prácticas estructurales o de sistematización), son un conjunto de técnicas que abarcan desde la simple ordenación de las líneas de cultivo, hasta prácticas muy complejas como la nivelación completa de terrenos muy inclinados, con fines de implementar el uso agrícola.

Dichas técnicas de manejo se basan en diferentes principios del ordenamiento hidrológico como ser:

- ✓ Acortar la longitud de la pendiente.
- ✓ Generar microrelieves superficiales que permiten incrementar la retención y el detenimiento superficial del agua en superficie.
- ✓ Atrapar los sedimentos que se mueven con el escurrimiento.
- ✓ Controlar el movimiento de partículas por el viento.
- ✓ Conducir controladamente los escurrimientos que no pudieron ser manejados por otras técnicas, a lugares predeterminados, sin que causen erosión.

Cabe aclarar que, si bien a escala de lote son técnicas de probada eficacia, en la escala de cuenca, la misma depende del grado de adopción de los productores (se requiere en el orden de un 50 % aproximadamente de la superficie de una cuenca sistematizada, para obtener una eficacia aceptable en términos de reducción de escurrimientos o pérdidas de suelos).

Las prácticas de manejo que analizaremos a continuación son las siguientes, en orden de complejidad:

- ✓ Cultivos cortando la pendiente.
- ✓ Cultivos en curvas de nivel o cultivos en contornos.
- ✓ Cultivos en fajas a nivel, cultivos intercalados a nivel.
- ✓ Cultivos en terrazas.

Las tres primeras técnicas implica solamente un direccionamiento de las líneas de siembra, en forma perpendicular a la pendiente del lote. En los cultivos en fajas, además, se intercalan cultivos con pastos, o distintos tipos de cultivos. Los cultivos en terrazas implican movimiento de suelos en el lote, de ahí que suelen nombrarse como prácticas estructurales de conservación.

Los principales criterios para la selección de una técnica de manejo de relieve son los siguientes:

- Potencial de escurrimiento y riesgo de erosión: criterio general que indica el grado de complejidad del lote a tratar. Incluye pendiente (gradiente, longitud y especialmente complejidad), agresividad del clima, erodabilidad del suelo, etc.
- Tipo de sistema de producción: los sistemas mixtos permiten la elección de técnicas que implican un uso diversificado del lote, como los cultivos en fajas con pasturas.
- Forma de tenencia de la tierra: una limitación a la adopción de esta técnicas son los sistemas de tenencia bajo arrendamiento de corto plazo, los que se inclinarán, a lo sumo, por las técnicas más sencillas, que no impliquen complicaciones de manejo y que no interfieran maquinarias de grandes dimensiones, como sembradoras y pulverizadoras.
- Costos: cuanto mayor es el movimiento de suelo, mayores son los costos de la sistematización. Los métodos que no implican movimiento de suelo tienen un costo relativamente menor.

#### 4.3.2. Prácticas de manejo

##### 4.3.2.1. Cultivos cortando la pendiente

Esta técnica consiste en trazar una línea perpendicular a la pendiente principal de un lote, a fin de que sirva como línea base para la línea de cultivos (línea guía). Es la más sencilla de implementar, ya que se aplica en condiciones de bajo potencial erosivo del sitio (pendientes uniformes, de bajo gradiente).



*Imagen 15: cultivos cortando la pendiente.*

Su efectividad para el control de la erosión dependerá de la rugosidad superficial generada por los labores o por el rastrojo y del manejo de las condiciones de infiltración del suelo.

##### 4.3.2.2. Cultivos en curva de nivel

Se llama curva de nivel o en contorno a una línea trazada en el terreno que une puntos de igual altura sobre el nivel del mar. La técnica de cultivos en curvas de nivel, por lo tanto, es aquella en la cual las operaciones de labranza y siembra se realizan siguiendo esa línea. El efecto de esta práctica sobre la escorrentía es similar a la práctica anterior, es decir, cortar la pendiente de forma que cada surco o

cada planta represente un obstáculo al avance del agua, aumentando la retención y el detenimiento superficial.



*Imagen 16: cultivos en curvas de nivel.*

Esta técnica se aplica en condiciones de relieve más complejo y pronunciado que la técnica de cultivos cortando la pendiente, dado a que los riesgos de erosión son mayores y no pueden ser adecuadamente resueltos con una simple línea, siendo necesario cortar todas las direcciones de la pendiente.

#### 4.3.2.3. Cultivos en fajas o franjas a nivel



*Imagen 17: cultivos en fajas o franjas a nivel.*

El cultivo en fajas consiste en la siembra de fajas o paños alternados de pasturas de crecimiento denso (denominada también franja de protección o contención) y cultivos anuales en hileras, perpendicularmente a la dirección de la pendiente o siguiendo curvas de nivel.

Los principios de funcionamiento de esta técnica son:

- ✓ Disminución de la velocidad y desorganización del agua de escurrimiento.
- ✓ Aumento de la velocidad de infiltración del agua.
- ✓ Captura del sedimento procedente de la faja de cultivo, la cual se deposita en la faja empastada al disminuir la velocidad del agua de escurrimiento.
- ✓ Protección mutua de los cultivos intercalados.

Esta técnica es una de las más seguras y efectivas para el control de la erosión y escurrimientos, ya que combina propiedades ingenieriles de la vegetación y prácticas estructurales. Por esta razón es aplicable a situaciones con alto potencial de escurrimiento y erosión, en las cuales la longitud es controlada por la presencia de la pastura densa.

#### 4.3.2.4. Terrazas

Las terrazas son terraplenes formados entre los bordos de tierra, o la combinación de bordos y canales, construidos en sentido perpendicular a la pendiente del terreno.

El objetivo de las mismas es reducir la erosión del suelo, aumentar la infiltración del agua en el suelo para que pueda ser utilizada por los cultivos, desalojar las excedencias de agua superficial a velocidades no erosivas, reducir el contenido de sedimentos en las aguas de escorrentía y mejorar la superficie de los terrenos acondicionándola para las labores agrícolas.

##### 4.3.2.4.1. Tipos de terrazas

###### ✓ Terrazas de banco

El sistema de terrazas de banco consiste en una serie de áreas planas, semejante a bancos o escaleras, que convierten a una pendiente escarpada en planos casi horizontales (terraplén), separados por paredones (talud), generalmente estabilizados con piedra.

En dichas terrazas, se modifica tanto la longitud, como el gradiente de las pendientes, ya que se genera una superficie plana. Su uso está concentrado en áreas de montaña, con pendientes superiores al 20%, y con condiciones de subsuelo que permitan generar terrenos aptos para la agricultura.



*Imagen 18: terrazas de banco.*

###### ✓ Terrazas de desagüe y terrazas de absorción

El objetivo común en ambos tipos es cortar la longitud de la pendiente del lote con estructuras conformadas por un bordo de tierra de baja altura. El bordo interrumpe el flujo de escorrentía, que puede tomar dos caminos posibles, en función del tipo de terraza.

En las terrazas de desagüe el escurrimiento circula lentamente por la porción cóncava de la terraza (canal de la terraza) y descarga en un canal de desagüe planificado para tal fin; en cambio en las terrazas de absorción se acumula en la porción cóncava de la terraza, provocando allí su infiltración en el suelo.

La dirección de la terraza, en relación a la topografía del lote, dependerá del tipo de terraza elegida.

Las terrazas de desagüe deben ser trazadas sobre una línea con mínima pendiente para que se realice la descarga del agua hacia el canal colector. La pendiente debe permitir una velocidad lo suficientemente baja como para que no se produzca erosión del canal, y lo suficientemente alta como para que no provoque sedimentación de partículas sobre al canal. Esto se logra con pendientes que no superen el 0.5% de gradiente.

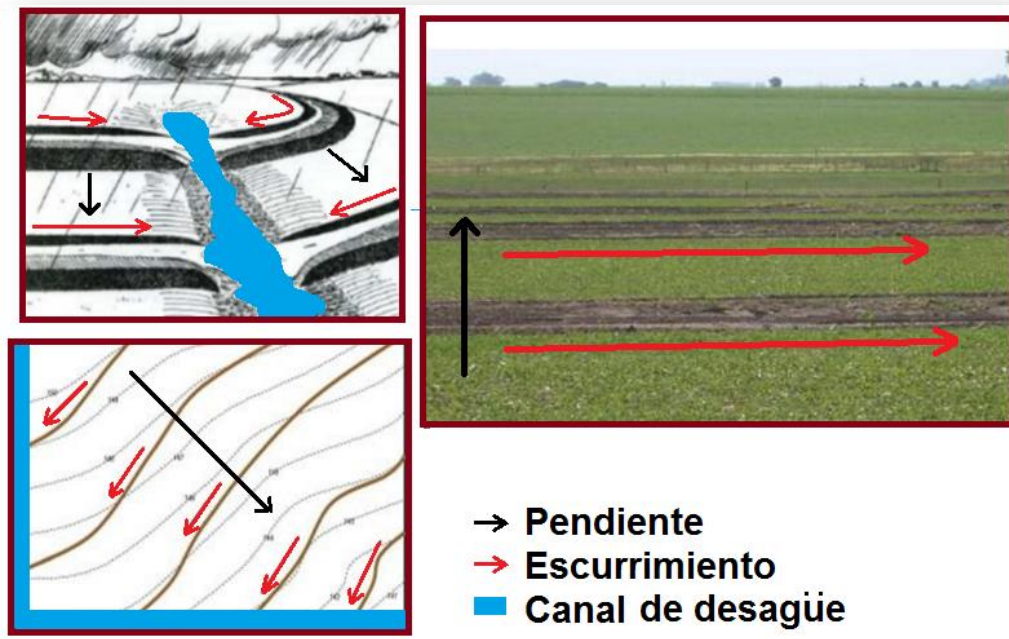


Imagen 19: terrazas de desagüe.

Las Terrazas de absorción deben trazarse sobre una línea a nivel para que pueda acumular el escurrimiento generado en el paño de terreno entre dos terrazas consecutivas.

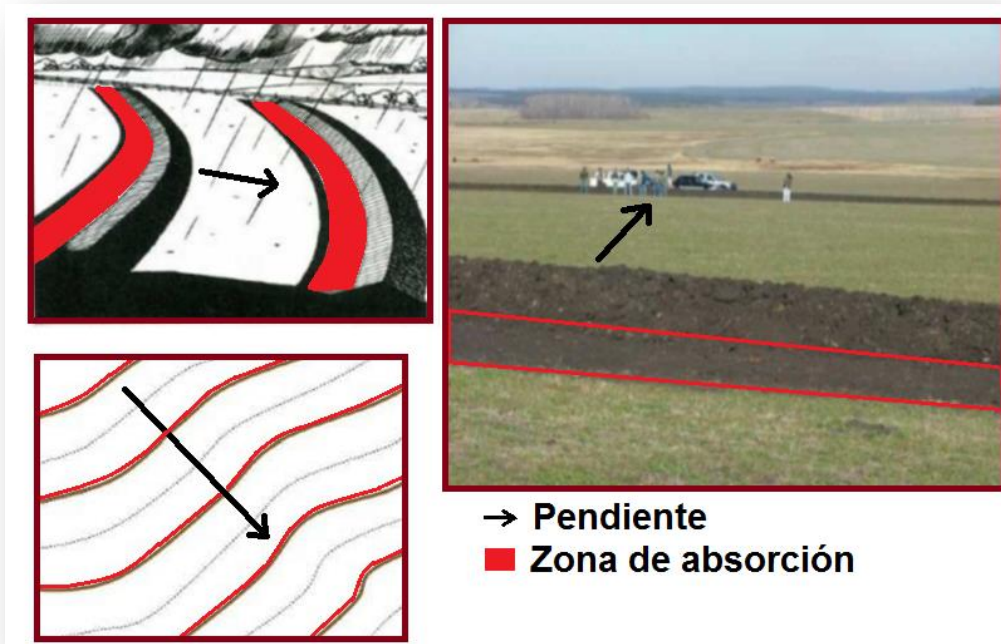


Imagen 20: terrazas de absorción.

Para ambos tipos de terraza, el diseño transversal, es decir la configuración del conjunto canal-bordo, puede ser de dos tipos: de base ancha y de base angosta.

Las de *base ancha* también son llamadas terrazas cultivables ya que el diseño de la misma es lo suficientemente ancha como para que puedan ser cultivadas en su totalidad.

Para que esto sea posible, las terrazas deben tener un ancho de entre 10 y 15 metros, distribuido en partes aproximadamente iguales entre canal y bordo, con una relación de taludes de 5 a 8 (quiere decir que si la terraza tiene 30 cm de altura, el talud del bordo tendrá entre 1.5 y 2.4 metros, con lo cual solo el bordo ocupa entre 3 y 5 metros). De esta forma aprovecha también de que un canal con tales especificaciones es un conductor de escorrentías a bajas velocidades.



Imagen 21: terrazas de base ancha.



Imagen 22: terrazas de base angosta.

Las de *base angosta* también son llamadas terrazas empastadas, debido a que, al ser de sección más angosta, no pueden ser cultivadas y terminan empastándose en la porción del camellón. Su ancho normalmente está entre 5 a 8 metros, para una misma altura de terraza. Ésta es más segura, ya que hay menos riesgos de rotura del bordo al ser empastado. Se utiliza en condiciones de mayor potencial de escurrimiento que la terraza de base ancha (mayor pendiente, suelos menos permeables, uso más intensivo del lote, mayor intensidad de lluvia, etc.)

#### 4.3.2.4.2. Diseño: espaciamiento, desnivel y longitud.

El diseño de un sistema de terrazas implica la definición del espaciamiento y la localización adecuada de las mismas, además del diseño de un canal de desagüe si es necesario dependiendo del tipo de terrazas a construir.

Respecto al espaciamiento entre terrazas, se deben tener en cuenta, dependiendo del tipo de terrazas a efectuar (absorción o desagüe), algunos parámetros de gran importancia:

- Intervalo horizontal o distancia.
- Intervalo vertical o diferencia de cota.
- Pendiente del terreno.

En relación al desnivel de las terrazas hacia el desagüe, varía desde 0 (en terrazas de absorción o a nivel) hasta 0,5%. Siempre se trata de utilizar el menor desnivel que sea posible, de manera que el agua circule con velocidades no erosivas.

La longitud de las terrazas se define en función de la forma y tamaño del lote a sistematizar, las posibilidades de ubicación y tamaño de canales de desagüe y otros factores a tener en cuenta que influyen en su diseño.

Cabe destacar que para definir el espaciamiento también se debe tener en cuenta las necesidades del propietario de la parcela, con el fin de establecer una distancia conveniente pensando en el proceso de laboreo de la tierra con máquinas agrícolas.

#### 4.3.2.4.3. Trazado

Para el trazado de las terrazas es necesario conocer las diferentes alturas del terreno, identificando los bajos naturales que posiblemente pueden ser utilizados como desagües y definiendo las pendientes principales en caso de que la misma no sea uniforme.

Por lo dicho es de gran importancia contar con un relevamiento planialtimétrico, detallando las curvas de nivel para detectar de esta manera las pendientes existentes. En base a estas últimas se pueden obtener los parámetros de diseño mencionados en el punto anterior.

#### 4.3.2.4.4. Construcción

La construcción de las terrazas puede realizarse con maquinaria disponible en el campo, como arados de discos o arado rastra, o con maquinaria vial como topadoras o motoniveladoras. Actualmente existe maquinaria especializada para dicha tarea: las terracedoras.

Se deben tener presentes algunos detalles para lograr economía y eficiencia en la construcción de un sistema de terrazas, como ser:

- Comenzar siempre la construcción de las terrazas por la más alta en el terreno, continuando en orden hasta la más baja. De esta forma se evita el peligro de que después de construir algunas terrazas en la parte baja del lote, una precipitación fuerte las destruya o dañe gravemente, por no tener la capacidad para recibir la escorrentía de toda el área que aún no se ha protegido.
- Remover en cada vuelta, tanta tierra como la potencia de la máquina lo permita, de este modo se asegura el uso eficiente del equipo.
- En pendientes suaves, tratar de mover toda la tierra de arriba hacia abajo es más económico.
- Procurar de no mover la tierra de sitios que luego habrá necesidad de rellenar.
- Procurar que la máquina trabaje siempre en tierra que no haya sido removida, esto quiere decir que en cada serie de vueltas de la máquina terracedora (arado, cuchilla niveladora, etc.) debe aumentarse algunos centímetros la profundidad de corte.
- Antes de iniciarse la construcción de una nueva terraza, debe haberse terminado por completo la anterior.
- Conviene trabajar el suelo en estado húmedo o friable, como el recomendado para cualquier tipo de movimiento de suelo. Esto permitirá un mejor

aprovechamiento de la energía y una mejor compactación del suelo una vez pisado.

Desde el punto de vista económico, requieren una inversión de capital importante en su construcción y un muy ajustado mantenimiento, ya que una falla en cualquier punto de su recorrido puede peligrar al sistema en su conjunto, provocando más daño que si no estuvieran.

