

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA Y TURISMO

TESIS DE LICENCIATURA EN GEOGRAFIA

“Problemáticas de erosión hídrica asociada a la red
hidrográfica en la cuenca alta del arroyo Pantanoso,
partido de Coronel Suárez”

Autor: Jorge Osvaldo Gentili

Dra. Alicia María Campo
Directora

Lic. Verónica Gil
Co-Directora

Bahía Blanca
2007

Agradecimientos

- A la Dr. Alicia Campo, por su confianza, contribuciones y palabras de apoyo en los momentos oportunos.
- A la Lic. Verónica Gil, por su constante disposición y aporte de ideas.
- A los Ing. Agrónomos E. Campi (EEA INTA Bordenave), E. de Sa Pereira (INTA Coronel Suarez).
- A los encargados de las estancias Curamalal, El Pantanoso y Sauce Corto.
- A mis amigos y compañeros por su colaboración de alguna u otra forma.
- Especialmente a mi familia, quien mucho tuvo que ver en el alcance de este objetivo....

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
I. ESTUDIOS PRECEDENTES SOBRE LA EROSIÓN HÍDRICA	3
II. MARCO TEÓRICO	5
II.1 El método USLE como alternativa para la cuantificación de la erosión Hídrica	5
II.2 Consideraciones para la correcta interpretación de los resultados proporcionados por la USLE	8
III. HIPÓTESIS, OBJETIVOS, MÉTODOS Y MATERIALES	9
III.1 Hipótesis y objetivos	9
III.2 Métodos y materiales	9
IV. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	12
IV. 1 Caracterización climática e hidrográfica de la cuenca	15
IV.1.1 El Balance Hídrico	16
IV.1.2 Red de drenaje: Formas, dimensiones y morfometría	18
V. ANÁLISIS DE LOS FACTORES DESENCADENANTES DE LA EROSIÓN HÍDRICA	24
V.1 Erosividad de las precipitaciones	24
V.2 Susceptibilidad del suelo a ser erosionado	24
V.3 Factor Topográfico	30
V.3.1 Longitud e intensidad de la pendiente	30
V.3.2 Análisis conjunto: Factor LS	31
VI. EVALUACIÓN DEL RIESGO DE EROSIÓN HÍDRICA POTENCIAL	34
VII. MEDIDAS PARA MITIGAR EL PROBLEMA	38
VIII. CONSIDERACIONES FINALES	40
BIBLIOGRAFÍA	42
ANEXO	
Campañas	44

INDICE DE FIGURAS, TABLAS Y FOTOGRAFÍAS

Figura 1. Esquema metodológico.	11
Figura 2. Localización del área de estudio.	12
Figura 3. Diagrama ombrotérmico para la Ea. Sauce Corto (1994 – 2005).	14
Figura 4. Balance hídrico para la Ea. Sauce Corto (1994 – 2005).	16
Tabla 1. Ficha hídrica para la Estancia Sauce Corto.	17
Fotografía 1. Profundidad del cauce.	18
Tabla 2. Parámetros morfométricos de la cuenca alta del arroyo Pantanoso.	19
Figura 5. Jerarquización de la cuenca.	19
Figura 6. Relación $u - N_u$.	20
Fotografía 2. Vestigios que evidencian la altura alcanzada por las aguas.	21
Fotografía 3. Residuos testigos de la altura alcanzada por las aguas.	22
Figura 7. Relación $u - L_u$.	23
Tabla 3. Unidades Cartográficas existentes en el área de estudio.	26
Figura 8. Unidades cartográficas existentes en el área de estudio.	27
Tabla 4. Principales características de la series de suelos que conforman las unidades cartográficas.	28
Tabla 5. Propiedades de las series de suelo consideradas en el cálculo del factor k.	29
Figura 9. Grado de erosionabilidad de los suelos de la cuenca.	29
Figura 10. Mapa de intensidad de la pendiente.	31
Figura 11. Mapa del factor topográfico (LS).	32
Figura 12. Áreas de alto riesgo de erosión hídrica potencial del suelo.	35
Fotografía 4. Cultivo en curvas de nivel en un área de alto riesgo de erosión hídrica potencial.	36

INTRODUCCIÓN

El proceso de erosión hídrica, afecta, con grados diversos de intensidad, a un número importante de tierras en distintas partes del planeta. Según datos proporcionados por la FAO, el territorio argentino tiene 25.000.000 de hectáreas afectadas por dichos procesos con diferentes intensidades. El 62% de esas tierras, es decir 15.382.000 de hectáreas, presentan erosión hídrica moderada, mientras que en el resto los problemas son graves.

“La redistribución y pérdida del suelo, la degradación de su estructura y el arrastre de materia orgánica y nutrientes” son los efectos de la erosión hídrica del suelo en el lugar que esta ocurre y *“llevan a la pérdida de espesor del perfil cultural y el descenso de la fertilidad”* (Morgan, 1996:21).

Los factores que intervienen en la compleja interacción que da lugar a los procesos erosivos son principalmente el clima, el suelo, el relieve, la vegetación y la acción antrópica. Cada uno de éstos determina una serie de efectos sobre la erosión a través de sus distintas dimensiones: potencial erosivo de la lluvia, erosionabilidad del suelo, longitud de pendiente, grado de pendiente, cobertura vegetal y prácticas de conservación, entre otros.

El área bajo estudio presenta, según FAO, un riesgo de erosión hídrica de ligero a moderado. En ella se verifica la coexistencia de una topografía accidentada, con desarrollo de pendientes pronunciadas y los procesos hidro-climáticos asociados, junto a una actividad humana representada fundamentalmente por las prácticas agrícola-ganaderas, que definen a ésta como susceptible de ser afectada por procesos de erosión hídrica.

El área de estudio se localiza en una región húmeda. Esta situación favorece la existencia de vegetación que actúa como protección del suelo ante los procesos de erosión por salpicadura. Sin embargo, la existencia de un exceso hídrico supone la posibilidad de un incremento en la erosión del suelo por escorrentía superficial.

En virtud de tales antecedentes, resulta de interés el conocimiento de la distribución y grado de erosión hídrica potencial en el área. El abordaje de esta problemática tiene como punto de partida la desagregación de los factores intervinientes, a los fines de caracterizarlos, interpretarlos y determinar clases con similar susceptibilidad a sufrir los efectos del proceso, con el fin último de asignarle a cada una de esas clases una serie de medidas tendientes al control del problema.

I. ESTUDIOS PRECEDENTES SOBRE LA EROSION HÍDRICA

La erosión hídrica del suelo es una problemática ambiental que ha sido objeto de estudio desde distintas perspectivas dada la importancia del mismo como base necesaria para la agricultura. Dentro del territorio argentino, distintas instituciones e investigadores han realizado estudios a diversas escalas referidos a la erosión utilizando, entre otras, el método USLE, incorporando en tiempos más recientes el uso de los Sistemas de Información Geográfica.

La FAO realizó un estudio de la erosión hídrica en la cuenca del Plata, cuantificando la pérdida de sedimentos en t/ha/año a partir de la estimación del valor de los factores físicos enunciados en el método USLE. Sobre la base de ese mismo indicador, diferenció áreas para las que propone distintas formas de manejo a fin de lograr su conservación y/o recuperación.