#### 4.3.2.4.5. Mantenimiento

El mantenimiento de un sistema de terrazas no implica costo adicional alguno, si se tiene la precaución anualmente de arar el lote teniendo en cuenta una serie de pautas que se describen a continuación:

- En el caso de que el sistema de terrazas se haya construido con arado, luego de cosechar el cultivo sembrado, se deberá realizar un repaso de los lomos para darle la altura correspondiente. Esto se debe a que las terrazas no quedan lo suficientemente compactadas y luego del cultivo, se produce un asentamiento que disminuye la altura total prevista. Este punto no resulta necesario cuando las terrazas han sido construidas con equipos viales, ya que quedan perfectamente compactadas.
- El cuidado fundamental que requiere cada vía de desagüe es cuando se las cruza o transita con herramientas de distintos tipos. Es importante que al trabajar un lote, se levanten las herramientas y se disminuya la velocidad al cruzar el desagüe, porque se producen daños en la cubierta vegetal y a los pocos años el canal queda reducido a la mitad o tal vez menos de su ancho original.
- Para sistemas de terrazas de base ancha, los cuidados deben ser más intensivos debido a que se trabaja constantemente sobre ellas.
- En caso de terrazas de base angosta empastadas, se debe cuidar la pastura implantada, mediante cortes periódicos para mantener la limpieza de la misma y la altura prevista para su funcionamiento.

#### 4.4. Topografía

##### 4.4.1. Definición y conceptos básicos

La topografía es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la determinación y representación de la forma, dimensión y ubicación de una porción de la superficie terrestre, determinando las posiciones relativas o absolutas de puntos sobre la Tierra.

La determinación de estos atributos se consigue a través de la ubicación espacial de los puntos que conforman la superficie terrestre respecto de un sistema de referencia dado, es decir un sistema de coordenadas. Debido a que los puntos que determinan la topografía son infinitos, solo se eligen aquellos puntos característicos de relevancia que mejor la describan. Para ello se estudian las técnicas, métodos e instrumentos de medición y cálculo para determinar las coordenadas de puntos, elevaciones, áreas, volúmenes, etc.

La Topografía se encarga de áreas relativamente pequeñas, donde se considera la superficie de nivel plana, ya que la influencia de su curvatura en las mediciones resulta despreciable, según las precisiones deseadas para cada caso en particular. Esta simplificación reduce radicalmente la complejidad en los cálculos.

De la definición de topografía podemos sustraer dos conceptos de importancia, la planimetría y la altimetría.

La planimetría estudia el conjunto de métodos y procedimientos que tienden a conseguir la representación de una porción de la superficie terrestre, a escala de todos los detalles que se consideran de relevancia, pero solo sobre una proyección horizontal, sin tener en cuenta su relieve.

Por otro lado, la altimetría, se encarga de estudiar el conjunto de métodos y procedimientos para analizar y representar la diferencia de altura entre puntos de la superficie terrestre. La altura de un punto sólo puede darse con respecto a otro punto o plano de referencia adoptado.

#### 4.5. Sistemas y Marcos de referencia

Los sistemas de referencia se consideran como el soporte matemático para asignar coordenadas a puntos ubicados sobre la superficie terrestre. Es necesario definirlos para establecer la posición de puntos que respondan a un Sistema de Coordenadas con un origen, una orientación y una escala que sea accesible para todos los usuarios. El sistema utilizado hasta la incorporación de los satélites fue el definido por la Esfera Celeste de las estrellas, que permite obtener las coordenadas latitud y longitud astronómicas del observador.

El sistema de referencia basado en las observaciones de estrellas de la Esfera Celeste proporcionó la vinculación de las coordenadas astronómicas con las terrestres. El problema actual fue definir un Sistema de Coordenadas “inercial” que permanezca fijo en el espacio conjuntamente con un Sistema de Coordenadas fijo a la Tierra y establecer relaciones entre ellos.

Los sistemas de referencia pueden ser:

- Espaciales: establecer un sistema de coordenadas con un determinado origen, orientación y escala que permita la observación de fuentes astronómicas muy lejanas con gran precisión.
- Terrestres:
  - Locales: un punto Datum que define el origen y la orientación asociado a un elipsoide de revolución. Se basan en el Sistema de Coordenadas Celestes. El elipsoide y el geoide no coinciden en el punto Datum, si se da puede ser de casualidad. Los sistemas de referencia locales se utilizaron hasta la década del 90, y a partir de allí se comenzaron a usar sistemas globales. Argentina fue el primer país de América del Sur en adoptar un marco de referencia Global (Posgar 94).
  - Globales: Terna de ejes cartesianos ortogonales, cuyo origen coincide prácticamente con el centro de masas terrestre y su orientación se define con la posición del polo de rotación terrestre y la vinculación con un meridiano (WGS84, ITRS).

##### 4.5.1. Sistemas de Referencia Geodésicos

Los sistemas de referencia geodésicos son un conjunto de prescripciones y convenciones que junto con los modelos necesarios permiten definir en el espacio y en cualquier momento la posición de una terna de ejes cartesianos ortogonales, mediante la cual se posibilita la representación de la superficie terrestre. No es más que un conjunto de algoritmos matemáticos que van a permitir determinar puntos sobre la superficie terrestre. Un sistema de referencia no se puede determinar por mediciones, se define convencionalmente. Lo importante y complejo para la

geodesia es obtener la precisión adecuada (muy alta) que la misma requiere. Para un mismo sistema pueden existir varios marcos.

Para pasar de un sistema de referencia a otro conocido es necesario tomar puntos en común y luego aplicar parámetros de transformación. Uno de los métodos más conocidos es la “transformación de Molodensky”.

#### 4.5.2. Marcos de Referencia Geodésicos

Los Marcos son la materialización del Sistema de Referencia a través de las coordenadas de un número finito de puntos accesibles para su ocupación. Hay que cuidar que la materialización del marco siga estrictamente la definición del sistema.

Las coordenadas de los puntos son consistentes entre sí para una época determinada. Los marcos modernos tienen 4 coordenadas: X, Y, Z y época. Es de gran importancia conocer con exactitud la época ya que la Tierra está en constante movimiento (sus placas tectónicas) y el movimiento de un día no es igual al de otro.

Conociendo la época y la velocidad de un punto puedo ir de una época a la otra sin dificultades. Esto requiere armar modelos de velocidades de los puntos a través de muchas mediciones sucesivas de alta precisión de cada punto; es por esto que en geodesia hablamos de puntos móviles con coordenadas fijas.

*Fuente: Apunte “Sistemas de referencia” – Catedra Geodesia II*

#### 4.5.3. Sistema de Proyección Cartográfica Gauss-Kruger

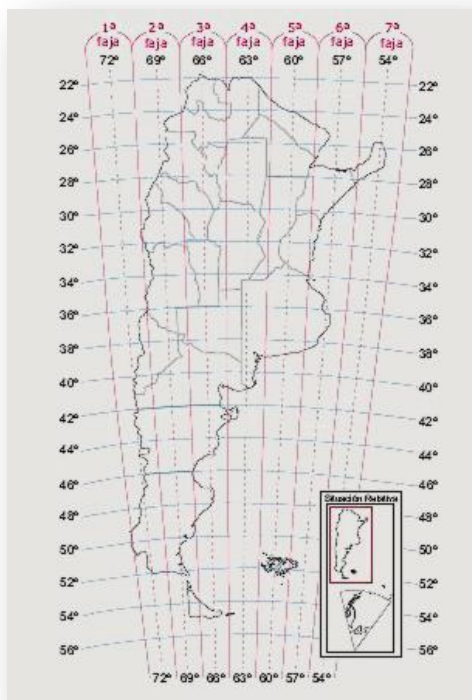


Imagen 23: fajas G.K.

La proyección cartográfica es un sistema de representación gráfico que establece una relación ordenada entre los puntos de la superficie curva de la Tierra y los de una superficie plana, como por ejemplo un mapa. Estos puntos se localizan auxiliándose en una red de meridianos y paralelos en forma de malla.

Según la deformación producida por el pasaje de la esfera al plano, los sistemas de proyección pueden ser equivalentes, conformes o afilácticos.

También pueden ser clasificadas según su modo de obtención en cilíndricos, cónicos y acimutales o planos, atribuyéndose por su

complejidad figuras geométricas capaces de aplanarse para representar la Tierra.

El sistema de proyección utilizado en nuestro país y empleado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) para la confección de las cartas topográficas nacionales es la proyección Gauss-Krüger. El mismo es utilizado desde 1925 para representar la posición horizontal de los puntos geodésicos, los cuales están dados por las coordenadas geodésicas (latitud y longitud geodésica). La representación de Gauss-Krüger es una proyección cilíndrica transversal conforme y divide a la República Argentina (sector continental e Islas Malvinas) en 7 fajas meridianas de Oeste a Este.

Cada faja de la grilla Gauss-Krüger mide 3° de ancho (longitud) por 34° de largo (latitud) y tiene como propio origen la intersección del POLO SUR con el meridiano central de cada faja. Al igual que en la proyección utilizada en otros países, la UTM (Mercator Transversal Universal), y con el objeto de evitar coordenadas negativas, se le asigna al meridiano central de cada faja el valor arbitrario de 500 000 metros y al POLO SUR el valor de cero metros.

El origen de las ordenadas es el Polo Sur, siendo positivas hacia el Norte, y su valor nos muestra la distancia en metros desde el Polo citado al punto. El origen de las abscisas es el meridiano central de cada faja.

| <b>Faja Meridiana</b> | <b>Meridiano Central de Faja</b> | <b>Meridiano Límite de Faja</b> |
|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 1                     | -72°                             | -73° 30', -70° 30'              |
| 2                     | -69°                             | -70° 30', -67° 30'              |
| 3                     | -66°                             | -67° 30', -64° 30'              |
| 4                     | -63°                             | -64° 30', -61° 30'              |
| 5                     | -60°                             | -61° 30', -58° 30'              |
| 6                     | -57°                             | -58° 30', -55° 30'              |
| 7                     | -54°                             | -55° 30', -52° 30'              |

Imagen 24: tabla de fajas G.K.

Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN).

#### 4.6. Sistema de Posicionamiento Global GPS

##### 4.6.1. Definición y conceptos básicos

*El Sistema de Posicionamiento Global*, mejor conocido como *GPS*, es un método de posicionamiento y navegación que tiene como objetivo la determinación de coordenadas espaciales de puntos respecto de un sistema de referencia global.

Originado en el año 1973 y desarrollado por los Estados Unidos, fue concebido netamente para uso militar, por lo cual, la responsabilidad del desarrollo y mantenimiento del mismo recae en el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, en la División Sistema Espacial particularmente.

Los puntos pueden estar ubicados en cualquier lugar del planeta, del mismo modo pueden permanecer estáticos o en movimiento y las observaciones pueden realizarse en cualquier instante del día.

##### 4.6.2. Principio de funcionamiento del GPS

El sistema se basa en la determinación simultánea de las distancias a cuatro satélites (como mínimo) para poder obtener la coordenada del receptor ubicado en un punto tomado como punto incógnita.

Es posible calcular las coordenadas del receptor situado en el punto en estudio por una simple diferencia de vectores, conociendo las coordenadas espaciales de los satélites en el momento de la observación y determinando la distancia de separación entre el satélite y el receptor.

Para ello, se necesita resolver las cuatro incógnitas indispensables en un posicionamiento satelitario:

- Coordenada "X".
- Coordenada "Y".
- Coordenada "Z".
- Valor de "t", correspondiente a la corrección del reloj del receptor.

##### 4.6.3. Composición del Sistema

El sistema GPS se encuentra constituido por tres segmentos fundamentales:

1. *Segmento espacial*: el sistema está formado por una constelación con cerca de 30 satélites que se mueven en órbitas a 20.000 km aproximadamente con respecto a la superficie terrestre, alrededor de seis planos orbitales con una inclinación de 55 grados.

Los satélites transmiten dos señales portadoras en la banda L, denominadas *L1* y *L2*, que son generadas multiplicando la frecuencia fundamental. Sobre estas portadoras se modulan códigos y mensajes, los cuales se nombran a continuación:

- Código C/A: de uso civil.
- Código P o de precisión: para usuarios avanzados.
- Mensaje de navegación: contiene las órbitas de los satélites, correcciones de reloj, etc.

2. *Segmento de control*: es un sistema de monitoreo o seguimiento continuo de los satélites GPS. Consiste en una red global de instalaciones en tierra, que calculan la posición precisa de los satélites desde puntos de ubicación conocida, monitoreando sus transmisiones, realizando análisis, y enviando comandos y datos a la constelación.

Las funciones principales del segmento de control son:

- Monitoreo y control permanente de los satélites con el objeto de determinar y predecir las órbitas y los relojes de a bordo.
- Sincronización de los relojes de los satélites con el tiempo GPS.
- Transmisión, a cada satélite, de la información procesada.
- También prevén y realizan maniobras, lanzamientos, reprogramaciones, desactivaciones y otros.

3. *Segmento del usuario*: consiste en un receptor GPS, instrumento que recibe la señal de los satélites GPS y utiliza la información transmitida para calcular la posición de puntos en el espacio.

Estos instrumentos están integrados esencialmente por una antena y un receptor. La antena está conectada por cable al receptor o en otros casos forman una sola unidad. El receptor consta de un mínimo de 4 canales que permiten recibir y procesar simultáneamente la señal de cada satélite. Posee además un oscilador de cuarzo que permite generar la frecuencia de referencia para realizar la observación, y un microprocesador interno con el software correspondiente que calcula las coordenadas de la antena y la velocidad y acimut si el aparato está en movimiento. A esto se le debe agregar una memoria para almacenar observaciones, la cual varía de acuerdo al tipo de receptor, pudiendo llegar a almacenar información durante varias horas.

Para la obtención de coordenadas, el sistema se basa en la determinación simultánea de las distancias entre satélites y receptor. Dichas distancias derivan de medidas de tiempo o diferencias de fase, basadas en la comparación entre la señal recibida por el receptor procedente del satélite y la réplica de la señal generada por el propio receptor. En el proceso intervienen dos relojes, el del

receptor y el del satélite, por lo tanto estas medidas van a estar afectadas por los errores de dichos relojes y, por ende, las llamaremos pseudodistancias.

*Fuente: "GPS posicionamiento satelital" - Huerta, E.; Mangiaterra A.; Noguera G. - Año 2005*

#### 4.6.4. Red de Estaciones Permanentes

Las Estaciones Permanentes reciben en forma continua datos provenientes de las constelaciones de satélites NAVSTAR y GLONASS. El Sistema se denomina por sus siglas en inglés GNSS (Global Navigation Satellite System), y las estaciones son las que materializan los marcos de referencia a nivel mundial.

En consistencia con la tendencia internacional, Argentina generó un Proyecto que consiste en la instalación de estaciones GNSS permanentes que permitan contribuir a materializar el Marco de Referencia Geodésico Nacional. El Proyecto se lo denominó RAMSAC (Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo), y entre sus objetivos fundamentales estaba contribuir al perfeccionamiento y mantenimiento del Marco de Referencia Geodésico Nacional (responsabilidad del Instituto Geográfico Nacional), apoyar con estaciones GNSS permanentes al mantenimiento del Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF en sus siglas en inglés) y satisfacer requerimientos de orden técnico por parte de los usuarios de las modernas técnicas de posicionamiento satelital, así como también asesorar y colaborar en la instalación de nuevas estaciones GPS permanentes a todas las Instituciones que deseen incorporarse a la Red RAMSAC, para que los datos sean publicados en Internet y puedan ser accesibles en forma libre y gratuita.

#### 4.6.5. Clasificación de los métodos de observación

La elección del método dependerá fundamentalmente de tres factores: equipo disponible, precisión final/rendimiento que se quiere alcanzar y costos. A continuación se muestra una clasificación tradicional de los métodos de observación:

1. En función del observable utilizado:
  - Código: precisión en el orden del metro
  - Código y fase: precisión en el orden de los centímetros y milímetros
2. En función del movimiento del receptor:
  - Estático, no se mueve durante la observación: mayor precisión y tiempo
  - Cinemático: el receptor se desplaza durante la observación
  - Híbridos: combina los dos anteriores
3. En función del tipo de solución:
  - Posicionamiento absoluto: coordenadas de un punto aislado (X,Y,Z)

- Posicionamiento relativo o diferencias GPS (DGPS): diferencia de coordenadas de un punto respecto a otro (dx,dy,dz)

#### 4. En función de la disponibilidad de solución:

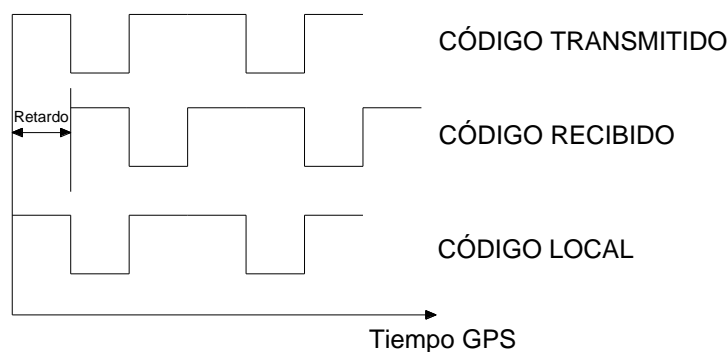
- Tiempo real: cálculo y solución en campos, por ejemplo RTK, tiene alcance limitado
- Post proceso: cálculo y solución en gabinete

#### 4.6.6. Métodos de posicionamiento

##### 4.6.6.1. Mediante código C/A

El principal problema de GPS es medir la distancia entre el satélite y el receptor, para lo cual, se utiliza el código C/A, y debe medirse el tiempo necesario para que la señal recorra la distancia satélite-receptor.

Para obtener la pseudodistancia a partir de código, el receptor genera una réplica de la señal emitida por el satélite y compara ambas mediante correlación. Se obtiene entonces, un desplazamiento de la señal que se corresponde con el tiempo que tarda la misma en llegar del satélite al receptor.



*Imagen 25: medición mediante código C/A.*

Puesto que se trata de medir tiempos es necesario contar con relojes adecuados, tanto en el receptor como en el satélite. Como cada satélite de la constelación cuenta con un código C/A diferente, genera una modulación específica de la señal. Este código va asociado al tiempo, y se repite cada milisegundo correspondiéndole un instante determinado para comenzar cada repetición, ese instante no puede ser cualquiera, debe ser el mismo en todo el sistema.

Entonces, si ambos tiempos estuvieran referidos al mismo sistema de tiempos y no tuviesen errores, la diferencia de ambas lecturas sería el tiempo de viaje de la señal entre el satélite y el receptor. Sin embargo, ambos relojes tienen retardos o adelantos respecto al sistema de tiempo GPS.

Ahora bien, el error del reloj del satélite se puede modelar mediante un polinomio a partir de los coeficientes transmitidos en la primera parte del mensaje de navegación de cada satélite. Por lo tanto, la parte de los errores de los relojes se reduce al valor del error del reloj del receptor.

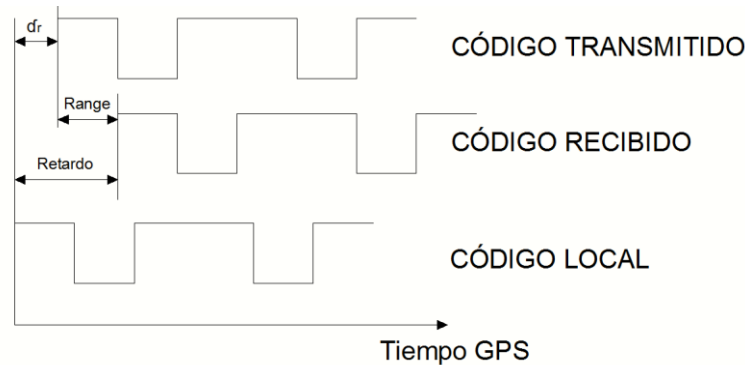


Imagen 26: error del reloj.

Siendo  $\delta_r$  una incógnita que representa el error del reloj del receptor respecto al sistema de tiempo GPS

Para obtener una ecuación más genérica, se debe tener en cuenta que la onda electromagnética procedente del satélite atraviesa la atmósfera y, por lo tanto, sufre retardos debidos principalmente a la Ionosfera y Troposfera, pero también se tienen en cuenta efectos relativistas, retardos instrumentales y efecto multicamino.

Introduciendo estos términos, la ecuación se puede expresar para cada satélite  $i$  desde cada receptor  $j$  y en cada una de las frecuencias  $L1$  y  $L2$ .

#### 4.6.6.1.1. Posicionamiento absoluto

Cuando hablamos de posicionamiento absoluto nos referimos al caso de un sólo receptor operando en modo autónomo, es decir, la función típica de navegación, calculando las coordenadas del receptor sobre la superficie terrestre en base a las mediciones de distancia que realiza a los satélites visibles (o a los posibles en función del número de canales del receptor) y mostrando estas coordenadas, sin ningún tipo de corrección, en el display del receptor (con un intervalo de actualización que se puede prefijar). Podemos distinguir dos modos de operación:

- *Modo estático*: significa que el receptor permanece estacionado sobre el punto del que se quieren conocer las coordenadas durante un lapso de tiempo, que puede ser de algunos minutos. La posición final, coordenadas del punto estación, corresponde al promedio de todas las posiciones calculadas.
- *Modo móvil*: está relacionado con el uso del receptor en movimiento. En este método no existe la posibilidad de hacer promedios ya que al estar en

movimiento el receptor, se almacenan posiciones instantáneas. Esta es la solución típica de navegación, una posición final por intervalo de tiempo, de modo que esta sucesión de puntos nos describen la trayectoria seguida por el receptor.

#### 4.6.6.1.2. Posicionamiento Diferencial

Se emplean como mínimo dos receptores (un equipo base y un móvil) donde ambos deben observar simultáneamente satélites comunes. A uno de los receptores se lo deja fijo sobre un punto de coordenadas conocidas en un sistema de referencia, mientras que el otro se encuentra en el punto que se quiere determinar.

Se puede utilizar en post-proceso o en tiempo real. La técnica de corrección diferencial se basa en calcular en el equipo base los errores, en función de los datos recibidos y la posición conocida, para eliminar la influencia de dichos errores en el cálculo de la posición del equipo móvil.

Debe tenerse en cuenta que esta técnica de corrección no elimina todos los errores que influyen en el posicionamiento satelital, ya que quedan los errores propios de cada estación, multipath y la correlación propia de cada receptor, disminuyendo la precisión general del posicionamiento.

La técnica de corrección diferencial puede aplicarse de varias formas:

- Corrección de posición: se utiliza cuando el equipo base y el móvil no observan la misma constelación. Se calcula la diferencia de latitud, longitud y altura elipsoidal en el equipo base para aplicársela al móvil. Es el método más sencillo, pero tiene el inconveniente de considerarse rigurosamente correcto solo si en la base y el móvil se usan los mismos satélites. La ventaja es que se puede usar con receptores que no almacenen las observaciones, solo hacen falta las posiciones.
- Corrección de pseudodistancias: en este caso se identifica en el tiempo GPS, cada distancia calculada por el receptor base a cada satélite en forma independiente. Teniendo las coordenadas de la estación base conocidas, puede calcularse la distancia verdadera entre el receptor y cada satélite en cada instante. Esta es comparada con la pseudodistancia (distancia observada) y la diferencia entre ambas corresponde al error para ese satélite en ese instante, valor que cambiado de signo es aplicado a la distancia calculada por el receptor remoto a ese satélite en ese instante. Este es el método que se usa cuando se transmite la corrección en tiempo real.

- Simples y dobles diferencias: con el cálculo de simples y dobles diferencias de las distancias observadas a pares de satélites, se elimina la influencia de los errores de los relojes del satélite y del receptor, y se reducen notoriamente las influencias de los errores de los parámetros orbitales del satélite y de la transmisión de la señal, quedando como incógnitas las componentes del vector. Su uso es, principalmente, en post-proceso.

De manera análoga al posicionamiento absoluto, encontramos dos métodos de operación:

- Método móvil: el receptor remoto está en movimiento, calculando y almacenando distancias y/o posiciones en su memoria interna.
- Método estático: el receptor remoto es estacionado algunos minutos sobre el punto que nos interesa relevar, haciendo mediciones de distancias a los satélites y/o calculando posiciones, almacenando estos datos en su memoria interna.

#### 4.6.6.2. Posicionamiento mediante fase

La distancia satélite-receptor está relacionada con el número entero de longitudes de onda y la fase. Entonces, se llama *observable de fase* a la diferencia entre la fase de la portadora recibida del satélite y la fase generada internamente por el oscilador del receptor. Estas medidas se registran en intervalos iguales de tiempos del receptor, y no tienen en cuenta el número de ondas enteras que hay entre el receptor y el satélite.

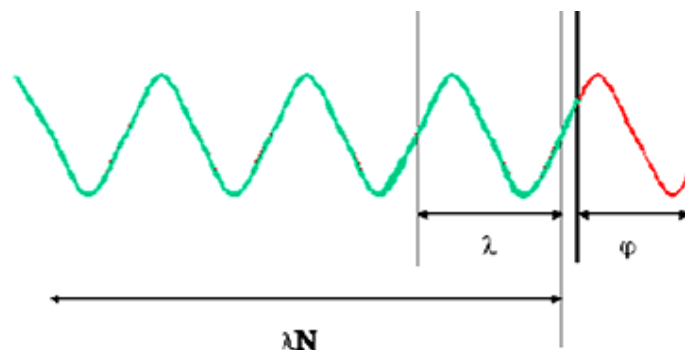


Imagen 27: Posicionamiento mediante fase.

La pseudodistancia deriva de una medida de la fase de la portadora en vez de derivarse a partir de una medida de tiempo, como se hacía en el código.

La medida que calcula el receptor es una función que varía en el tiempo desplazando la fase generada en el receptor para ir siguiendo la fase recibida. Por lo tanto, un cambio en la fase observada, refleja un cambio en la distancia receptor-satélite, y el observable, cuando se considera a lo largo del tiempo, es un observable de la fase de la portadora acumulada que nos da información de la posición relativa entre el satélite y el receptor.

Se debe tener en cuenta que en el instante inicial en el que el receptor comienza a seguir la fase recibida del satélite se desconoce el número entero de longitudes de onda entre el satélite y el receptor. Esta incógnita se llama *ambigüedad de ciclo inicial*.

Una vez que el receptor sigue la fase recibida desde el satélite a partir de una época inicial, la medida de fase acumulada consistirá en:

- Una medida fraccional de la fase
- Una cuenta entera de ciclos que varía
- Un número entero de ciclos desconocido (ambigüedad de ciclo inicial), fijo en el tiempo, a lo largo de todo el seguimiento de la señal de ese satélite.

Esta diferencia de fase, depende tanto del estado del reloj del satélite como del estado del reloj del receptor. Ahora bien, para que ambos relojes estén sincronizados al tiempo GPS, hay que introducir sus correspondientes correcciones.

La ambigüedad de ciclo inicial nombrada, se elimina a través de un proceso de diferencial que resuelve el GPS de simples, dobles y triples diferencias respectivamente.

La primera, consiste en diferenciar entre las ecuaciones de ondas de dos receptores observando a un mismo satélite; luego se diferencia entre satélites, es decir, dos receptores observando simultáneamente a dos satélites.

Mediante este proceso se logra la eliminación y en otros la reducción de algunos efectos. Diferenciando entre receptores se eliminan los errores específicos de los satélites y diferenciando entre satélites se eliminan los errores propios de los receptores. Con las triples diferencias se eliminan la ambigüedad inicial y se reducen los efectos ionosféricos y troposféricos.

En resumen, se puede decir que cuando se utiliza el observable fase la precisión que se puede lograr es mucho mejor que la que se logra con el uso de códigos pero aparece el problema de las ambigüedades cuya resolución requerirá de tiempos de observación mucho más prolongados y de procedimientos de medición y de cálculo considerablemente más complejos.

Es importante en este punto tener en cuenta que la ambigüedad inicial inherente a la medición con fase es un número entero y depende del par receptor-satélite. No habrá dependencia del tiempo siempre que no haya pérdida de señal durante la sesión.

#### 4.6.6.2.1. Posicionamiento relativo o diferencial

Este método se caracteriza en poder determinar la posición del receptor móvil en función del receptor base, siempre y cuando se conozcan las coordenadas de la estación base y ambos equipos estén observando simultáneamente cuatro o más satélites. Se pueden obtener resultados en post-proceso o en tiempo real.

De acuerdo al instrumental de observación, observables y software de cálculo utilizado se pueden citar las siguientes técnicas:

- Posicionamiento relativo estático: consiste en determinar las coordenadas de un punto incógnita utilizando para ello las coordenadas de otro punto denominado base. Para ello se deben realizar observaciones simultáneas a los mismos satélites desde ambos puntos durante un período de tiempo. Suponiendo que el punto A es el punto base y el B es el punto incógnita, el resultado que se desea obtener en posicionamiento relativo son las componentes del vector entre ambos puntos.

La corrección de diferencias de fase se plantea de la siguiente manera: si se asume que se realizan observaciones simultáneas en dos puntos A y B a dos satélites j y k, se pueden formar nuevas ecuaciones como combinación lineal de las anteriores. A estas combinaciones lineales se las denomina simples diferencias, dobles diferencias y triples diferencias de fase.

Los errores sistemáticos incluidos en la ecuación de observación original presentan una fuerte correlación con las señales recibidas simultáneamente por diferentes receptores desde distintos satélites. La utilización de las ecuaciones de diferencias de fases mencionadas, utilizan estas correlaciones con el fin de lograr un aumento en las precisiones, posibilitando en algunos casos la eliminación y en otros la reducción de dichos efectos.

- Posicionamiento relativo dinámico: tiene la particularidad de que mientras el receptor base se mantiene fijo, el receptor remoto se desplaza rápidamente de un punto a otro. Aquí podemos encontrar dos métodos:
  - Método cinemático puro: tiene como objetivo el relevamiento de una línea en forma continua y para que resulte exitoso se deben cumplir dos condiciones: primero se debe realizar un proceso de inicialización, es decir, calcular las ambigüedades iniciales antes de comenzar el movimiento. Esto se puede lograr, por ejemplo, mediante una determinación estática ordinaria.

En segundo lugar, sin apagar el receptor, se efectúa el recorrido correspondiente, debiéndose mantener las señales provenientes de al menos cuatro satélites. Esto permitirá utilizar las ambigüedades iniciales previamente obtenidas, en el cálculo de los puntos sucesivos. Si durante el recorrido una o más veces, por algún tipo de obstrucción, se pierde la comunicación será necesario realizar nuevamente una inicialización.

- Método Stop and Go: dicho método, también denominado como método de medición móvil, plantea como objetivo la determinación de coordenadas de puntos discretos con indiscutible rapidez. El mismo consiste en estacionar un receptor en la base mientras que el otro se va trasladando de punto en punto, sin interesar la trayectoria intermedia, deteniéndose brevemente en cada punto incógnita (varios segundos o minutos). Para que este método resulte exitoso se tienen que cumplir dos condiciones: en primer lugar se deben determinar las ambigüedades antes de comenzar el movimiento mediante una inicialización estática. En segundo lugar se deben mantener las señales sin pérdidas de ciclos, lo que permitirá trasladar las ambigüedades a los puntos sucesivos.

Cabe aclarar que la existencia de obstáculos como túneles, densa arboleda, puentes, etc., se convierten en dificultades para la aplicación, ya que producen un corte de las señales recibidas y la pérdida de las ambigüedades iniciales. En caso que la recepción se interrumpa se pueden recuperar las ambigüedades retornando al punto anteriormente ocupado, evitándose así la reinicialización.

*Fuente: Apunte "Métodos de observación" - Cátedra Geodesia II*

#### 4.6.7. Errores sistemáticos y accidentales

Los primeros, es decir los errores sistemáticos responden a una ley física conocida. Los segundos, los accidentales, son inevitables en toda medición y su comportamiento se caracteriza mediante la campana de Gauss.

Algunos de los errores sistemáticos que se cometen durante la medición con GPS son:

- ✓ Influencia de la atmosfera, cuya fuente de error es importante.
- ✓ Efemérides y reloj del satélite, que si bien no es significativa para mediciones mediante código C/A, se debe tener en cuenta. Para otros métodos se pueden mejorar los resultados utilizando las efemérides precisas.

- ✓ Efecto multipath (multicamino), cuyo efecto se controla tratando de evitar el estacionamiento del receptor cerca de superficies reflectantes.

Uno de los errores accidentales que surge de la medición con GPS puede ser el Ruido, propio de la medición. Es aquella medida por debajo de la cual el instrumental no puede efectuar determinaciones certeras, expresando la incertidumbre propia de la medición. Para sanear su influencia se apela a la sobreabundancia de observaciones y a la búsqueda del valor más probable mediante el cálculo de compensaciones o ajustes.

#### 4.7. Sistema de información Geográfica (SIG)

##### 4.7.1. Definición y utilidades

Un Sistema de Información Geográfica es una integración organizada de *hardware*, *software* y *datos geográficos* diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información georreferenciada, con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión.

Los SIG nos permiten hacer un análisis exhaustivo del territorio en los ámbitos más diversos. Son herramientas versátiles, con un amplio campo de aplicación en cualquier actividad que conlleve un componente espacial.

La tecnología de los Sistemas de Información Geográfica puede ser utilizada para diferentes ámbitos, como por ejemplo:

- ✓ Investigaciones científicas
- ✓ Gestión de los recursos y activos
- ✓ Arqueología
- ✓ Evaluación del impacto ambiental
- ✓ Planificación urbana
- ✓ Cartografía
- ✓ Geografía histórica
- ✓ Marketing o logística

Hoy en día, los SIG se han convertido en herramientas indispensables en la toma de decisiones en las que la información espacial tiene una especial relevancia.

## 5. Desarrollo

### 5.1. Estudio previo de la zona de trabajo.

#### 5.1.1. Entre Ríos: descripción general

La provincia de Entre Ríos se ubica entre los Paralelos de 30° y 34° de latitud Sur y entre los meridianos de 58° y 61° de longitud Oeste, cubriendo una extensión aproximada de 7,5 millones de ha. El 72% corresponde a tierra firme y el 28% restante a ríos, valles inundables de los principales ríos y arroyos y al delta.

Política y administrativamente se divide en 17 departamentos, siendo la capital provincial la ciudad de Paraná.

El territorio se caracteriza por la marcada heterogeneidad de su topografía, suelos y vegetación, destacándose dos importantes cuencas interiores, la del arroyo Feliciano y la del Río Gualeguay, afluentes del Río Paraná.

Pueden definirse dos grandes regiones climáticas, una al norte del paralelo de 32° que corresponde al clima subtropical sin estación seca y otra al sur de dicho paralelo con clima templado pampeano. La ocurrencia de heladas se da generalmente entre los meses de mayo a septiembre. Las medias anuales de precipitación disminuyen desde los 1200 mm en el NE hasta los 900 mm en el SO, siendo estaciones lluviosas el otoño y el verano.

#### 5.1.2. Zonas agroeconómicas homogéneas: Gualeguay

La provincia de Entre Ríos presenta una amplia gama de condiciones ambientales y económicas que posibilitan o condicionan el desarrollo de diferentes actividades como son la ganadería bovina y ovina, la agricultura, la avicultura, silvicultura, citricultura, entre otras.