Por su parte, el INTA ha puesto en práctica este método, aunque con algunas modificaciones en la definición de sus parámetros constitutivos, en tierras de la provincia de Entre Ríos. Además, contribuyó con la elaboración de un mapa de isoerodentas de las zonas Noreste y Centro-Este del país a fin de lograr aproximaciones del factor R ante la ausencia de fajas pluviográficas.

En la provincia de Santa Cruz, Díaz (2006) implementó el método USLE, utilizando SIG, en la cuenca del Río de las Vueltas. Como valor de erosividad de las precipitaciones, utilizó el Índice Modificado de Fournier, frecuentemente tomado en los trabajos españoles, mientras que el factor de prácticas de conservación no fue considerado dada la ausencia de prácticas agrícolas en el área.

En la cuenca del arroyo Rivera, tributario del arroyo Sauce Grande (provincia de Buenos Aires), Gaspari (2005), definió microcuencas en función del riesgo de erosión hídrica aplicando USLE y valiéndose de los SIG. En tres de las unidades obtenidas y según criterios de la FAO, los valores de riesgo de erosión hídrica potencial resultaron superiores a la tolerancia de pérdida de suelos.

Asimismo, relevamientos de suelos volcados en documentos cartográficos a distintas escalas, hacen referencia a riesgo e incluso a evidencias de existencia de erosión hídrica en determinadas unidades cartográficas presentes en el área de estudio. Al respecto, la documentación que acompaña a la carta de suelos Sierra de las Tunas a escala 1:50.000, destaca la evidencia de erosión hídrica en la unidad cartográfica RG4, consociación, compuesta por el 95% de la serie Rancho Grande.

II. MARCO TEÓRICO

II.1 El método USLE como alternativa para la cuantificación de la erosión hídrica

La necesidad de la conservación del recurso suelo llevó a la elaboración de métodos que permitan predecir la erosión. A partir de estos métodos se puede conocer la magnitud del proceso e identificar áreas con grados diversos de erosión.

El método USLE (*Universal Soil Loss Equation*) es un modelo empírico paramétrico diseñado por Wischmeier y Smith (1978) que permite cuantificar la erosión hídrica del suelo entre surcos y en surcos, a largo plazo. Porta *et al.* (1999:643) respecto del mismo, sostiene que es “*un modelo explicativo, [que] permite poner en evidencia la influencia de cada uno de los factores considerados, ya que resulta fácil de operar con ella para llegar a obtener un valor numérico, real o no, de las pérdidas potenciales de suelo*”.

Las variables incorporadas en el modelo corresponden a los principales factores físicos y humanos intervinientes en el proceso de erosión hídrica del suelo:

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

Donde:

A = Pérdida de suelo expresada en t/ha/año.

R = Índice anual de potencialidad erosiva de las lluvias.

K = Factor de la susceptibilidad a la erosión del suelo.

L = Factor longitud de la pendiente.

S = Factor gradiente de la pendiente.

C = Factor cobertura y manejo del cultivo.

P = Factor prácticas de control de erosión.

Factores Físicos

Factores Humanos

Como afirman Morgan (1996) y Porta *et al.* (1999), el método USLE plantea una pérdida de suelo teórica promedio a lo largo de varios años. La complejidad de evaluación del parámetro C de la ecuación, se incrementa en zonas de cultivo, requiriendo de un tratamiento más cuidadoso y exhaustivo. La consideración de una determinada cobertura no resulta representativa de una situación que varía a lo largo de los años, incluso anualmente. Por lo tanto surgirá un alejamiento de la realidad e incluso de una situación media. Para lograr una captación precisa de la dinámica del factor de cobertura debería obtenerse un valor medio de varios años, situación que excede el presente trabajo.

Asimismo, la consideración de una configuración específica de los parámetros intervinientes en el proceso de erosión hídrica estaría dando como resultado un reflejo estático de la situación actual. La omisión de los parámetros C y P, pone en evidencia las áreas que por procesos naturales son susceptibles de sufrir erosión, de modo tal que el productor tiene la posibilidad de contar con una herramienta de decisión para determinar el cultivo y las prácticas de conservación inherentes al mismo. Independientemente de las prácticas que pretenda implementar en el terreno, conoce con antelación los riesgos que esa área puede tener respecto de la erosión hídrica y las prácticas que puede implementar en respuesta a ello.

En virtud de lo expresado, el presente trabajo considera sólo los parámetros físicos incluidos en el método USLE, siguiendo para la definición de dichos parámetros la propuesta por Scotta y Paparotti (1989):

- Factor R: Índice que cuantifica la erosión la energía de las precipitaciones, expresado en tn m/ha/año.
- Factor K: Índice que expresa la erosionabilidad del suelo. El cálculo del parámetro incluye a la textura, estructura y contenido de materia orgánica del horizonte superficial y permeabilidad del perfil de suelo, debido a que la erosionabilidad del suelo está condicionada en un 98% por estos factores.

$$K = (10^{-4} * 2.71 * M^{1,14} * (12 - a) + 4,20 * (b - 2) + 3,23 * (c - 3)) / 100$$

Donde:

$$M = (100 - \% \text{ arcilla}) * [\%(\text{limo} + \text{arena muy fina})]$$

a: % de materia orgánica

b: estructura, según la siguiente codificación:

- 1, granular muy fina
- 2, granular fina
- 3, granular media a gruesa
- 4, bloques, laminar o masiva

c: permeabilidad, según la siguiente codificación:

- 1, rápida a muy rápida
- 2, medianamente rápida
- 3, moderada
- 4, moderada a lenta
- 5, lenta
- 6, muy lenta

Solo para suelos en los que la fracción limo más arena muy fina (2 a 100 micrones) no supera el 70%.

Si bien los factores longitud (L) y gradiente de la pendiente (S) son enunciados en la ecuación de manera separada, el cálculo de los mismos se realiza en conjunto, según las expresiones que se detallan a continuación.

- Factor LS: Es el índice topográfico que representa el efecto de la longitud y la intensidad de la pendiente sobre la erosión. Se obtiene a partir de las siguientes ecuaciones:

$$LS = L^m * (35,209 \text{ sen}^2 \theta + 2,4546 \text{ sen } \theta + 0,035)$$

Para pendientes menores de 1%; m = 0,2

$$LS = L^m * (25,832 \text{ sen}^2 \theta + 1,8009 \text{ sen } \theta + 0,0257)$$

Para pendientes entre 1 y 3%; m = 0,3

$$LS = L^m * (18,953 \text{ sen}^2 \theta + 1,3212 \text{ sen } \theta + 0,0188)$$

Para pendientes entre 3,5 y 4,5%; m = 0,4

$$LS = L^m * (13,905 \text{ sen}^2 \theta + 0,9694 \text{ sen } \theta + 0,0138)$$

Para pendientes de 5% y mayores; m = 0,5

Donde:

L: Longitud de la pendiente en metros

θ : Ángulo de la pendiente

II. 2 Consideraciones para la correcta interpretación de los resultados proporcionados por la USLE

En primera instancia, el modelo no puede ser empleado para la predicción de la erosión durante una tormenta en particular, sino que permite cuantificar una pérdida promedio anual (Morgan, 1996, Porta *et al.* 1999).

Por otra parte, la aplicación del método USLE cuantifica la pérdida obtenida a nivel de parcela, de modo que no permite hablar de pérdida a nivel de cuenca, dado que la salida de sedimentos de una parcela, no implica su salida del sistema, pudiendo quedar éstos depositados pendiente abajo por procesos de agradación (Diaz, 2005).

Por último, los resultados obtenidos por medio de la aplicación del método USLE refieren a procesos de erosión entre surcos y en surcos, no siendo tenidas en cuenta otras formas de movimiento de sedimentos como erosión en cárcavas y remoción en masa (Morgan, 1996, Porta *et al.* 1999).

III. HIPÓTESIS, OBJETIVOS, MÉTODOS Y MATERIALES

III.1 Hipótesis y objetivos

Hipótesis:

- Existen áreas de peligro de erosión hídrica asociadas a la red hidrográfica en la cuenca alta del arroyo Pantanoso. La identificación y reconocimiento de sus características contribuye a la aplicación de medidas para disminuir el proceso erosivo.

Objetivo General:

- Estudiar las problemáticas de erosión hídrica asociadas a la red hidrográfica en la cuenca alta del arroyo Pantanoso.

Objetivos específicos:

- Caracterizar los factores físicos que generan la erosión hídrica potencial en las cabeceras de la cuenca del arroyo Pantanoso.
- Analizar los procesos hidro-climáticos de la cuenca y las características morfométricas asociadas.
- Establecer áreas de peligro potencial a la erosión hídrica.

III.2 Métodos y materiales

En primera instancia, se procedió a la búsqueda, obtención, recuperación y lectura de información contenida en publicaciones científicas, textos, diarios y sitios de Internet. Este proceso estuvo dirigido tanto a información general del área de estudio, como a aquella específica de la temática a tratar.

Para poder determinar la disponibilidad de agua del sistema se confeccionó el balance hídrico (Thornthwaite y Mather, 1957). Los datos de origen, precipitación y temperatura, corresponden a la estancia Sauce Corto, situada aproximadamente 10 km al Norte de la salida de la cuenca analizada. El período considerado es 1994-2005.

La delimitación de la cuenca hidrográfica se realizó trazando la línea divisoria de aguas, según el criterio de crestas y vaguadas. El documento utilizado para tal fin, fue la carta topográfica del IGM Sierra de las Tunas a escala 1:50.000. El límite de la cuenca, la red de drenaje, las curvas de nivel, carreteras y otros elementos de interés fueron digitalizados en ARC View.

El análisis morfométrico, se realizó siguiendo el método de Strahler (1974) y Senciales Gonzalez (1999). Se jerarquizó la cuenca y se calcularon diferentes parámetros como: Relación de Bifurcación, Relación de longitud, Coeficiente de Almacenamiento y Densidad de Drenaje. Para la estimación del riesgo de erosión hídrica potencial del suelo, se utilizó el modelo paramétrico USLE (*Universal Soil Loss Equation*) considerando sólo los factores físicos del mismo.

La carta de suelos Sierras de las Tunas (I.N.T.A.) a escala 1:50.000 constituyó la base para identificar superficie, distribución en el espacio y contenido pedológico de las unidades cartográficas. A partir del informe que acompaña a la carta, se identificaron el tipo de unidad cartográfica (consociación, asociación, grupo no diferenciado, misceláneas) y las series de suelo que cada una de ellas contiene. Las propiedades físicas y químicas de cada uno de las series fueron usadas para confeccionar el mapa de erosionabilidad del suelo.

Se elaboró un MDT en entorno ARC View, a partir de las curvas de nivel previamente digitalizadas, del que derivó el mapa de gradientes de pendientes. A partir del cálculo de la función LS se elaboró un mapa de longitud-gradiente de la pendiente.

Para determinar las áreas de mayor riesgo de erosión hídrica potencial de los suelos, es necesario combinar las variables que intervienen en el proceso. Por tal motivo, para la

elaboración del mapa final se procedió, bajo entorno ARC View, a superponer los mapas temáticos de cada uno de los factores considerados previamente. Finalmente, se identificaron las zonas más susceptibles a sufrir las consecuencias del proceso y se indicó para ellas una serie de medidas tendientes a mitigar el problema (Fig. 1).

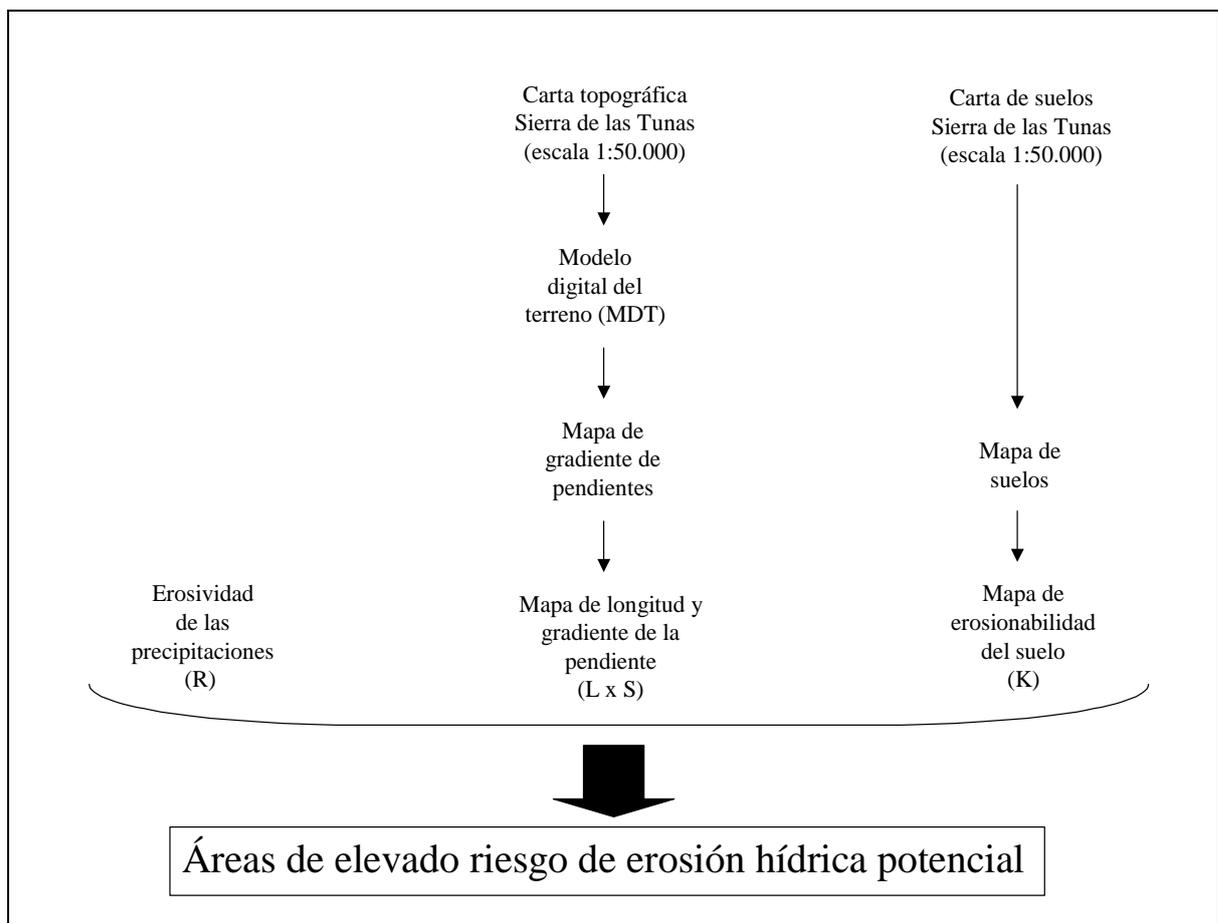


Figura 1. Esquema metodológico.

V. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio está ubicada en el Suroeste de la provincia de Buenos Aires, específicamente en el sector Sur del partido de Coronel Suárez. Es atravesada por la ruta provincial N° 76 que permite su conexión con las rutas provincial N° 72 y nacional N° 33 al Sur y Suroeste respectivamente y con la provincial N° 85 al Noreste (Fig. 2).

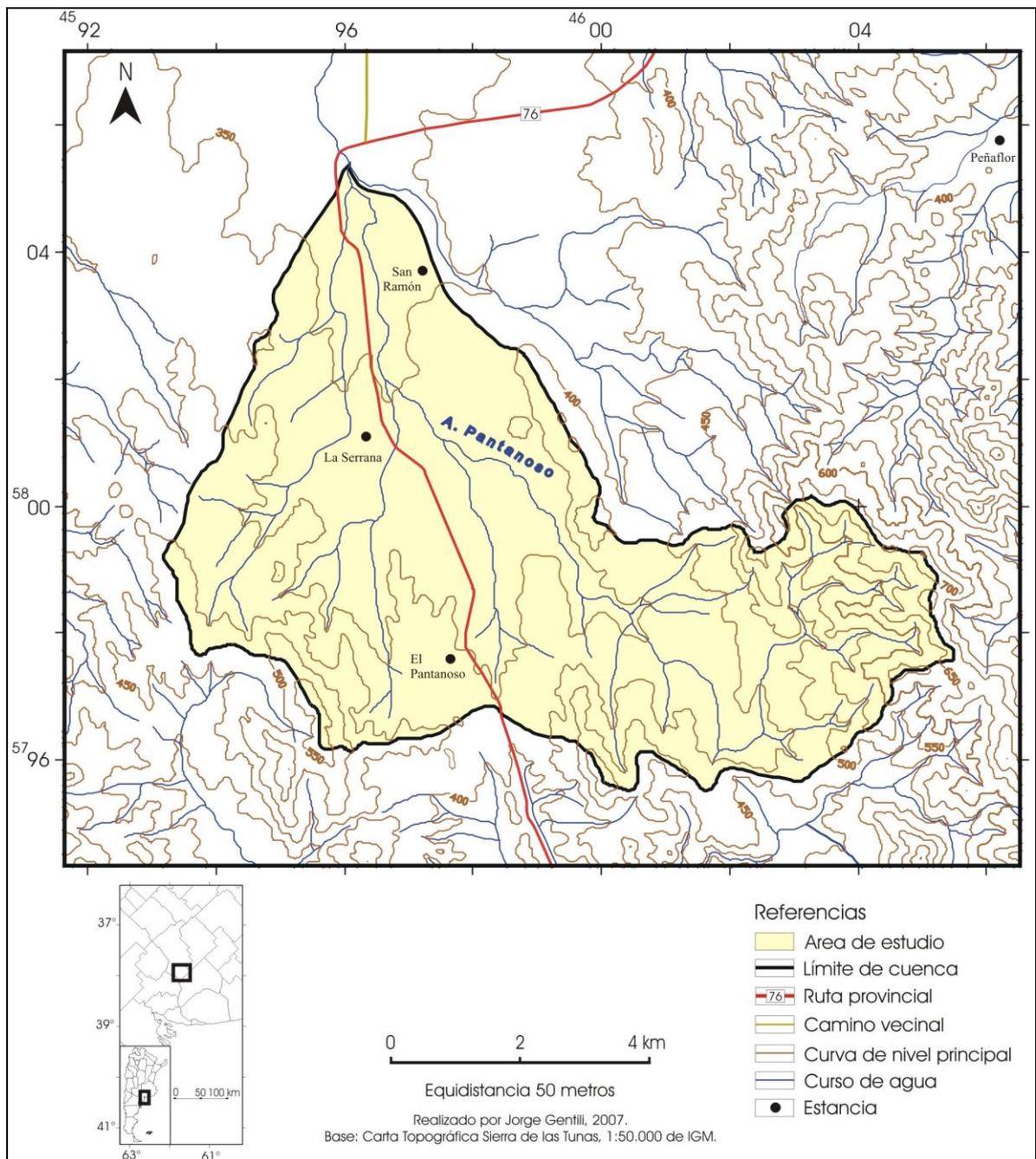


Figura 2. Localización del área de estudio.

La cuenca considerada abarca una superficie de 58 km². La red de drenaje tiene sus nacientes en las partes altas de los faldeos nororientales de las Sierras de la Ventana y noroccidentales de las Sierras de las Tunas y tributa sus aguas al arroyo Sauce Corto, las que drenan hacia la depresión del arroyo Vallimanca.

El Sistema de Ventana constituye un grupo de elevaciones que sobresalen de la llanura pampeana. Su eje mayor, con sentido Noroeste-Sureste, tiene aproximadamente 175 km, mientras que su ancho máximo es de 50 km. Diferencias morfológicas, estratigráficas y tectónicas permiten distinguir entre los cordones occidentales y orientales. Las Sierras de Puan, Curamalal, Bravard y Ventana constituyen el grupo occidental, mientras que las Sierras de las Tunas y Pillahuinco forman la porción oriental del sistema.

Las sierras del grupo oriental, constituyen una zona montuosa considerablemente ancha, de múltiples cumbres, con cierta alineación en fajas aproximadamente paralelas, de rumbo Nornoroeste-Sursureste. Las cumbres son suaves y redondeadas y alcanzan sus máximas elevaciones en los cerros de las Bagualas (700 msnm), de las Mañeras (720 msnm), Tres Picos de las Tunas (720 msnm) y La Tigra (730 msnm).

Según Harrington (1947), en el área serrana, las unidades estratigráficas por las que discurren las aguas del arroyo Pantanoso son Paleozoicas. El grupo litológico Lolen, perteneciente a la Serie de Ventana (único representante del Paleozoico inferior), está compuesto de areniscas micáceas esquistosas, intercaladas por bancos de filitas y pizarras. Sobre éste reposan en pseudoconcordancia las capas basales del Sistema de Pillahuinco, constituidas en su totalidad por sedimentos del Paleozoico superior. Estos sedimentos se caracterizan por un potente grupo de conglomerados en su base. Las series estratigráficas que componen el Sistema de Pillahuinco, son desde abajo hacia arriba, Sauce Grande, Piedra Azul, Bonete y Tunas.

Sedimentos del Cenozoico superior (Pleistoceno) conforman la zona extraserrana y los largos valles longitudinales que penetran en la zona montañosa, alcanzando alturas considerables trepando por los faldeos de los cerros.

Las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires presentan una estructura de plegamiento. La tectónica imprime diferencias entre los cordones del grupo occidental y oriental. Mientras los primeros se encuentran fuertemente plegados, hacia el sector oriental los plegamientos disminuyen de intensidad muy rápidamente y ya en el borde occidental de las Sierras de las Tunas y de Pillahuinco, los estratos de la serie de Sauce Grande apenas si están plegados en grandes y suaves ondulaciones, que por último, desaparecen casi por completo (Harrington, 1947).