Por este motivo, es que existen Zonas AgroEconómicas Homogéneas (ZAH) que diferencian y describen los sectores con características similares (Proyecto RIAN – Red de Información Agroeconómica Nacional - 2006).

La Zona Agroeconómica Homogénea “Gualeguay” es la que comprende la zona de estudio del presente trabajo, motivo por el cual realizaremos una breve descripción de la misma.

Dicha ZAH está compuesta por el departamento Tala y Gualeguay, teniendo como localidad de referencia la ciudad cabecera de este último. Abarca una superficie aproximada de 600.000 ha (5% del total de la superficie provincial).

Teniendo en cuenta su relieve, el paisaje fisiográfico sobresaliente corresponde a la peniplanicie suavemente ondulada a plano, con un rango de pendientes que va desde las moderadamente pronunciadas de 2% a 4% y otras de 0,5% a 1% de intensidad. Otros elementos característicos del paisaje regional lo representan los amplios valles con terrazas fluviales. En las zonas bajas, ocupando áreas relativamente reducidas, se encuentran sectores con acumulación de materiales coluvio-aluvionales. Son áreas pequeñas, cóncavas, con aportes de material por escorrentía, temporalmente anegadas.

Respecto al origen y disponibilidad de los recursos hídricos, la zona pertenece al tramo inferior de la Cuenca del Río Gualeguay. El Río Gualeguay es el curso principal de esta cuenca hídrica, que cuenta además con una importante cantidad de cursos secundarios y terciarios, como arroyos y cañadas.

Los suelos que abarcan la ZAH son muy variados. El sector correspondiente al Departamento Gualeguay contiene suelos Vertisoles y Molisoles. Los primeros se desarrollaron en las lomadas altas de la peniplanicie suavemente ondulada (pendientes largas con 1 a 2,5% de gradiente) y los segundos sobre las pendientes con 2 a 3 % de gradiente.

En cuanto al sector norte de la región, es decir el Departamento Tala, los suelos Vertisoles y Alfisoles cubren amplias superficies. Respecto al uso del suelo, está ocupado fundamentalmente por ganadería y agricultura extensiva. Claramente es mayor el porcentaje de suelo utilizado para agricultura extensiva que para ganadería.



Imagen 28: Zonas agroeconómicas homogéneas.

### 5.1.3. Taxonomía del suelo

#### 5.1.3.1. Vertisoles de Entre Ríos: características generales

Los Vertisoles o Grumosoles son suelos negros o muy oscuros con un alto contenido de arcilla, que tienen una marcada tendencia a contraerse y dilatarse al cambiar su grado de humedad, causando inclusive movimientos en masa dentro del perfil.

Generalmente tienen una textura franco arcillo limosa en los horizontes superficiales y arcillo limosa en los horizontes subsuperficiales, o sea que la textura generalmente se hace más arcillosa en profundidad. El porcentaje de arena es reducido y normalmente no supera el 3 o 4%, salvo excepciones.

En general son suelos difíciles de trabajar. Debido al alto contenido de arcilla son muy duros en seco y muy plásticos y adhesivos cuando están mojados. Por lo tanto tienen un margen muy corto de humedad óptima para la labranza, por lo que se dificulta aún más su laboreo.

Muchos Vertisoles presentan un micro relieve gilgai, que son pequeños altibajos del terreno en forma cíclica, y que se deben al movimiento en masa del suelo por los cambios en el estado de humedad del mismo. La presencia o no del gilgai en los Vertisoles, no depende del porcentaje de arcilla en sí, sino principalmente del porcentaje de arcilla del tipo expandible (montmorillonita).

Otras características adicionales son el “selfmulching” o “autoestructuración”, la presencia de grietas cuando están secos y los “slickensides” o “espejos de fricción”. La autoestructuración es la estructura propia del horizonte superior que presenta un alto contenido de arcillas expandibles, que al contraerse y expandirse con los frecuentes cambios de humedad, forman agregados de bloques muy pequeños y resistentes. Esta característica se observa solo en algunos Vertisoles de la provincia de Entre Ríos. Por la misma capacidad de dilatación y contracción que presentan estos suelos al secarse se forman grietas, particularmente en el subsuelo. Las presiones debidas a la fuerza de expansión provocan el deslizamiento de unos agregados sobre otros, produciendo superficies lisas, brillantes, denominados espejos de fricción y se encuentran generalmente en horizontes profundos.

En general, los Vertisoles de Entre Ríos están bien provistos de minerales nutritivos, y tienen un contenido de materia orgánica relativamente alto (entre 3 y 6 %), cuando no están erosionados. Sin embargo, muestran frecuentemente síntomas de deficiencia de nitrógeno y fósforo (a causa de que la montmorillonita lo retiene).

Se encuentran en un paisaje de peneplanicie muy suavemente ondulada, con pendientes generalmente largas que varían de 0,5 a 2,5 %, pero también pueden encontrarse en peneplanicie ondulada con pendientes de hasta 4%.

En cuanto a su ubicación, se sitúan en el centro sur, sureste, centro este, noroeste y noreste de la Provincia de Entre Ríos, en los departamentos de Gualeguaychú, Uruguay, Colón, Villaguay, Tala y en menor proporción en los departamentos de Concordia, Federación, Federal, La Paz, Gualeguay y Paraná.

Drenaje: Uno de los mayores problemas de estos suelos para su uso agropecuario es su drenaje deficiente, por un lado, un exceso de agua en el perfil durante periodos prolongados y por otro un déficit notable después de algún tiempo sin lluvias.

Todos tienen una permeabilidad lenta en el epipedón y extremadamente lenta en los horizontes subsuperficiales, salvo después de periodos secos, cuando la infiltración es mayor pero solo por corto tiempo. En invierno, con lluvias suaves, es común encontrar después de un cierto tiempo la superficie prácticamente saturada y el subsuelo seco y aun con grietas, indicando un proceso de pseudo-gleyzación y anaerobiosis en el horizonte superficial.

Buena parte del agua drena superficialmente y por lo tanto existe una estrecha relación entre el drenaje del suelo y el relieve en que se encuentran los mismos, ya sea en zonas más o menos onduladas.

Erosión: La baja capacidad de infiltración de estos suelos y la fuerte intensidad de las lluvias de verano y otoño, hace que durante estos momentos gran parte del agua corra superficialmente, constituyendo un considerable peligro de erosión potencial. En muchos sectores, la erosión puede considerarse como un problema importante y principal en el uso y manejo de estos suelos.

Observaciones y estudios realizados sobre la relación entre las características del relieve y la erosión, indican que una pendiente de aproximadamente 2 % es crítica para aquellos suelos que de por sí ya tienen un epipedón corto, es decir en los Vertisoles que sufrieron un proceso de erosión natural. Para Vertisoles con un epipedón más profundo, la pendiente crítica es de aproximadamente 2,5 y 3 %.

Estos valores se basan en el uso mixto agrícola ganadero. Ante un uso inadecuado de las tierras, no existe una pendiente crítica, ya que la erosión puede iniciarse ante cualquier declive.

Con respecto a la longitud de la pendiente, se observa que la erosión se da a partir de los 300-400 metros aproximadamente. En pendientes de menor longitud, el efecto está subordinado a otros factores como son el grado de pendiente y el uso de la tierra. Con pendientes mayores a 300-400 metros, la influencia de la longitud es notable, con una mayor erosión en surcos y cárcavas pequeñas.

Otro aspecto a tener en cuenta es la forma de la pendiente como factor de erosión.

### 5.1.3.2. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica de los Vertisoles, según el sistema taxonómico de los EE.UU es la siguiente:

#### 1. Orden

Los Vertisoles son suelos que una vez mezclados los primeros 18 cm., tienen más de 30% de arcilla en el mismo y en todos los demás horizontes, y tienen en algún periodo de la mayoría de los años grietas con un ancho de 1 cm. o más a una profundidad de 50 cm. y con una o más de las siguientes características: gilgai, slickensides lo suficientemente frecuente como para interceptarse y agregados estructurales cuneiformes entre los 25 y 100 cm. de profundidad.

Casi todos los Vertisoles de Entre Ríos corresponden a esta definición, salvo excepciones (algunos Vertisoles hidromórficos)

#### 2. Suborden

Los Vertisoles de Entre Ríos pertenecen todos al régimen climático de los UDERTS, es decir suelos normalmente húmedos en alguna parte, en la mayoría de los años y tienen grietas que se abren y cierran una o más veces por año, y que no están abiertas por más de 90 días acumulativos por año ni por más de 60 días consecutivos.

#### 3. Gran Grupo

A nivel gran grupo, los UDERTS están divididos según su color y se reconocen los CHROMUDERTS (colores más claros) y los PELLUDERTS (colores muy oscuros). Como prácticamente todos los Vertisoles de la provincia en cuestión presentan características hidromórficas, sería muy difícil encontrar suelos pertenecientes a los Chromuderts, por lo tanto son Pelluderts.

#### 4. Subgrupos

Para los PELLUDERTS, el sistema original reconoce 3 subgrupos: Typic Pelluderts, Chromic Pelluderts y Entic Pelluderts.

Debido a que estos subgrupos no permiten diferenciar de manera correcta las diferentes características que presentan los Vertisoles Entrerrianos, se consideran otros subgrupos (integrados) que si lo conceden.

- Typic Pelluderts
  - A. Tienen hasta 1 m. de profundidad, colores en seco y húmedo con cromas más oscuras que 1,5, o si éstos son 1,5 o más claros, tendrán concreciones ferromagnesianas o moteados precisos sobresalientes.
  - B. Tienen colores en seco con valores menores a 5,5 y en húmedos menores que 3,5 en todos los primeros 30 cm.

- C. No tienen un epipedón mólico de más de 20 cm. de espesor.
- D. No tienen horizontes subsuperficiales con todas las características de horizonte argílico.
- E. No tienen concreciones ferromagnesíferas en todo el perfil.
- Chromic Pelluderts: como los Typic Pelluderts excepto por A.
- Entic Pelluderts: como los Typic Pelluderts excepto por B.
- Argillic Pelluderts: como los Typic Pelluderts excepto por D.
- Argillic Chromic Pelluderts: como los Typic Pelluderts excepto por A y D.
- Argiudollic Pelluderts: como los Typic Pelluderts excepto por C y D.
- Argiaquollic Pelluderts: como los Typic Pelluderts, excepto por C, D y E.

## 5. Familias

Los criterios diagnósticos seleccionados para diferenciar adecuadamente los Vertisoles de Entre Ríos a nivel familia son: Textura, Temperatura del suelo y Alcalinidad.

Las clases por textura pueden ser dos, arcilloso fino (hasta 60% de arcilla) o arcilloso muy fino (más de 60% de arcilla). De acuerdo a la temperatura del suelo, nos permite diferenciar dichos Vertisoles de los de otras áreas del mundo, donde la temperatura media anual ronda entre los 15 y 22 °C. La alcalinidad, es decir el porcentaje de sodio intercambiable, también ayuda a diferenciar este tipo de suelos de otros, existiendo 4 clases: neutro, ligeramente alcalino, moderadamente alcalino y alcalino.

### 5.1.3.3. Serie El Triángulo

#### 5.1.3.3.1. Descripción

La serie pertenece a la familia “Fina, montmorillonítica, ligeramente alcalina, térmica” (*fine, slightly alkalino, thermic*), de los **Peludertes árgicos crómicos** (*Argillic Cromic Pelluderts*). Vertisol sin gilgai y con B2-textural.

No muestra un relieve gilgai visible en el terreno, pero sí muy tenue en la fotografía aérea y en el perfil, que es negro hasta 40-80 cm, según su posición. Está ligeramente erosionado, moderadamente bien drenado y ligeramente alcalino en el subsuelo. Tiene un epipedón arcillo limoso bien estructurado por la auto-estructuración (“self-mulching”) y un horizonte B2 argílico, arcillo limoso; las concreciones de calcio aparecen entre 50-90 cm.

Suelos desarrollados en materiales arcillo limosos (limos calcáreos).

5.1.3.3.2. Perfil tipo

- Fecha: ER2-9C, fecha 23-09-1970
  - Ubicación: Campo la Emiliana, foto IR 412-35 – Dpto. Gualeguay
  - Reconocedores: C. J. Vesco; G. W. Barneveld
- **Ap (0-15 cm):** negro (10YR 2/2) en Húmedo; arcillo limoso; estructura granular y en bloques subangulares medios, moderados; muy duro en seco, firme en húmedo; barnices (“clay-humic”) escasos, finos; moteados de hierro-manganeso comunes finos y precisos; límite claro, suave. PH: 6.7
- **B21t (15-42 cm):** negro (10YR 2/1) en húmedo; arcillo limoso; estructura en bloques angulares irregulares y en bloques cuneiformes medios, moderados con tendencia a prismas compuestos irregulares; duro en seco, friable en húmedo; barnices (“clay-humic”) escasos finos; caras de fricción intersectadas, comunes finas; moteados de hierro-manganeso comunes finos y precisos; límite gradual, suave. PH: 6.7
- **B22t (42-89 cm):** gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo; arcillo limoso; estructura en bloques angulares irregulares medios, débiles con tendencia a prismas compuestos irregulares; duro en seco friable en húmedo; microconcreciones calcáreas comunes, duras, desde los 73 cm de profundidad; barnices (“clay-humic”) escasos finos; caras de fricción intersectadas, comunes y finas; moteados de hierro-manganeso comunes, finos y precisos; límite gradual, ondulado. PH: 7.3
- **B3ca (89-135 cm):** pardo oscuro (7.5YR 3/2) en húmedo; arcillo limoso; estructura en bloques angulares irregulares medios, débiles; duro en seco, friable en húmedo; escasa cantidad de carbonatos libres en la masa; concreciones de calcáreo abundantes, de hasta 1 cm, duras; barnices (“clay-humic”) escasos; caras de fricción comunes, muy gruesas; moteados de hierro-manganeso comunes, finos y precisos; límite difuso, suave. PH: 8.3
- **Cca (+135 cm):** pardo oscuro (7.5 YR 4/2) en húmedo; arcillo limoso; estructura masiva, duro en seco, friable en húmedo; escasa cantidad de carbonatos libre de masa; concreciones de calcio abundantes, de hasta 1 cm, duras; barnices (“clay-humic”) comunes y finos; caras de fricción comunes y gruesas, disminuyendo en profundidad; moteados de hierro-manganeso comunes, finos y precisos. PH: 8.3

#### 5.1.3.3.3. Variabilidad de rasgos

La variabilidad de rasgos está determinada principalmente por dos procesos: uno es la expansión y contracción del material arcilloso que da lugar a la formación incipiente del gilgai (aunque no se manifiesta como un microrelieve visible en el terreno) y el otro, la erosión.

En los altibajos del gilgai, el solum tiene 80-140 cm. El epipedón varía de 15 a 22 cm, y generalmente está bien estructurado por la auto estructuración (“self-mulching”); en algunos casos se puede diferenciar un A1 y un B1.

Tiene 38-43% de arcilla, cantidad que puede ser menor (llegando a 32%), debido a la deposición y mezcla con materiales menos arcillosos y loésicos de áreas vecinas más altas. El horizonte B2, argílico, está mejor expresado en el bajo del gilgai.

El porcentaje de arcilla incrementa generalmente en profundidad, variando de 44% a 50% en la parte superior y sobrepasa el 50% en la parte inferior. Su estructura habitualmente es prismática, que rompe en bloques cuneiformes, pero los prismas pueden ser muy débiles. Los cutanes descritos como “clay-humic skins” probablemente son caras de fricción. Estas normalmente se encuentran a partir de 10-15 cm hasta 150 cm o más en el material originario; son intersectados en el B2 y localmente también en el B3. Cuando está seco, el B2 presenta grietas hasta de 2 cm de ancho que se extienden hasta la base del epipedón, o hasta la superficie cuando el perfil está erosionado.

El calcáreo, en concreciones duras hasta 1 cm (y a veces de 2 cm) aparece entre 50-90 cm, generalmente a partir del B3 o la parte inferior del B2.

El Calcáreo libre se encuentra recién en el C, pero a veces a partir del B3 o la parte inferior del B2. El porcentaje de calcáreo varía de 9 a 15% en el material más fino que 2 mm.

Es un suelo ligeramente alcalino con 7-15% de Na<sup>+</sup> intercambiable a partir del B3 o de la parte inferior del B2.

El color del C varía de 7.5YR 5/4, 5/3, 4/4, hasta 4/2 y muestra en muchos lugares gley fósil. Tiene alrededor de 45-48% de arcilla y normalmente 2-3% de arena, que puede llegar hasta el 8%.

#### 5.1.3.3.4. Fases

No se establecieron a nivel de reconocimiento. A escalas más detalladas podrían diferenciarse dos fases por erosión: fase moderadamente erosionada (símbolo de mapeo: ET.h2) y fase severamente erosionada (símbolo de mapeo: ET.h3)

#### 5.1.3.3.5. Extensión y fisiografía

La Serie el Triángulo es una serie tipo del área comprendida entre el Arroyo Clé y el Arroyo Barrancoso en el Oeste; las localidades de 20 de Septiembre, Lucas Gonzales y Echagüe en el Norte; el Rio Gualeguay en el Este y la línea Estancia El Rincón Gonzalez Calderón en el Sur. (Departamento Gualeguay, parte sur del Departamento Tala y el extremo SE del Departamento Nogoyá)

La serie se encuentra en las pendientes cortas, convexas de las lomas altas para las fases erosionadas. De su superficie total aproximada, el 30% corresponde a la fase moderadamente erosionada y el 20% aproximadamente a la fase severamente erosionada.