El clima de la región según Campo de Ferreras *et al.* (2004) es templado, con veranos e inviernos bien marcados y primaveras y otoños moderados. Son frecuentes los valores extremos que superan los 40° C en la estación cálida y marcadas olas de frío en los inviernos. Las temperaturas medias oscilan entre 20,6° C y 22° C para los meses más calurosos y entre 6° C y 7° C para los más fríos. El período libre de heladas es de 160 días.

La precipitación media anual en el área de la cuenca para el período 1994-2005, es de 926,75 mm. El registro evidencia máximos en otoño y primavera y mínimos en invierno (Fig. 3), así como una acentuada variación interanual, hecho que determina la alternancia de períodos húmedos y secos característicos en la región pampeana.

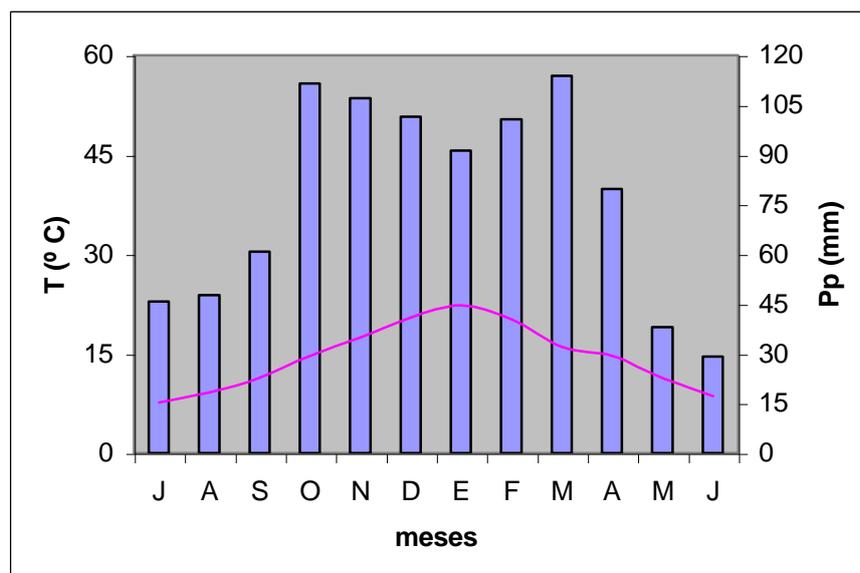


Figura 3. Diagrama ombrotérmico para la Ea. Sauce Corto (1994 – 2005).

Según el Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires del INTA (1989) el área está caracterizada por suelos que clasifican bajo el orden de los Molisoles, cuyo material originario es una delgada capa de loess, a partir de la cual se produjo la edafización, sin ninguna alteración de las rocas subyacentes. A nivel taxonómico de Gran Grupo se identifican Argiudoles y Hapludoles típicos en fases somera y muy somera y Hapludoles líticos, en el área serrana, mientras que en los valles interserranos aparecen Argiudoles y Hapludoles típicos en fase inclinada.

Cabrera (1971) clasifica a la vegetación existente en el área, dentro del Distrito Austral de la Provincia Fitogeográfica Pampeana. Domina la estepa de gramíneas, formada por grandes matas del género *Stipa*. Existen varias comunidades que pueden considerarse climácicas, siendo la más común la estepa de flechillas. Se encuentran también comunidades edáficas y endemismos. En los cauces de los arroyos se pudieron identificar ejemplares de hinojo (*Foeniculum vulgare*) y cicuta (*Conium maculatum*).

Existen en la región estancias, cuya actividad está relacionada principalmente a la agricultura y la ganadería. Los cultivos más importantes son la soja, el maíz y el trigo, destacándose también un establecimiento que se dedica al cultivo y producción de especies aromáticas.

IV. 1 Caracterización climática e hidrográfica de la cuenca

La importancia del conocimiento de la distribución a lo largo del año de las precipitaciones y la temperatura que imperan en el ambiente sobre el que se desarrolla la cuenca, radica en la influencia que éstas tienen sobre el escurrimiento y los regímenes fluviales (Bruniard, 1992). Así, siendo el agua que escurre superficialmente un importante agente de erosión, la elaboración del Balance Hídrico con el fin de identificar la existencia y distribución de excesos, constituye un aporte para la interpretación cabal del proceso de erosión hídrica.

IV.1.1 Balance Hídrico

El balance hídrico fue calculado a partir de datos medios mensuales de precipitación y temperatura obtenidos en la Estancia Sauce Corto, correspondientes al período 1994-2005 (Tabla 1). El mismo evidencia un exceso total de 151,52 mm, cantidad de agua disponible para el escurrimiento, que tiene lugar entre los meses de abril y noviembre, en correspondencia con el régimen de precipitaciones que presenta sus máximos en otoño y primavera.

A partir del mes de diciembre y hasta febrero el monto de las precipitaciones no alcanza para cubrir las necesidades de agua del sistema, por lo cual se utilizan 63,34 mm de las reservas existentes en el suelo. El descenso paulatino de la temperatura entre los meses de febrero y abril, en concordancia con la permanencia de elevados registros de precipitaciones, permiten que el sistema ingrese en la fase de recarga (Fig. 4).

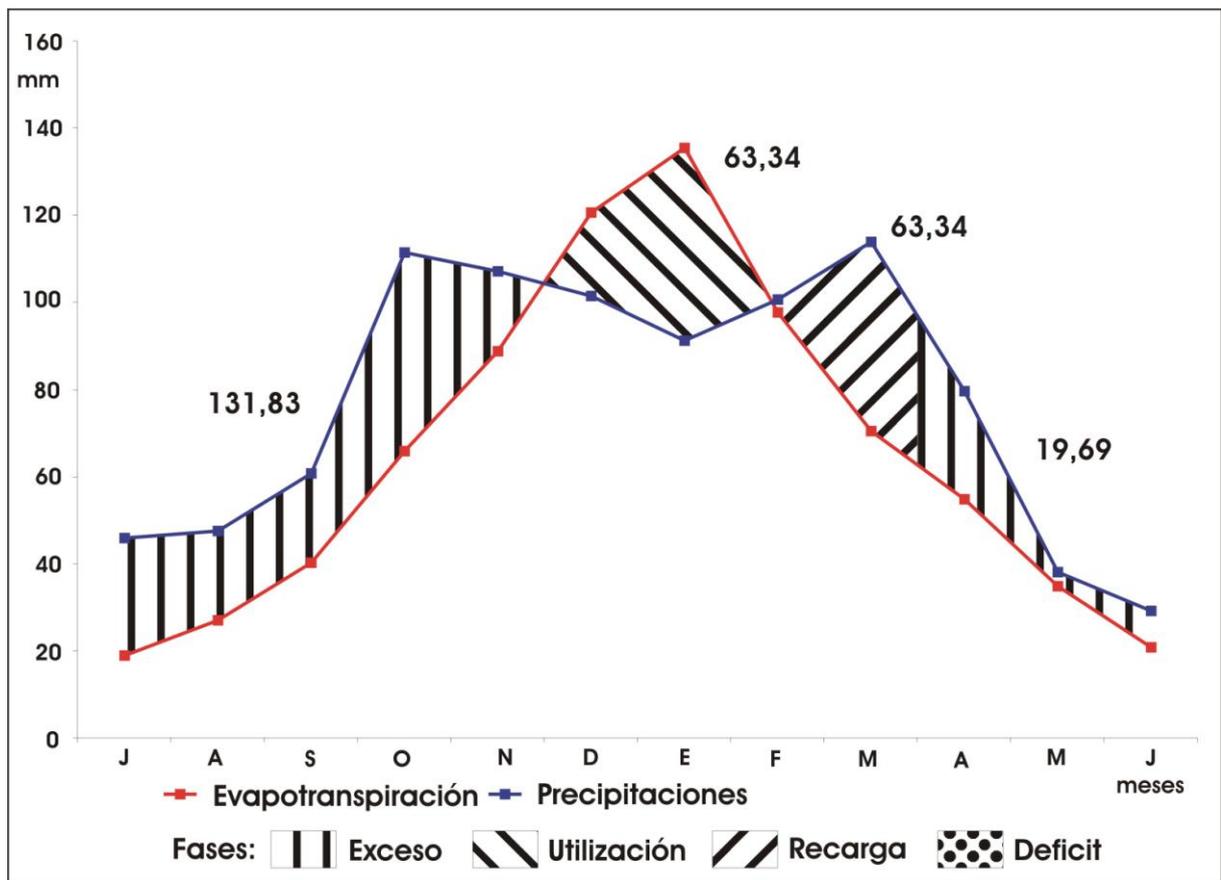


Figura 4. Balance Hídrico para la Ea. Sauce Corto (1994 – 2005).

ESTACION: Ea. Sauce Corto

LATITUD: 37°

PERIODO: 1994 – 2005

	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
Temperatura	22,33	20,15	16,06	14,69	11,31	8,55	7,61	9,19	11,43	14,63	17,47	20,42	14,49
Indice Calórico	9,44	8,09	5,76	5,04	3,40	2,24	1,88	2,49	3,46	5,01	6,53	8,25	61,57
Evp s/ajust	108,41	93,07	66,45	58,21	39,47	26,05	21,91	29,00	40,10	57,85	75,29	94,93	
Evp ajustada	135,51	97,72	70,43	54,71	34,74	20,84	18,85	26,97	40,10	65,95	88,85	120,56	775,23
Precipitación	91,25	100,75	113,75	79,67	38,08	29,21	45,75	47,58	60,75	111,42	107,04	101,50	926,75
Var. Almacenaje	44,26	-3,03	-43,32	-16,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,06	0,00
Almacenaje	36,68	39,71	83,02	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	80,94	
Evr	135,51	97,72	70,43	54,71	34,74	20,84	18,85	26,97	40,10	65,95	88,85	120,56	775,23
Déficit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Exceso	0,00	0,00	0,00	7,98	3,34	8,37	26,90	20,61	20,65	45,47	18,19	0,00	151,52
*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	I.ARIDEZ: 0			I.HUMEDAD: 19,54				I.HÍDRICO: 19,54					
*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****

Tabla 1. Ficha hídrica para la Estancia Sauce Corto.

V.1.2 Red de drenaje: Formas, dimensiones y morfometría

El área de la cuenca bajo estudio es de 58,29 km², siendo su perímetro de 39,98 km. La textura de drenaje, según Howard (citado por Senciales Gonzalez, 1999), presenta un diseño subdendrítico, con alguna evidencia de control estructural determinado por diferencias litológicas y un importante control topográfico en los tramos rectos de los arroyos al discurrir por las valles longitudinales.

Por otra parte, la disposición de los cursos difiere entre la parte alta y baja de la cuenca. En la zona de nacientes, los cursos tienden a ser rectos, situación que se ve modificada cuando éstos salen del área serrana donde se tornan divagantes. En la llanura discurren encajados, encontrándose el fondo de sus canales, a profundidades superiores a los 2 metros (Fotografía 1).



Fotografía 1. Profundidad del cauce.

La morfometría fluvial es definida por Strahler (1974:522) como “la medida de las propiedades geométricas de la superficie sólida de un sistema de erosión fluvial”. Así, el análisis morfométrico constituye una herramienta para valorar el estado erosivo y el comportamiento hidrológico de una cuenca.

La jerarquización de la cuenca permitió establecer que su orden es 4 (Fig. 5), al tiempo que constituyó la base a partir de la cual se calcularon los parámetros morfométricos (Tabla 2).

	Orden				Media	Total
	1	2	3	4		
Area (km ²)	-	-	-	-	-	58,29
N _u	36	11	3	1	-	51
L (km)	30,24	15,95	20,29	3,84	-	70,31
L _u Media (km)	0,84	1,45	6,76	3,84	-	-
R _b	3,27	3,66	3	-	3,31	-
R _l (km)	-	1,72	4,66	0,56	2,31	-
Coefficiente de Almacenamiento	-	-	-	-	-	0,697
Coefficiente de Torrencialidad	-	-	-	-	-	0,617
Frecuencia de Drenaje (cursos/km ²)	-	-	-	-	-	0,87
Densidad de Drenaje (km/km ²)	-	-	-	-	-	1,206

Tabla 2. Parámetros morfométricos de la cuenca alta del arroyo Pantanoso.

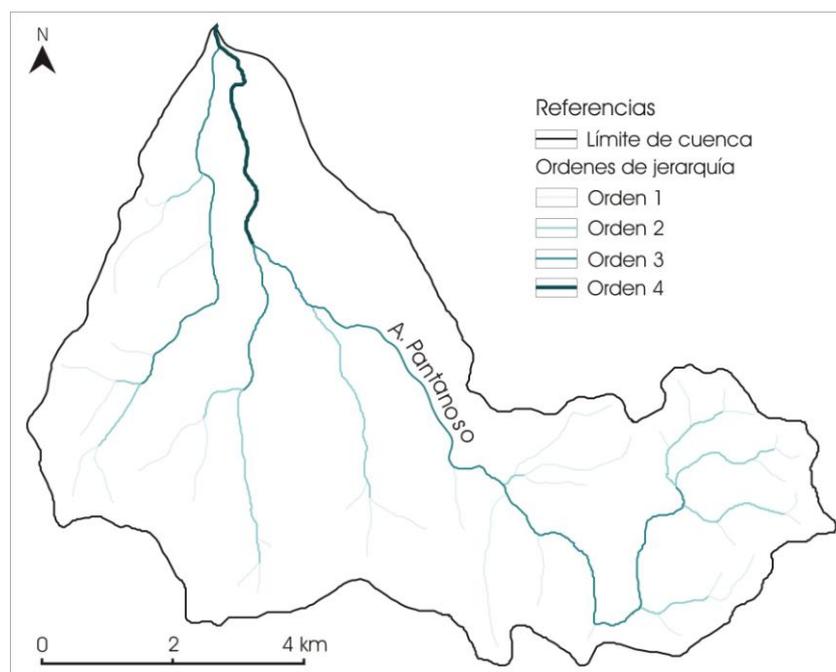


Figura 5. Jerarquización de la cuenca. Elaboración propia en base a carta topográfica Sierras de las Tunas 1:50.000 (IGM) utilizando ARC View.

Por Relación de Bifurcación se entiende la proporción existente entre el número de segmentos de un orden dado y los del orden inmediato superior. El valor medio obtenido para la cuenca alta del arroyo Pantanoso es de 3,31 manteniéndose entre los valores 3 y 5 citados por Strahler (1974) como característicos de los sistemas fluviales. Senciales González (1999) afirma que valores de R_b comprendidos entre esos mismos límites corresponden a áreas de montaña con escasa dependencia estructural, situación verificada en la cuenca.