#### 5.1.3.3.6. Drenaje y erosión

El drenaje es moderadamente bien drenado; escurrimiento superficial moderado y a veces algo rápido; permeabilidad muy lenta; capa freática profunda. Grupo Hidrológico D.

En cuanto a la erosión, dicha serie muestra una erosión actual laminar leve y, a veces en pequeños surcos. Es posible que, en parte, ésta sea natural. El suelo corre gran peligro de erosión en surcos y cárcavas. La fase moderadamente erosionada muestra una erosión actual laminar, con un epipedón muy arcilloso de estructura mala y, cuando seca, con grietas hasta la superficie. Esta fase corre gran peligro de erosión en cárcavas. La severamente erosionada presenta surcos y pequeñas cárcavas, y tiene grave riesgo de erosión en cárcavas profundas.

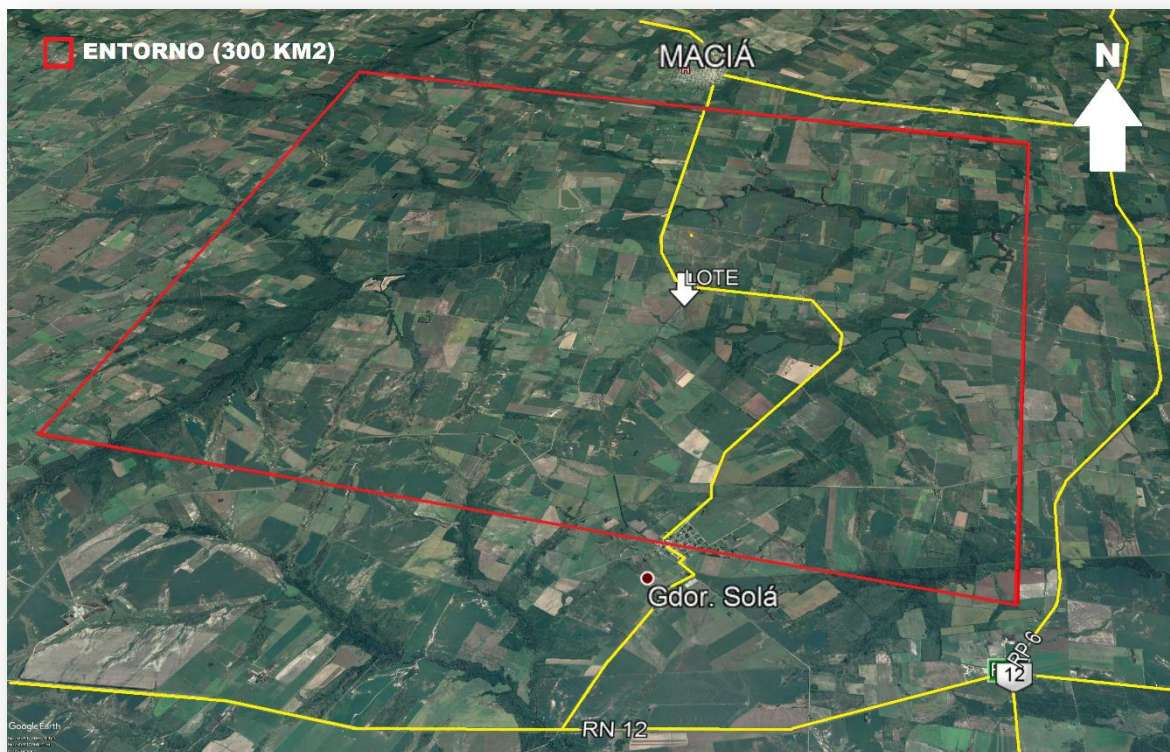
### 5.2. Análisis del lote y su entorno a partir de la creación de un SIG

El Software Google Earth Pro permite, dentro de algunas de sus funciones, trabajar sobre imágenes de diferentes años, creando polígonos, líneas, y realizar cálculos de diferentes tipos, superposiciones, etc.

De esta manera, se trabajó con el mismo analizando imágenes de distintos años remarcando múltiples patrones que se presentaron a lo largo del tiempo. Un análisis minucioso y detallado nos permitió extraer diferente tipo de información y la misma se desarrolla en los párrafos siguientes.

### 5.2.1. Cambio del uso del suelo en la región: año 2002 a la actualidad

Un factor determinante para la erosión, además del tipo de suelo, es el uso que se le da a dicho territorio y las técnicas de conservación que se aplican. Por tal motivo, realizamos un análisis del entorno del lote de estudio (área de 300 km<sup>2</sup>), utilizando imágenes aéreas de distintos años que brinda gratuitamente el software Google Earth Pro.



*Imagen 29: imagen satelital del entorno geográfico.*

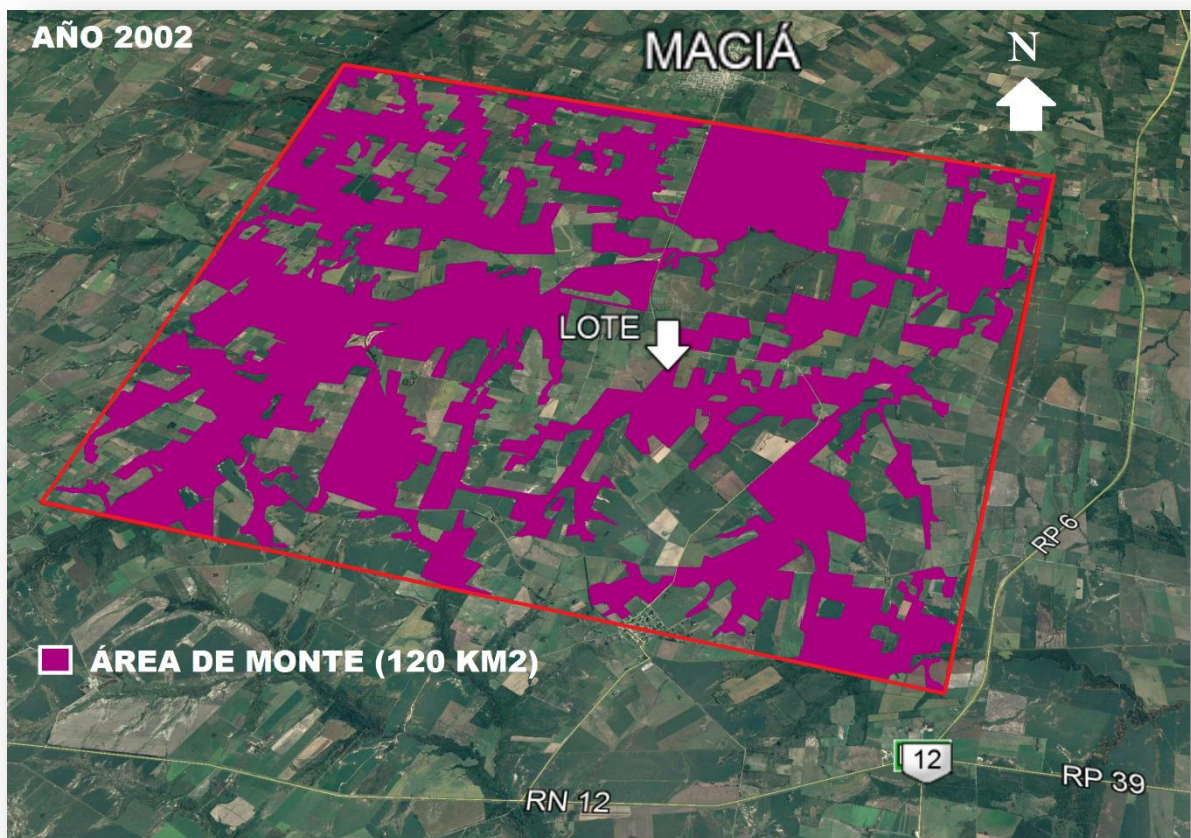
Para llevar a cabo lo expresado en el párrafo anterior, decidimos crear un SIG que nos permitió extraer la información necesaria para estudiar cómo fue variando el uso del suelo y cómo se implementaron diferentes tipos de técnicas para evitar o disminuir la vulnerabilidad de los suelos a la erosión.

Realizamos una comparación de distintos factores de estudio presentes sobre imágenes del año 2002 e imágenes del año 2016, y obtuvimos las correspondientes conclusiones. A continuación se detalla cada factor analizado a partir del SIG creado:

### 5.2.1.1. Áreas desmontadas

Visualizando una imagen aérea del año 2002 y otra del año 2016, notamos que muchos sectores donde predominaba la vegetación en forma de monte natural había desaparecido. Con el propósito de marcar dicha condición, en cada imagen, creamos un polígono que encierra el área de monte y calculamos su superficie.

El área de monte existente en la imagen del año 2002 era de 120 km<sup>2</sup> (del total de 300 km<sup>2</sup> del área analizada). A continuación se muestra una imagen de lo explicitado:



*Imagen 30: áreas de monte – año 2002.*

El área de monte existente en la imagen del año 2016 es de 80 km<sup>2</sup> (del total de 300 km<sup>2</sup> del área analizada). A continuación se muestra una imagen de lo explicitado:

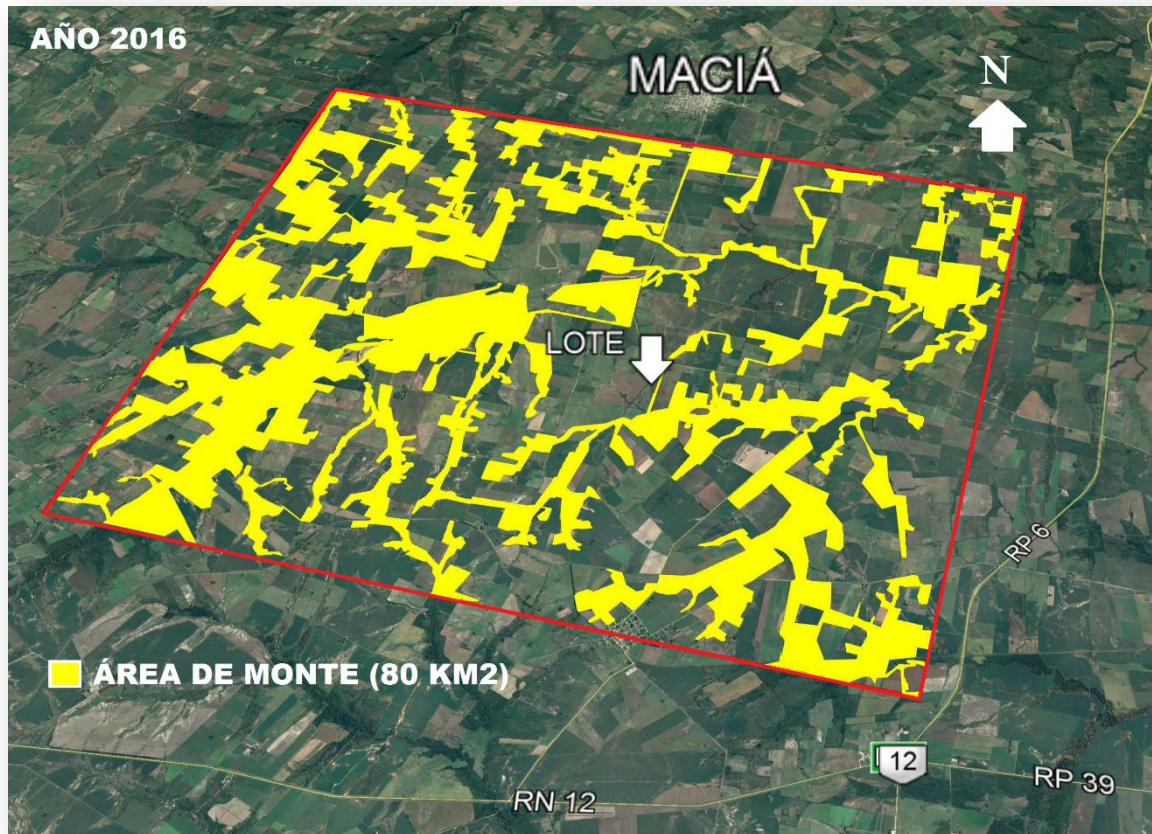


Imagen 31: áreas de monte – año 2016.

Como se puede observar, gráfica y numéricamente, la zona de monte se redujo para el año 2016 en 40 km<sup>2</sup>, es decir un 33,3 % del total encontrado en el año 2002.

Esto sucede debido a la necesidad de explotar al máximo las tierras para obtener a corto plazo el mayor rédito posible, sin tener en cuenta las consecuencias que implica el desmonte a mediano y largo plazo.

#### 5.2.1.2. Aplicación de sistematizaciones

Como ya sabemos, los montes funcionan como una esponja natural, es decir que se encargan de absorber grandes cantidades de agua y amortiguar el impacto de la gota de agua de las precipitaciones. Con la ausencia de éstos, el agua corre libremente alcanzando altas velocidades, produciendo distintos tipos de erosión.

Es por este motivo que surge la necesidad de aplicar diferentes técnicas que permiten, en caso de que se realicen de manera correcta, frenar el caudal de agua y evitar en lo posible la presencia de erosión. Las técnicas que se aplican en la mayoría de los casos son sistematizaciones de diferentes tipos: terrazas

sembrables, terrazas no sembrables, cultivo cortando la pendiente o en curvas de nivel, etc.

Analizando las imágenes aéreas utilizadas anteriormente, notamos el aumento de las sistematizaciones desde el año 2002 al año 2016, como medida de prevención para las erosiones. Lo dicho se expresa en las siguientes imágenes:



*Imagen 32: lotes sistematizados – año 2002.*

Como podemos ver en la imagen anterior, dentro del entorno de estudio solo encontramos 10 lotes con algún tipo de sistematización.

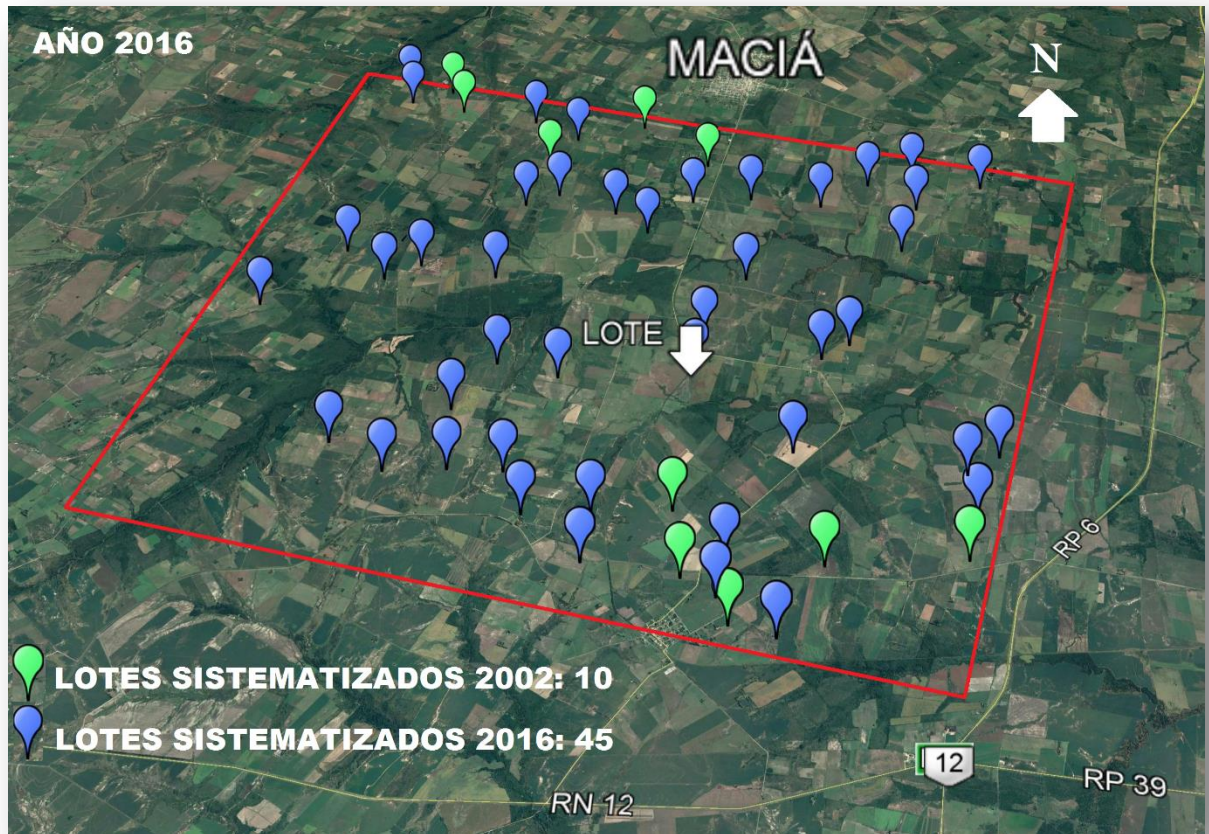


Imagen 33: lotes sistematizados – año 2016.

Para el año 2016, encontramos sistematizados alrededor de 45 lotes, es decir un 450% más de parcelas que para el año 2002.

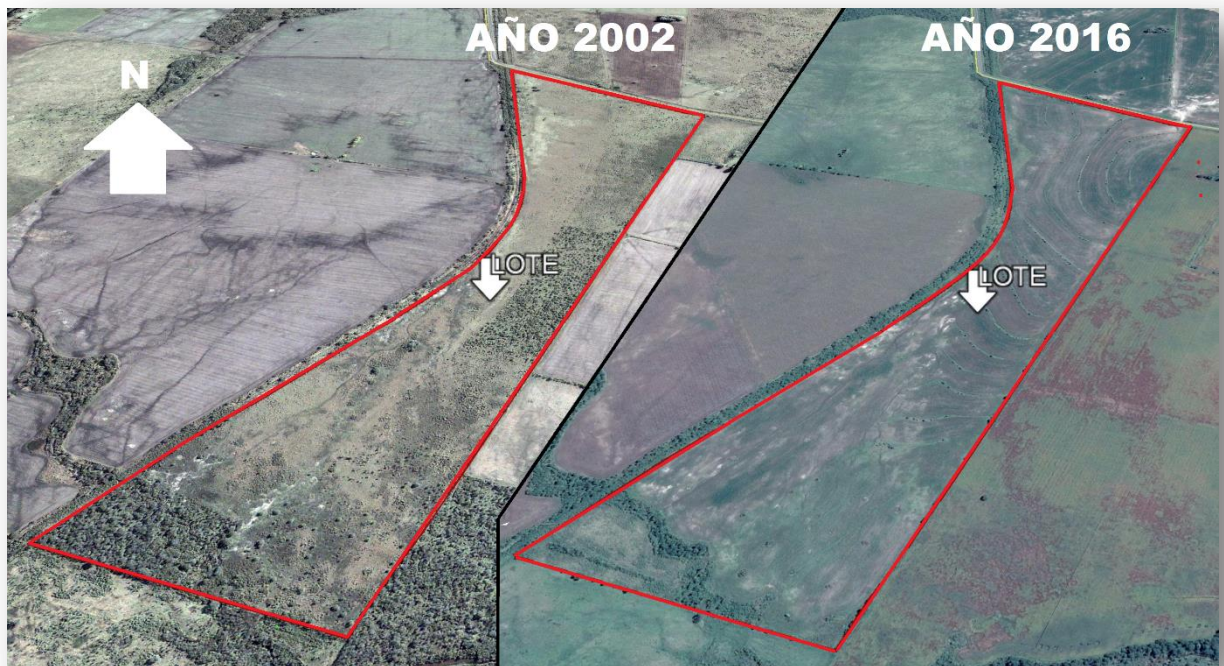
Esto demuestra la necesidad por parte de los productores de frenar la erosión, causante principal de la pérdida de suelo, disminuyendo los rendimientos de la producción.

Recalamos que es de vital importancia que dichas sistematizaciones estén hechas de manera correcta, porque de no serlo empeoran aún más la situación.

### 5.2.2. Cambio de uso del suelo en el lote de trabajo y estimación de la superficie erosionada

Analizando imágenes aéreas de la parcela de trabajo nos encontramos con un cambio notable del uso del suelo desde el año 2002 a la actualidad.

A continuación se muestra una imagen comparativa del año 2002 y del año 2016:



*Imagen 34: cambio del uso del suelo sobre la parcela de trabajo.*

En el año 2002 se pueden visualizar sectores de montes y otros de pasturas, donde se practicaba la ganadería.

Para el año 2016 observamos que la mayor parte de la superficie está destinada a la agricultura, donde además se presentan sistematizaciones con terrazas.

Un cambio en el uso del suelo de este tipo trae aparejado, en la mayoría de los casos, y más aún si no se realiza de manera correcta, problemas erosivos que se reflejan a simple vista como ser cárcavas, surcos, erosión laminar, etc. Por este motivo decidimos hacer un análisis desde fotografías aéreas de la superficie erosionada existente sobre el lote en el año 2002 y en el año 2016. El resultado que obtuvimos se muestra a continuación:

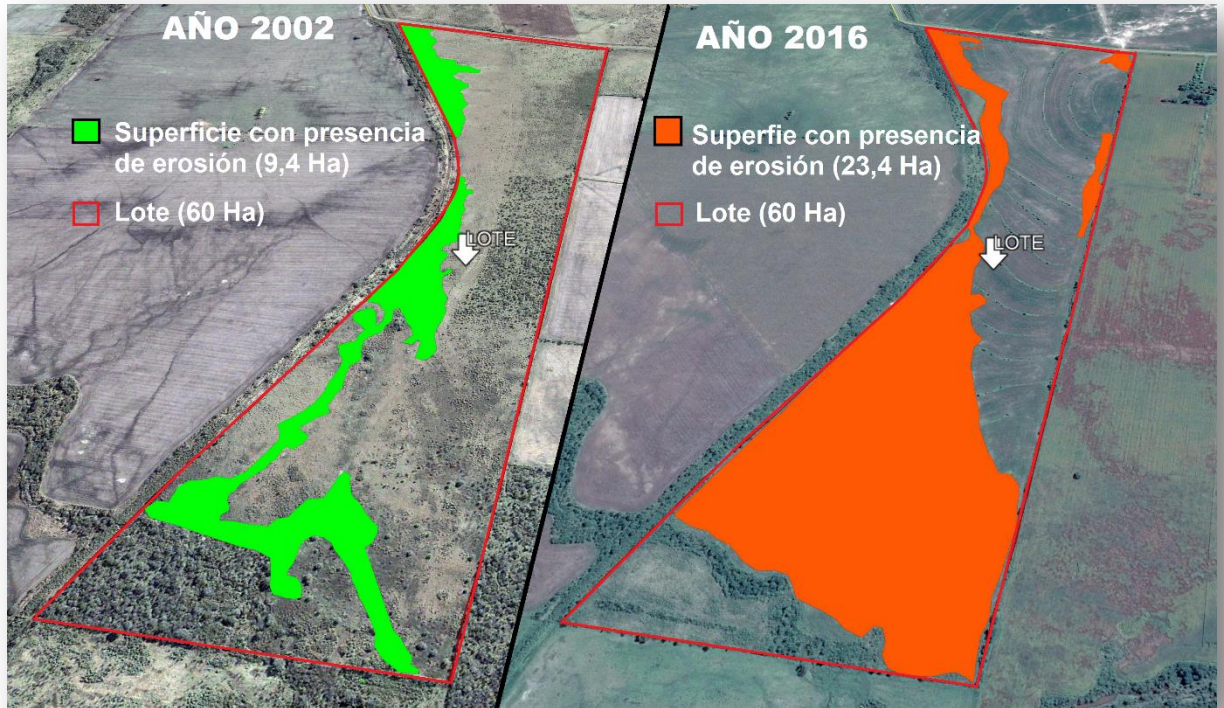


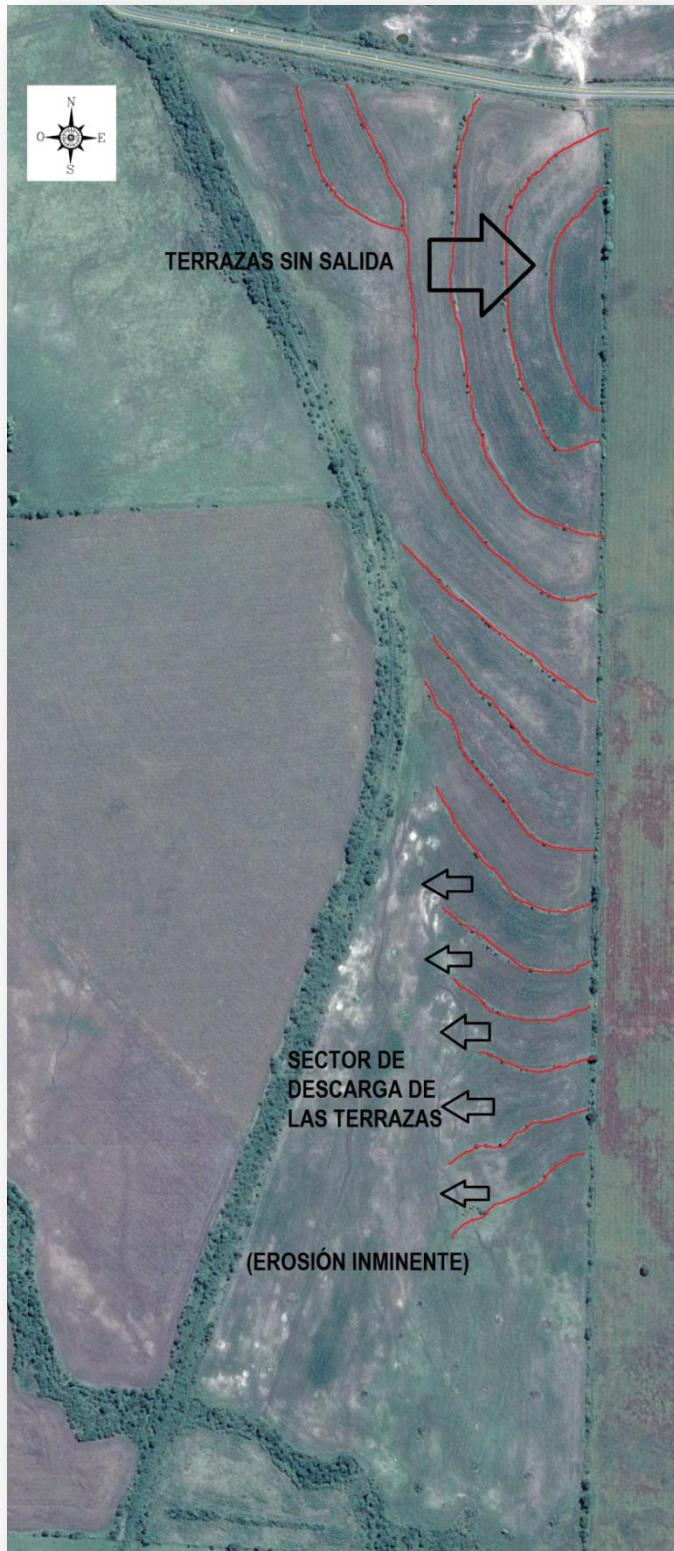
Imagen 35: erosión presente. Año 2002 y 2016.

Gráficamente notamos que la erosión creció en gran proporción luego de haber realizado un cambio de uso del suelo. Numéricamente corroboramos que la misma ascendió un 250% aproximadamente, abarcando un 35% de la superficie total del lote.

Esto se debe a que se quitó la cobertura natural que poseía dicho espacio, con el objetivo de alcanzar mayores superficies cultivables para obtener una mayor remuneración económica. Si bien se han aplicado técnicas de conservación, es decir terrazas, las mismas no han cumplido de manera correcta su función. Es por esto que la superficie erosionada es mucho mayor en el año 2016 que en el año 2002.

### 5.2.3. Análisis de las terrazas construidas en la parcela de trabajo

Entre el año 2010 y 2012, se crearon terrazas de base angosta. Analizando las mismas, encontramos grandes falencias en cuanto a su diseño. A continuación se expresan y se muestra una imagen esquemática:



- Algunas de las terrazas construidas no poseen ningún tipo de desagüe. Esto produce que al acumularse agua en los sectores más bajos, las mismas se rompan.

- Cantidad en exceso. No hemos encontrado justificación para la cantidad de terrazas, teniendo en cuenta la pendiente y el tipo de suelo existente. Esto genera pérdida económica y de tiempo para el propietario al construirlas.

- Las terrazas ubicadas en el sector Sur del lote, fueron construidas abarcando solo la mitad del lote (en sentido Este-Oeste) de manera tal que el agua que las mismas transportan la depositan sobre el sector Oeste. Esto ocasionó, como se vio en imágenes anteriores, una erosión mucho mayor en dicho sector.

Imagen 36: Terrazas construidas anteriormente.  
Barboza – Guzmán – Lodigiani

### 5.3. Planificación y ejecución del relevamiento planialtimétrico in situ.

En base a un análisis previo de la zona de trabajo, a partir de fotografías aéreas y de un recorrido por el lugar, planificamos la metodología y el instrumental a utilizar para llevar a cabo el relevamiento.

#### 5.3.1. Instrumental utilizado, precisiones y errores.

El instrumental que utilizamos fue el siguiente:

- Equipo GPS Trimble R6, compuesto por un receptor base y móvil.
- Equipo de radio, compatible con el equipo nombrado, para poder realizar las mediciones con el método RTK.
- Controladora Slate (Con Software TBC 2.98).
- Cinta métrica.
- Trípode.
- Base autonivelante.
- Bastón



*Imagen 37: instrumental utilizado.*

Las precisiones que brinda el equipo dentro de sus especificaciones técnicas, según el método de medición que se utilice, son las siguientes:

- Método estático de alta precisión:
  - ✓ Horizontal:  $\pm(3 \text{ mm} + 0.1 \text{ ppm})$
  - ✓ Vertical:  $\pm(3.5 \text{ mm} + 0.4 \text{ ppm})$
- Método estático rápido o Stop and Go:
  - ✓ Horizontal:  $\pm(3 \text{ mm} + 0.5 \text{ ppm})$
  - ✓ Vertical:  $\pm(5 \text{ mm} + 0.5 \text{ ppm})$

De acuerdo al equipo utilizado, las mediciones poseen un error en el vector de posicionamiento relativo, compuesto por un error altimétrico y un error planimétrico. Los mismos se calculan de la siguiente manera:

- Error vertical:  $\varepsilon_{\text{VERTICAL}} = (1 \text{ cm} + 1 \text{ p.p.m})$
- Error horizontal:  $\varepsilon_{\text{HORIZONTAL}} = (0.5 \text{ cm} + 1 \text{ p.p.m})$

En base a que las distancias máximas entre el receptor base y móvil, durante el relevamiento, no superan los 2 kilómetros, y debido a que no se tienen en cuenta los errores por esfericidad y refracción (despreciables), resultan de la siguiente manera:

- $\varepsilon_{\text{VERTICAL}} = 1.2 \text{ cm}$
- $\varepsilon_{\text{HORIZONTAL}} = 0.7 \text{ cm}$

### 5.3.2. Metodología de trabajo

Los métodos de medición aplicados según las diferentes características del terreno y los objetivos deseados, fueron tres. Los mismos se detallan a continuación diferenciados por etapas:

#### 5.3.2.1. Primer etapa: Método Cinemático

Para las zonas de suelo firme, donde se podía transitar libremente con un vehículo 4x4, decidimos utilizar el método cinemático, ya que el mismo nos permite agilizar las tareas de relevamiento. A partir de una imagen georreferenciada creamos guías de recorrido, las cuales debíamos transitar durante la medición, de forma tal que se cubra toda la superficie del terreno deseada. Si bien dentro de la zona relevada en esta primer etapa existían detalles que no podían ser relevados con dicho método, fueron relevados en la etapa siguiente para lograr una mejor representación a posteriori de la zona de trabajo.

#### 5.3.2.2. Segunda etapa: Método Stop and Go

En dicha etapa relevamos todo el remanente de la zona de trabajo, es decir lo que no pudo ser medido en la primer etapa mediante el método Cinemático. Para trabajar de forma ordenada, al igual que en la etapa anterior, se creó una cuadrícula que sirvió como guía a la hora de realizar la medición. Dicha cuadrícula nos permitía llevar un control preciso de las zonas relevadas sin dejar espacios descubiertos.

Cabe destacar que además de los puntos de la cuadrícula, se tomaron todos aquellos puntos relevantes que demarcaban el terreno, junto con hechos antrópicos existentes como ser alambrados, por ejemplo.

### 5.3.2.3. Tercer etapa: Método Estático

En tercer lugar decidimos vincular altimetricamente el relevamiento realizado, vinculándolo con un punto fijo del IGN ubicado en la Localidad de Maciá. Dicha vinculación se realizó midiendo el punto fijo denominado PF30n(91)D (perteneciente a la red de precisión del IGN, levantamiento realizado en 1997) a través del método ESTÁTICO para obtener una mejor precisión.



*Imagen 38: punto fijo PF30n(91)D.*

En la sección anexos se adjunta la monografía del punto fijo PF30n(91)D

#### 5.4. Procesamiento en gabinete de los datos obtenidos

##### 5.4.1. Bajada de datos y procesamiento

En primer lugar se descargaron los archivos almacenados en la estación utilizada como base para su posterior procesamiento.

En segundo lugar se descargaron los archivos RINEX, pertenecientes a la Estación Permanente (E.P) Guleguay (GGUA), que provee el instituto geográfico nacional (IGN) a través de su página web en forma gratuita. Dichos archivos contienen los datos, en archivos agrupados cada dos horas, del funcionamiento de la estación permanente solicitada. Dicha estación fue seleccionada por cercanía a la zona de trabajo.

Para realizar la descarga de los RINEX detallados anteriormente, utilizamos los horarios universales de inicio y finalización del relevamiento realizado.

Como el horario local de inicio del relevamiento fueron las 10:00 horas, de fecha 13/06/2017, el horario universal respectivo eran las 13:00 horas. Como horario de finalización, para la misma fecha, el horario local fueron las 19:00 horas, siendo las 22:00 horas el horario universal respectivo.

Posteriormente se procesaron los datos de la E.P Guleguay (GGUA) y luego teniendo los archivos necesarios para el procesamiento, se procedió a correlacionarlos por medio del programa propio de Trimble ("Trimble Business Center"), el cual automáticamente descomprime los datos obtenidos del IGN, es decir los RINEX, y los relaciona con los tomados en campo, es decir el relevamiento realizado. Este programa admite la creación de un vector que une la estación base de nuestro trabajo a la estación permanente elegida, siempre y cuando haya coincidencia de tiempos, es decir que se hayan cargado los archivos en el mismo periodo de trabajo.