En la figura 6 se puede observar que los valores de N_u obtenidos para la cuenca, se encuentran casi alineados con la recta exponencial negativa $u - N_u$, ajustándose la 1^{ra} Ley de Horton (“Ley del número de cauces: El número de segmentos de órdenes sucesivamente inferiores de una cuenca dada tiende a formar una progresión geométrica que comienza con el único segmento de orden más elevado y crece según una relación constante de bifurcación”) (Strahler, 1974:525).

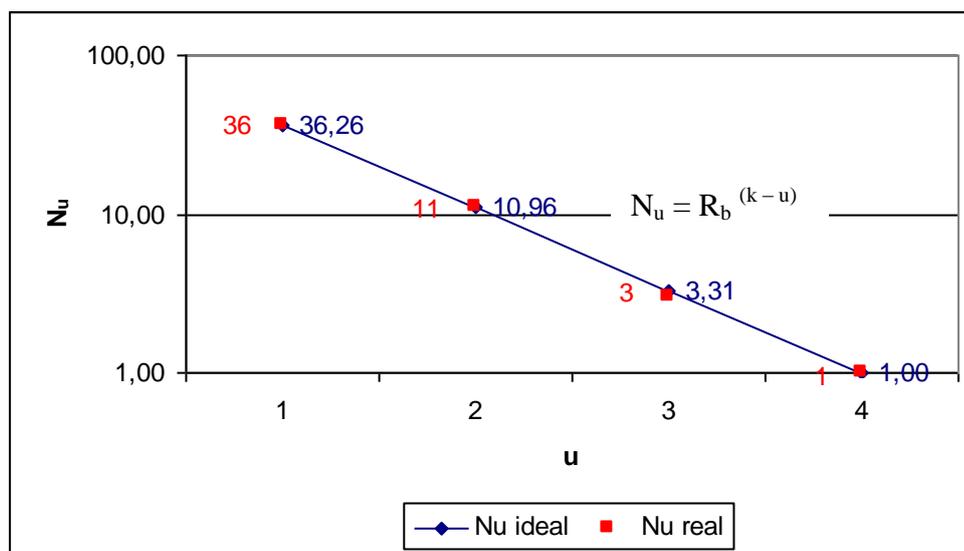


Figura 6. Relación $u - N_u$.

Las pequeñas desviaciones, evidenciadas a partir de desajustes en el número de cauces existentes respecto del ideal (Fig. 6), indican anomalías de drenaje en la cuenca que se traducen en avenidas. Al respecto Senciales Gonzalez (1999) afirma que los valores de R_b más bajos (entre 2 y 4) permiten inferir más altos riesgos de inundación debido a la

concentración brusca de la escorrentía, caracterizada por un marcado retardo y picos de crecida importantes (Fotografías 2 y 3).

Senciales Gonzalez (1999) sostiene que cuencas con baja relación de bifurcación, potencialmente erosionables por erosión lineal y laminar, pueden acentuar dichos procesos luego de un cambio en las condiciones que mantienen la estabilidad, por ejemplo, pérdida de la cubierta vegetal. Específicamente, la acción laminar es potencialmente mayor, en tanto las aguas deben escurrir por una mayor longitud de ladera antes de concentrarse.



Fotografía 2. Vestigios que evidencian la altura alcanzada por las aguas.

La Relación de Longitud se puede definir como “*la proporción existente entre la longitud media de los segmentos de un orden dado y la de los segmentos de orden inmediato inferior*” (Senciales Gonzalez, 1999:74). El valor de R_1 obtenido para la cuenca es de 2,31, situándose en el intervalo 1,5 – 3 de valores habituales para este parámetro. La proximidad de R_1 al límite superior del intervalo, expresa las grandes longitudes que presentan los cursos de orden superior del arroyo Pantanoso (Senciales Gonzalez, 1999).



Fotografía 3. Residuos testigos de la altura alcanzada por las aguas.

La figura 7 permite cotejar la recta exponencial positiva que marca la relación $u - L_u$ ideal con los valores de L_u reales. Del mismo se desprende que estos últimos no se ajustan a la 2^{da} Ley de Horton (*“Ley de la longitud de los cauces: La longitud media acumulada de segmentos de cauce de órdenes sucesivos tiende a formar una progresión geométrica cuyo primer término es la longitud media de los segmentos de primer orden y tiene por razón una relación de longitud constante”*) (Strahler, 1974:527).

El Coeficiente de Almacenamiento, definido matemáticamente por el cociente entre los valores medios de Relación de Longitud y Relación de Bifurcación, permite evaluar la capacidad de almacenamiento de la cuenca. Cuanto más próximo se encuentre este parámetro a 1, el agua meteórica tiende a ser almacenada en forma subterránea. El valor obtenido en la cuenca de 0,7 (Tabla 2) responde a la importante representación areal de los afloramientos rocosos diaclasados presentes en las cabeceras de las mismas.

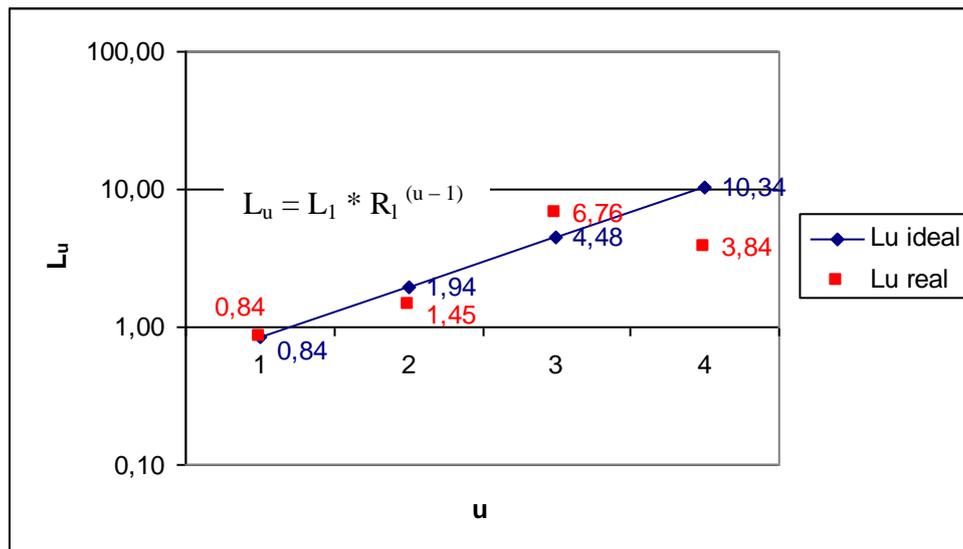


Figura 7. Relación $u-L_u$.

Por último, la Densidad de Drenaje, indica la longitud de cursos, expresada en kilómetros, por cada kilómetro cuadrado de cuenca. Se obtiene a partir del cociente entre la suma total de las longitudes de los cursos y el área de la cuenca. Este factor es controlado por la litología, la facilidad de infiltración del agua bajo la superficie y la cubierta vegetal. Los valores inferiores a 10 km/km^2 corresponden a bajas densidades de drenaje (Strahler, citado por Senciales Gonzalez, 1999). La presencia de un sustrato resistente y de una porosidad secundaria alta justifican el valor de este parámetro ($1,21 \text{ km/km}^2$).