A continuación se configuraron los parámetros necesarios para darle coordenadas a nuestro punto base a partir de nuestra E.P, es decir GGUA.

Al finalizar el procesamiento, el programa proporciona las coordenadas de nuestra estación base de trabajo, relacionadas a la E.P. Los datos obtenidos fueron los siguientes:

| <b>Coordenada</b> | <b>Coord. procesada respecto a E. P. GGUA [m]</b> | <b>Coord. de la Estación Base sin procesamiento [m]</b> |
|-------------------|---|---|
| <b>E</b>          | 5558191.452                                       | 5558191.510   |
| <b>N</b>          | 6429470.628                                       | 6429469.821   |
| <b>h</b>          | 70.363  | 70.824  |

Imagen 39: Coordenada estación base procesada según EP GGUA

Luego se realizó el mismo procedimiento utilizando la Estación Permanente de Rosario (UNRO), para corroborar que los resultados sean correctos. A continuación se muestran los mismos:

| <b>Coordenada</b> | <b>Coord. procesada respecto a E. P. UNRO [m]</b> | <b>Coordenadas de la Estación Base sin procesamiento [m]</b> |
|-------------------|---|--|
| <b>E</b>          | 5558191.488                                       | 5558191.510  |
| <b>N</b>          | 6429470.612                                       | 6429469.821  |
| <b>h</b>          | 70.365  | 70.824   |

Imagen 40: Coordenada estación base procesada según EP UNRO.

Comparando los resultados obtenidos para cada una de las Estaciones Permanentes, notamos una diferencia despreciable dentro de las tolerancias requeridas para el trabajo en cuestión. La misma queda plasmada en la siguiente tabla:

| <b>Coord.</b> | <b>Coord. de la Estación Base sin proces. [m]</b> | <b>Coord. procesada respecto a E. P. UNRO [m]</b> | <b>Coord. procesada respecto a E.P (GGUA) [m]</b> | <b>Diferencia entre resultados de coord. Procesadas [m]</b> |
|---------------|---|---|---|---|
| <b>E</b>      | 5558191.510                                       | 5558191.488                                       | 5558191.452                                       | 0.036   |
| <b>N</b>      | 6429469.821                                       | 6429470.612                                       | 6429470.628                                       | 0.016   |
| <b>h</b>      | 70.824  | 70.365  | 70.363  | 0.002   |

Imagen 41: comparación coordenada estación base procesada según EP UNRO y EP GGUA.

De esta manera, podemos decir que los datos obtenidos con la E.P GGUA son correctos y por lo tanto son los que utilizaremos como coordenadas corregidas de la estación base de nuestro relevamiento.

| <b>Coordenada</b> | <b>Coord. procesada Estación Base [m]</b> |
|-------------------|---|
| <b>E</b>          | 5558191.452                               |
| <b>N</b>          | 6429470.628                               |
| <b>h</b>          | 70.363                                    |

Imagen 42: resultado final coordenada estación base procesada.

Continuando con el análisis de los datos, teniendo las coordenadas a utilizar de la estación base, es decir las coordenadas corregidas, debemos ajustar la de todos los puntos relevados. Con el mismo software que se procesaron los datos anteriores, se cargaron los puntos de ambos días de campaña y se crearon automáticamente vectores desde el punto base a los puntos tomados.

Posteriormente, teniendo esto en pantalla, se modificaron manualmente las coordenadas de la estación base por las obtenidas desde la Estación Permanente GGUA y automáticamente se reformulan los vectores de posición de los puntos en campaña, dejando los mismos también corregidos.

Para corroborar que la corrección haya sido correcta sobre todos los puntos del relevamiento, realizamos el siguiente control:

1. En primer lugar se compararon las coordenadas de la estación base corregidas con las coordenadas crudas del relevamiento de dicho punto, y de esta manera se obtuvieron las siguientes diferencias:

|            |          |
|------------|----------|
| $\Delta E$ | -0.058 m |
| $\Delta N$ | 0.807 m  |
| $\Delta h$ | -0.461 m |

Imagen 43: diferencia entre coordenadas estación base crudas y procesadas.

2. En segundo lugar se tomaron dos puntos al azar, de dos extremos opuestos del relevamiento, y se anotaron sus coordenadas crudas, es decir sin corrección alguna. Luego se compararon dichas coordenadas con la de los mismos puntos corregidos. Teóricamente la diferencia entre las coordenadas corregidas con la de los datos crudos debía ser la misma que las diferencias obtenidas en el punto 1. A continuación se muestra una tabla que corrobora lo que debía suceder teóricamente:

|                  |          | Coordenadas de Estación Base Cruda | Coordenadas de Estación Base Cruda Corregida | Diferencia |
|------------------|----------|------------------------------------|--|------------|
| <b>Punto 24</b>  | <b>E</b> | 5558246.075 m                      | 5558246.017 m                                | -0.058 m   |
|                  | <b>N</b> | 6428575.781 m                      | 6428576.589 m                                | 0.807 m    |
|                  | <b>h</b> | 57.299 m                           | 56.838 m                                     | -0.461 m   |
| <b>Punto 153</b> | <b>E</b> | 5557681.763 m                      | 5557681.705 m                                | -0.058 m   |
|                  | <b>N</b> | 6430350.269 m                      | 6430351.076 m                                | 0.807 m    |
|                  | <b>h</b> | 66.694 m                           | 66.233 m                                     | -0.461 m   |

Imagen 44: corroboración del ajuste realizado al procesar los puntos.

#### 5.4.2. Procesamiento de la cota

Debido a que se realizó durante el relevamiento la medición de un punto fijo perteneciente a la red de precisión del IGN, denominado con el nombre PF30n(91)D (Ver monografía en anexos), decidimos corregir la cota de todo el relevamiento en base a éste.

El punto fijo PF30n(91)D, ubicado a las afueras de la localidad de Maciá, fue medido en modo estático para obtener una mejor precisión (detallado en el punto 5.2.3).

Para ajustar la coordenada “h”, es decir la altura, de todo el relevamiento en base a dicho punto, se prosiguió de la siguiente manera:

- En primer lugar calculamos la diferencia existente entre la cota del punto ya procesado del relevamiento con la cota que figura en la monografía del IGN.
- En segundo lugar, aplicamos dicha diferencia sobre el punto base del relevamiento para que de esta manera se ajusten todos los puntos del mismo.

Dicha corrección puede realizarse de esta manera a partir de la siguiente justificación:

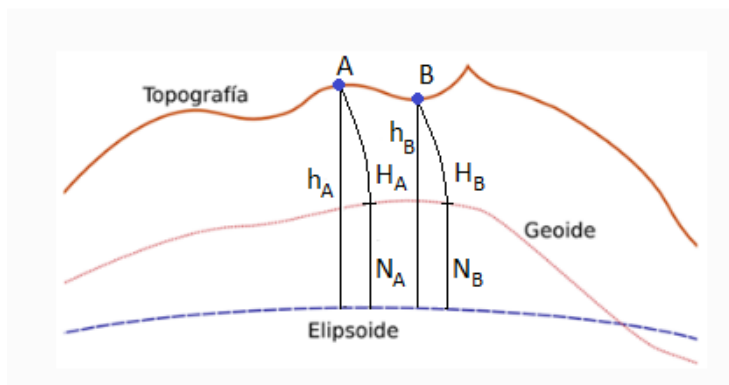


Imagen 45: alturas referidas al geoide y al elipsoide

Como se observa en la imagen N° 45:  $N = h - H$

Por lo tanto:

$$h_A = H_A + N_A$$

$$h_B = H_B + N_B$$

Entonces:

$$\Delta h_{A-B} = (H_B - H_A) - (N_B - N_A)$$

Como la distancia entre A y B es muy pequeña, y las superficies del Geoide y el Elipsoide son casi paralelas, la ondulación geoidal (N) se puede despreciar, resultando:

$$\Delta h_{A-B} = (H_B - H_A)$$

$$\Delta h_{A-B} = \Delta H_{A-B}$$

### 5.4.3. Manipulación de datos a través del Software AutoCAD Civil 3D

#### 5.4.3.1. Nube de puntos

A partir de los resultados obtenidos de procesar los datos del relevamiento efectuado, creamos un archivo Excel con los mismos. Por consiguiente, exportamos dicho archivo al Software AutoCAD Civil 3D para comenzar a trabajar sobre ellos.

Visualizando la nube de puntos creada, constatamos que la densificación planeada se obtuvo con éxito, es decir que no quedaron espacios considerables dentro del lote de estudio sin relevar.

Además de lo dicho anteriormente, realizamos un filtrado. Eliminamos puntos duplicados o puntos que pudiesen generar inconvenientes a la hora de concluir el paso siguiente, la creación del Modelo Digital del Terreno (MDT).

En la LÁMINA 1, de la sección ANEXOS, se puede ver lo expuesto.

#### 5.4.3.2. Curvas de nivel y perfiles significativos

A partir de la nube de puntos, utilizando el Software descripto, creamos una superficie y de esta manera obtuvimos las curvas de nivel.

También se pudieron extraer perfiles longitudinales y transversales de los sectores que consideramos de mayor relevancia.

En la LÁMINA 2, de la sección ANEXOS, se puede ver lo expuesto.

#### 5.4.3.3. Mapa de elevaciones

Con motivo de exponer de manera sencilla el comportamiento del terreno en la zona de estudio, decidimos crear un mapa de elevaciones.

El mismo nos muestra toda la superficie, dividida en diez sectores, con un color característico cada uno. Cada sector está determinado por un intervalo de 2 metros, comenzando desde la cota mínima de todo el relevamiento, hasta llegar a la cota máxima.

De esta manera se simplifica la interpretación visual y se determina fácilmente las zonas de mayor altitud y las zonas bajas.

En la LÁMINA 3, de la sección ANEXOS, se puede ver lo expuesto.

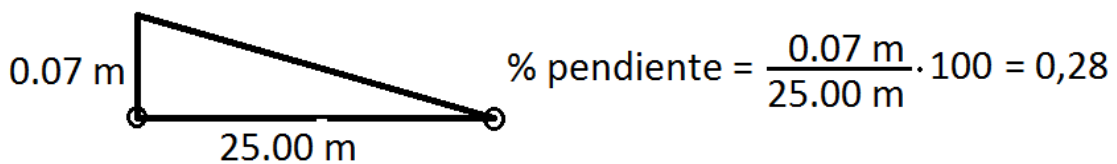
#### 5.4.3.4. Diseño de terrazas: solución erosión hídrica

En base a la problemática existente, objeto del trabajo en cuestión, estudiamos de forma minuciosa y detallada, en conjunto con el Ingeniero Agrónomo Jorge Postma, las posibles soluciones. De allí surge la idea de crear terrazas que permitan frenar dicha erosión.

El diseño de las mismas se elaboró teniendo en cuenta algunos aspectos fundamentales como:

- Pendiente del terreno en cada sector
- Tipo de suelo predominante
- Prácticas de manejo de suelo
- Promedio de lluvias anuales
- Consejos brindados por profesionales con experiencia en el rubro

La creación se llevó a cabo trabajando sobre el MDT creado a partir de la nube de puntos, y las terrazas resultantes se trazaron marcando puntos cada 25 metros con 0,07 metros de desnivel entre cada uno de ellos. Es decir que las terrazas tengan una pendiente de 0,28%.



*Imagen 46: esquema de la determinación del % de la pendiente.*

El espaciamiento entre las mismas, debido a la complejidad del terreno, es irregular. Varía en cada sector de acuerdo a la pendiente. Se trató de que la pérdida de suelo esté dentro de la tolerancia establecida, es decir 2 t/ha/a. (t/ha/a: tonelada por hectárea por año).

En la LÁMINA 4, de la sección ANEXOS, se puede ver lo expuesto.

#### 5.4.4. Aplicación INTA USLE/RUSLE: Pérdida de suelo

A partir del uso de la aplicación INTA USLE/RUSLE se realizó el cálculo de la pérdida de suelo promediando las diferentes pérdidas encontradas en otros sectores del lote en cuestión.

Los diferentes valores de los factores que conforman la EUPS se seleccionaron dentro de la aplicación de acuerdo a las características ya estudiadas del lote.

A continuación se muestra una imagen, obtenida de capturas de pantallas, que muestran cómo se utilizó dicha aplicación:

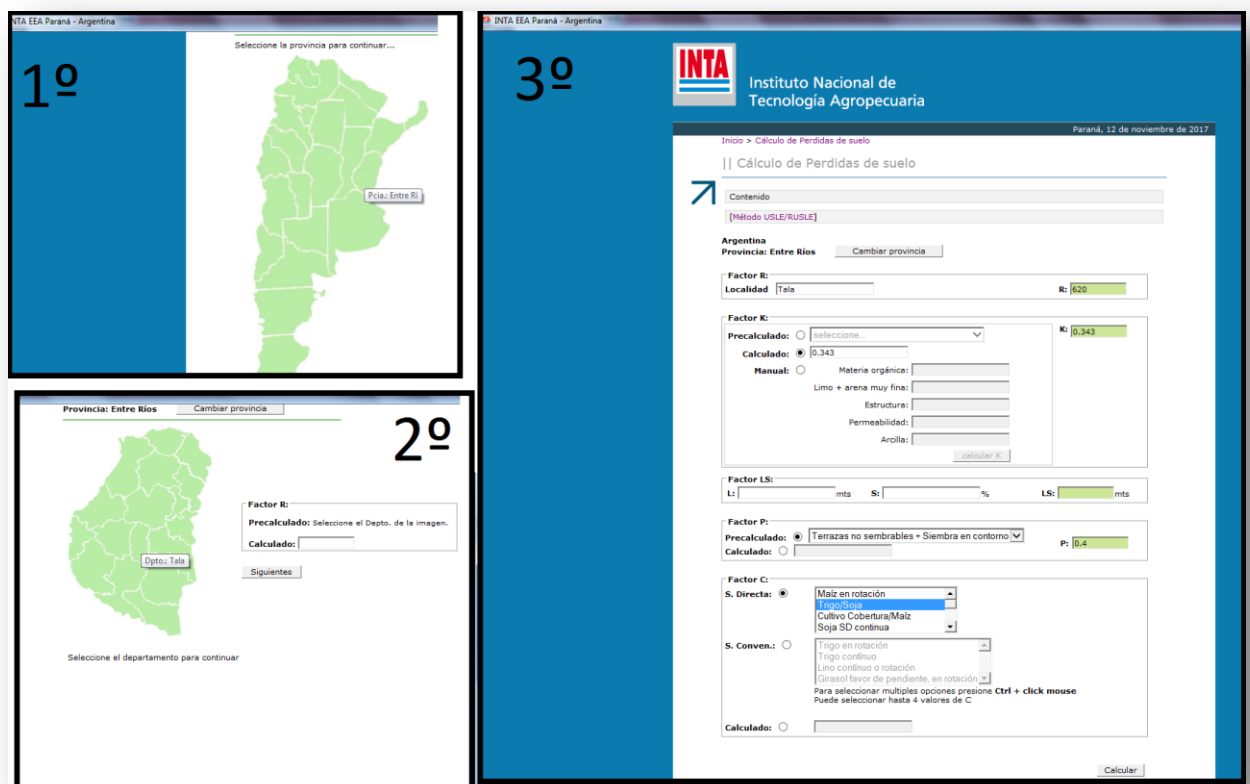


Imagen 47: Aplicación INTA USLE/RUSLE.

En primer lugar se debe seleccionar la Provincia en la que se encuentra el lote en cuestión, como se puede ver en el cuadro N° 1. Posteriormente, seleccionamos el Departamento dentro de la Provincia. De esta manera se obtiene ya el valor del factor R, como se observa en el cuadro N° 2. (Ver EUPS, apartado 4.3.4).

Continuando con el procedimiento, debemos ingresar los factores que nos solicita:

- Factor K: se puede seleccionar uno según zonas aledañas o ingresar uno precalculado.
- Factor LS: se ingresa la longitud y la pendiente y automáticamente nos devuelve el valor del factor buscado.
- Factor P: seleccionando una opción nos devuelve el valor o se puede ingresar uno precalculado.
- Factor C: dependiendo del tipo de cultivo, seleccionándolo, obtenemos el valor de dicho factor.

Ingresados todos los factores, damos clic en “calcular”, y nos devuelve el resultado deseado, es decir la pérdida de suelo por tonelada por hectárea por año.

|                            |            |                     |
|----------------------------|------------|---------------------|
| <b>Factor R:</b>           | 620        |                     |
| <b>Factor K:</b>           | 0.343      |                     |
| <b>Factor LS:</b>          | 0.36       |                     |
| <b>Factor P:</b>           | 0.4        |                     |
| <b>Rotación:</b>           | Trigo/Soja |                     |
| <b>Factor C:</b>           | 0.0393     | <b>Adimensional</b> |
| <b>Erosión anual est.:</b> | 1.2        | <b>Tn/ha/año</b>    |
| <b>Perdida prom.:</b>      | 1.2        | <b>Tn/ha/año</b>    |

Imagen 48: resultados obtenidos con aplicación INTA USLE/RUSLE.

Los cálculos realizados con dicha aplicación se encuentran explyados en la tabla de la imagen nº 49 (página 74).

#### 5.4.4.1. Análisis de pérdida de suelo sin terrazas

Utilizando la aplicación antes detallada, calculamos la pérdida de suelo sobre el lote de trabajo sin tener en consideración las terrazas existentes.

La siguiente imagen muestra de forma esquemática la ubicación de las líneas utilizadas como referencia para el cálculo. Además se muestra una tabla que proporciona los resultados y un promedio de la pérdida total anual por ha.

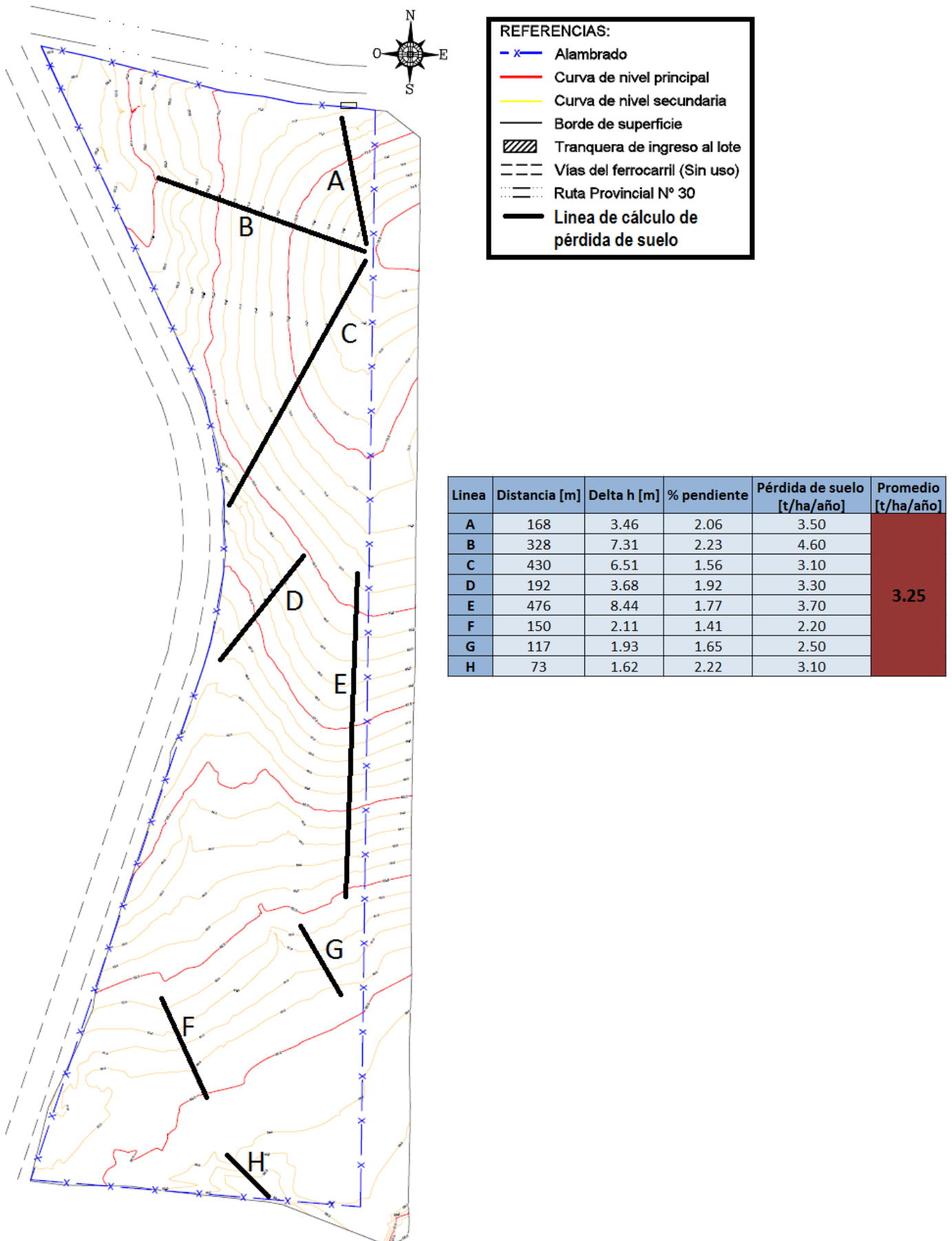


Imagen 49: Cálculo pérdida de suelo sobre lote de trabajo.

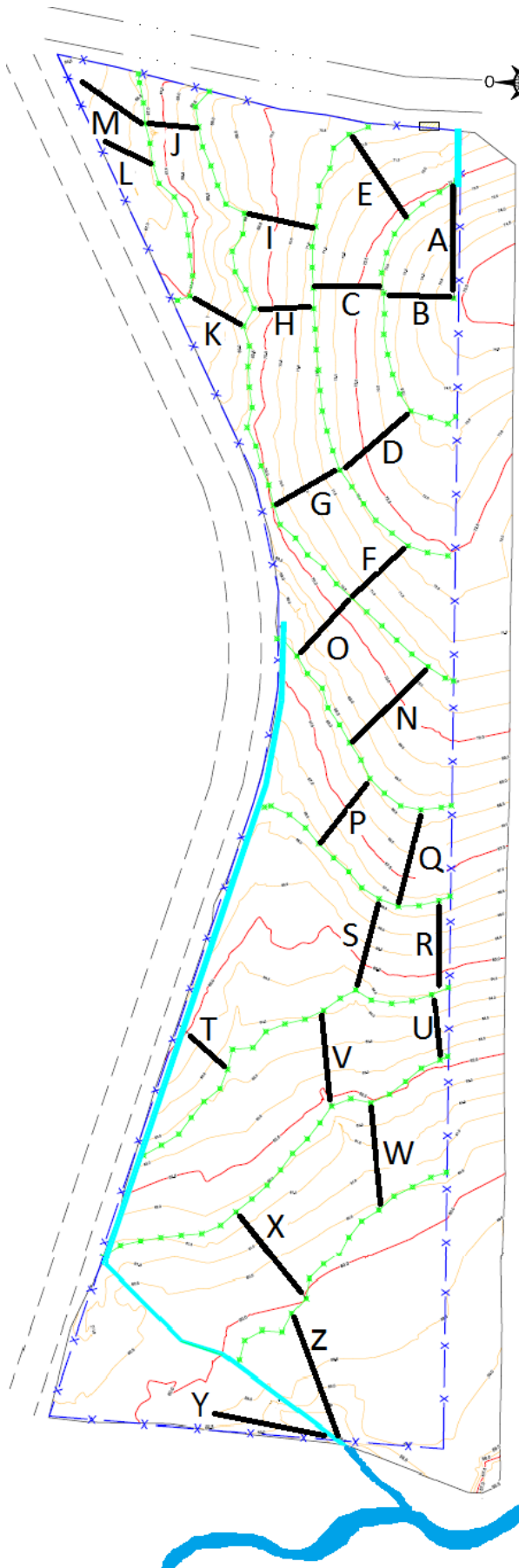
Como conclusión de la imagen expuesta anteriormente, y el resultado del cálculo de la pérdida de suelo, notamos como éste supera la tolerancia admisible, es decir 2 tn/ha/año.

Por dicha razón, percibimos la necesidad de la creación de terrazas para frenar dicha erosión, como un método alternativo.

#### 5.4.4.2. Análisis de pérdida de suelo con terrazas

Posteriormente, llevamos a cabo el cálculo de la pérdida de suelo considerando las terrazas diseñadas, con el fin de reducir la pérdida de suelo y disminuir la erosión existente.

A continuación, a partir de una imagen esquemática, se muestra como se realizó el cálculo y los resultados obtenidos.



**REFERENCIAS:**

- x — Alambrado
- Curva de nivel principal
- Curva de nivel secundaria
- Borde de superficie
- Tranquera de ingreso al lote
- Vías del ferrocarril (Sin uso)
- Ruta Provincial N° 30
- Terrazas
- Canal de desagüe
- Línea de cálculo de pérdida de suelo
- Arroyo grande

| Línea | Distancia [m] | Delta h [m] | % pendiente | Pérdida de suelo [t/ha/año] | Promedio [t/ha/año] |
|-------|---------------|-------------|-------------|-----------------------------|---------------------|
| A     | 143           | 2.32        | 1.63        | 1.00                        | 1.14                |
| B     | 85            | 1.79        | 2.10        | 1.20                        |                     |
| C     | 85            | 1.81        | 2.13        | 1.20                        |                     |
| D     | 111           | 1.61        | 1.45        | 0.90                        |                     |
| E     | 122           | 2.03        | 1.66        | 1.00                        |                     |
| F     | 93            | 1.75        | 1.88        | 1.20                        |                     |
| G     | 91            | 1.82        | 2.00        | 1.20                        |                     |
| H     | 73            | 2.06        | 2.82        | 1.60                        |                     |
| I     | 87            | 2.10        | 2.41        | 1.40                        |                     |
| J     | 65            | 1.68        | 2.59        | 1.40                        |                     |
| K     | 76            | 1.82        | 2.40        | 1.40                        |                     |
| L     | 66            | 0.89        | 1.36        | 0.70                        |                     |
| M     | 92            | 1.12        | 1.21        | 0.70                        |                     |
| N     | 132           | 2.45        | 1.85        | 1.20                        |                     |
| O     | 97            | 2.48        | 2.52        | 1.50                        |                     |
| P     | 100           | 2.16        | 2.16        | 1.30                        |                     |
| Q     | 120           | 2.03        | 1.70        | 1.00                        |                     |
| R     | 105           | 2.24        | 2.13        | 1.30                        |                     |
| S     | 109           | 2.44        | 2.24        | 1.40                        |                     |
| T     | 82            | 1.70        | 2.08        | 1.20                        |                     |
| U     | 80            | 1.75        | 2.19        | 1.20                        |                     |
| V     | 116           | 1.75        | 1.51        | 1.00                        |                     |
| W     | 130           | 2.03        | 1.56        | 1.00                        |                     |
| X     | 137           | 1.82        | 1.33        | 0.80                        |                     |
| Y     | 145           | 1.56        | 1.07        | 0.90                        |                     |
| Z     | 161           | 2.04        | 1.26        | 0.80                        |                     |

Imagen 50: Cálculo pérdida de suelo sobre lote de trabajo con terrazas.

Como era de esperar, el cálculo teórico luego de diseñar las terrazas necesarias, arroja resultados favorables. La pérdida de suelo se redujo de forma notoria y se encuentra dentro de la tolerancia admisible. Además se recomienda realizar siembra en contorno, logrando que dicha práctica trabaje en conjunto con la solución planteada.

Cabe destacar que las distancias existentes entre las terrazas, calculadas teóricamente, pueden variar de acuerdo a distintos factores a considerar. Se debe tener en cuenta las necesidades del productor de acuerdo a la maquinaria (tractores, sembradoras, cosechadoras, fumigadoras, rastras, monotolbas, arados, discos, enrolladoras, etc.) que el mismo posea para realizar las tareas de siembra y cosecha, de tal manera que se optimicen los tiempos y se reduzcan los costos.

De esta manera culminamos con el objetivo que se propuso desde un principio.

## 6. Conclusiones

En base al objetivo planteado, es decir, solucionar los problemas de erosión hídrica presentes en la parcela de trabajo, llegamos a la conclusión de que para lograrlo se necesita cumplir distintas etapas.

Dichas etapas constan de un análisis previo del sector de trabajo, un reconocimiento profundo del entorno, tareas de campo y tareas de gabinete para procesar los datos y realizar los cálculos necesarios.

Además es de gran importancia refrescar todo tipo de conceptos teóricos adquiridos a lo largo de la carrera, con el fin de poder utilizar todas las herramientas disponibles para consumir el objetivo planteado desde diferentes puntos de vista.

Con respecto al desarrollo del trabajo en sí, obtuvimos diferentes conclusiones generales, a partir de la experiencia llevada a cabo:

- Se debe tener en cuenta el factor climático a la hora de programar los días de campaña, ya que el mismo puede jugar un papel muy importante a la hora de estimar los tiempos de trabajo y la metodología.
- La metodología de trabajo y su programación, debe estar acompañada necesariamente de un reconocimiento previo del lugar, ya que este es un factor condicionante de la misma.
- Los conceptos teóricos no siempre pueden ser aplicados tal y como se describen, sino que deben ser adaptados a cada caso en particular. Es por ello que nos formamos durante toda la carrera como profesionales, para adquirir un criterio, y poder resolver diferentes cuestiones que se presenten.
- La construcción de terrazas no es la única solución a la erosión hídrica, sino que también hay otras formas de disminuirla: cultivos cortando la pendiente, cultivos en contorno, etc.
- Existen diferentes maneras de construir terrazas para una parcela en particular, dependiendo de la predisposición del propietario, la disponibilidad de herramientas para su construcción, el tiempo, etc.
- La utilización de distintos software de cálculo son una herramienta necesaria e indispensable, permitiendo estos reducir tiempos agilizando el trabajo de gabinete.

Realizando un análisis particular, acerca de la situación de la parcela de trabajo, podemos decir que la misma requiere indefectiblemente de la aplicación de alguna técnica para evitar el avance de los procesos erosivos. Sus pendientes pronunciadas, superiores al 2% en algunos sectores, y el tipo de suelo que existe en el lugar, son factores condicionantes que provocan dichos procesos. Creemos aconsejable realizar un aproteramiento, dividiendo la parcela en dos sectores, discriminando la parte de mayor pendiente con la de menor pendiente, y trabajarlos de manera diferente.

La aplicación de terrazas de desagüe de base angosta, como se planteó en el desarrollo del trabajo final, logran (teóricamente) disminuir la erosión, siempre y cuando se realicen los mantenimientos necesarios.

Un punto clave a destacar es la ubicación de los canales de desagüe. Si bien los mismos pueden localizarse en diferentes sectores de la parcela, su ubicación se plantea de forma tal que genere el menor daño posible y su construcción requiera costos considerables. Es importante remarcar que siempre se debe tener en cuenta que no afecte a sectores linderos y que su mantenimiento es de vital importancia.

Al mismo tiempo queremos remarcar que un trabajo que no se realiza teniendo en cuenta todos los aspectos descriptos, es un trabajo incompleto, y esto puede generar serios inconvenientes. A nuestro criterio creemos que esto es lo que sucedió en la parcela de trabajo durante la última década. El desmonte inminente, aparejado de la necesidad de intensificar la agricultura y un mal diseño de terrazas (cuyo objetivo era evitar o disminuir la erosión) lograron acrecentar los procesos erosivos.

Además, debemos ser conscientes que el profesional de la Agrimensura solo forma parte de un equipo de trabajo, en el cual pueden residir Ingenieros Agrónomos, Ingenieros Hidráulicos, etc. En este caso en particular, el trabajo a la par junto con un ingeniero agrónomo es trascendental, ya que los conocimientos de ambos profesionales servirán para concretar de manera exitosa el objetivo planteado.

Culminando con lo expuesto, queremos recalcar la gran experiencia que nos brindó realizar este trabajo, ya sea desde el punto de vista profesional hasta en el aspecto de cómo organizarnos y trabajar integrados como grupo.

## 7. Bibliografía

- ✓ Páginas web:
  - [www.inta.gov.ar](http://www.inta.gov.ar) - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).
  - [www.ign.com.ar](http://www.ign.com.ar) - Instituto Geográfico Nacional (IGN).
  
- ✓ Apuntes proporcionados por distintas cátedras:
  - Lauría, E., 2015. “Sistemas de Referencia”. Cátedra: Geodesia II.
  - Lauría, E., 2015. “Observables”. Cátedra: Geodesia II.
  - Lauría, E., 2015. “Métodos de observación”. Cátedra: Geodesia II.
  - Marelli, Hugo Juan; Edgardo Weir; Alfredo Lattanzi; Raúl Díaz; 1985 – “Técnicas de Conservación de Suelos – INTA E.E.A. MANFREDI”. Catedra: Estudios y Trazados Especiales I.
  
- ✓ Libros:
  - “Erosión hídrica: Principios y técnicas de manejo” - Autores: Cisneros, José Manuel; Cholaky, Carmen Gloria; Cantero Gutierrez, Alberto; Gonzalez, Jorge Gustavo; Reynero, Miguel Angel; Diez, Alejandro; Bergesio, Leonardo – 2012
  - Zonas AgroEconómicas Homogéneas, Entre Ríos - Autores: Ing. Agr. Patricia Engler; Ing. Agr. Mabel Rodríguez ; Tec. Ricardo Cancio; Ing. Agr. Marta Handloser; CPN Luis María Vera – 2008
  - “Manual de sistematización de Tierras para control de erosión hídrica y aguas superficiales excedentes” (Segunda edición corregida y aumentada). – Autores: Geólogo Edigio S. Scotta; Ing. Agr. Luis A. Nani; Estad. Alvaro A. Conde; Prof. Alicia C. de Rojas; Ing. Agr. Horacio Castañeira; Ing. Agr. Osvaldo Paparotti.
  - “GPS. Posicionamiento Satelital” – Autores: Eduardo Huerta, Aldo Mangiaterra y Gustavo Noguera – Año 2005.

## **TOMO II**

### **8. Anexos**

- Anexo 1: Mapa de Suelos de la Provincia de Entre Ríos.
- Anexo 2: Carta Topográfica Maciá - Prov. de Entre Ríos - Hoja 3360-5-3.
- Anexo 3: Monografía Punto Fijo denominado PF30n(91)D - Red de Precisión IGN
- Anexo 4: Lámina 1 – Nube de puntos y cárcavas.
- Anexo 5: Lámina 2 – Curvas de nivel y perfiles significativos.
- Anexo 6: Lámina 3 – Mapa de elevaciones.
- Anexo 7: Lámina 4 – Diseño de terrazas: Solución erosión hídrica.