En un primer análisis, considerando el exceso de agua (Fig. 4) y atendiendo en forma conjunta a la Relación de Bifurcación y la Densidad de Drenaje (textura gruesa) se puede inferir la importancia de los procesos de erosión hídrica del suelo producto del largo recorrido de las aguas por la laderas hasta llegar a los colectores. Sin embargo, ampliando el campo de observación, al considerar el Coeficiente de Almacenamiento, se observa que el exceso de agua disponible para escurrir sufre infiltración producto de la importante porosidad secundaria que presenta las rocas por las cuales ésta discurre. Asimismo, es necesario tener en cuenta el contenido de humedad del suelo al momento de producirse la llegada del agua meteórica al mismo. Este último párrafo refleja la complejidad del fenómeno de erosión hídrica del suelo.

V. ANÁLISIS DE LOS FACTORES DESENCADENANTES DE LA EROSIÓN HÍDRICA

V.1 Erosividad de las precipitaciones

Cantidad e intensidad son dos de las características de las precipitaciones que según Marelli (1989:14) afectan directamente a la erosión. De ambos, sólo la intensidad de las lluvias es considerada en el método USLE.

Debido a la escasez de estaciones meteorológicas que cuentan con pluviógrafos para obtener datos de intensidad de las precipitaciones, se considera a los fines de la cuantificación de la erosión hídrica del suelo, el valor de 353 tn m/ha/año proporcionado por el INTA para el partido de Coronel Suárez.

Este es un valor medio anual y por lo tanto oculta la variabilidad de la intensidad de las precipitaciones a lo largo del año. Esta distribución no uniforme de la erosividad de la lluvia resulta más peligrosa cuando su efecto se combina con suelo al descubierto o con estadios de la vegetación que implican una escasa cobertura del mismo.

V.2 Susceptibilidad del suelo a ser erosionado

A partir del mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires de escala 1:500.000 (INTA, 1989) se pueden describir de un modo general las características de los suelos del área. El orden de los Molisoles, es el de mayor representatividad areal, encontrándose asociado a una gran diversidad de paisajes. El desarrollo del epipedón mólico es favorecido por el material originario (loess) y los regímenes de humedad (údic) y temperatura (térmico). A nivel de Suborden, el de los Udoles es el más difundido, localizándose en las partes altas donde el relieve es ondulado o suavemente ondulado con buen drenaje.

Los Argiudoles típicos presentan una sucesión de horizontes bien expresada, con enriquecimiento de materia orgánica en el horizonte A y un incremento de arcilla en el B_t, existiendo algunas variaciones que dependen de la localización geográfica. Este subgrupo es resultado de la acción del clima húmedo o subhúmedo sobre materiales loésicos, en posiciones bien drenadas.

En la porción Sur de la provincia, el epipedón presenta alto contenido de materia orgánica (en torno al 5%), incrementándose aún más en proximidades de las partes rocosas de las sierras. El B_t de textura franco-arcillosa, no supera los 45 cm de profundidad y el solum termina antes de los 100 cm de profundidad. Es común que el perfil esté interrumpido por tosca, dando lugar a las fases someras. Excepto en los dos casos antes mencionados, no presentan ningún tipo de limitación.

Los suelos que clasifican en el nivel taxonómico de Gran Grupo, como Hapludoles, se encuentran en la zona serrana y presentan un manto sedimentario (horizonte A) de un espesor que no supera los 30 cm cubriendo el sustrato consolidado. Este sustrato limita la profundidad del suelo, impidiendo la normal percolación del agua y la exploración de las raíces. Según se encuentre suprayaciendo a formaciones rocosas o a capas de tosca, se identificarán como Hapludoles líticos y Hapludoles petrocálcicos.

A los fines de obtener más detalle en la descripción de los suelos, llegando hasta el nivel taxonómico de serie, se ha utilizado una cartografía de semidetalle, específicamente, la Carta de Suelos Sierra de las Tunas a escala 1:50.000 (Hoja 3763-36-3) como base para la identificación del perfil de los suelos y de sus propiedades. Las unidades cartográficas que presenta esta carta, son consociaciones, asociaciones, grupos no diferenciados y misceláneas.

Para una correcta interpretación de las tablas y mapas de suelos presentes en el trabajo, cabe aclarar que, una consociación se define como un área dominada por un sólo taxón y suelos similares. Como norma, por lo menos la mitad de los pedones son de la misma unidad taxonómica que da el nombre a la unidad. Una asociación es una unidad cartográfica donde están presentes dos o más suelos diferentes, pero su distribución permite que, a mayor detalle,

se los pueda separar. Un grupo no diferenciado consiste en dos o más taxas que no están consistentemente asociados geográficamente, pero que se incluyen en la misma unidad cartográfica debido a que el uso y el manejo es el mismo o muy similar para usos comunes (INTA,1989).

Para la elaboración de la cartografía de riesgo, se acotó la cuenca analizada inicialmente, considerando sólo las cabeceras de la misma, ubicadas en el sector Sureste de aquella, donde según la carta de suelo Sierra de las Tunas confeccionada por el INTA, se evidencia mayor erosión hídrica. En dicho lugar se presenta la mayor influencia del factor topográfico dentro de la cuenca con existencia de gradientes de pendiente importantes.

Las unidades cartográficas incluidas en el área de estudio se describen en la tabla 3 y la distribución de las mismas en la cuenca se detalla en la figura 8. La unidad R agrupa a toda el área cubierta por afloramientos rocosos. Esta se encuentra ocupando gran parte de la zona Sureste de la cuenca constituyendo las Sierras de las Tunas, mientras que en la porción occidental de aquella, los afloramientos son escasos, correspondiendo al Cordón Mambaches. La roca expuesta representa el 66% del área analizada.

Nombre	Tipo de Unidad	Paisaje	Componentes Taxonómicos		
			Serie/Miscelánea	% de la unidad cartográfica que ocupa	Posición dentro del paisaje
ACch	Grupo no diferenciado	Plano aluvial	Plano aluvial del Arroyo Cochenleufú Chico	100%	bajo
ACo	Consociación	Bajos elongados en el sector de las sierras	Arroyo Corto, moderadamente bien drenada	100%	bajo
ACo1	Consociación	Pendientes con gradiente de 1 a 3%	Arroyo Corto	90%	pendiente
			Cascada, moderadamente inclinada	10%	pendiente
AoCM	Grupo no diferenciado	Plano aluvial	Arroyo Curamalal Grande, suelos hidromórficos alcalinos	100%	bajo
R	Área miscelánea	Serrano	Afloramiento rocoso	100%	loma
RG4	Consociación	Lomas pronunciadas con tosca a poca	Rancho Grande	95%	Loma y pendiente

		profundidad y en superficie	Tosca aflorante	5%	loma
TA1	Asociación	Lomas extendidas con tosca subsuperficial a diferente profundidad	Tres Arroyos	50%	Media loma
			Laprida	30%	Loma baja
			Pillahuincó	20%	loma

Tabla 3. Unidades Cartográficas existentes en el área de estudio (Elaboración propia a partir de Carta de Suelos de la República Argentina, Hoja 3763-36 Quiñihual).

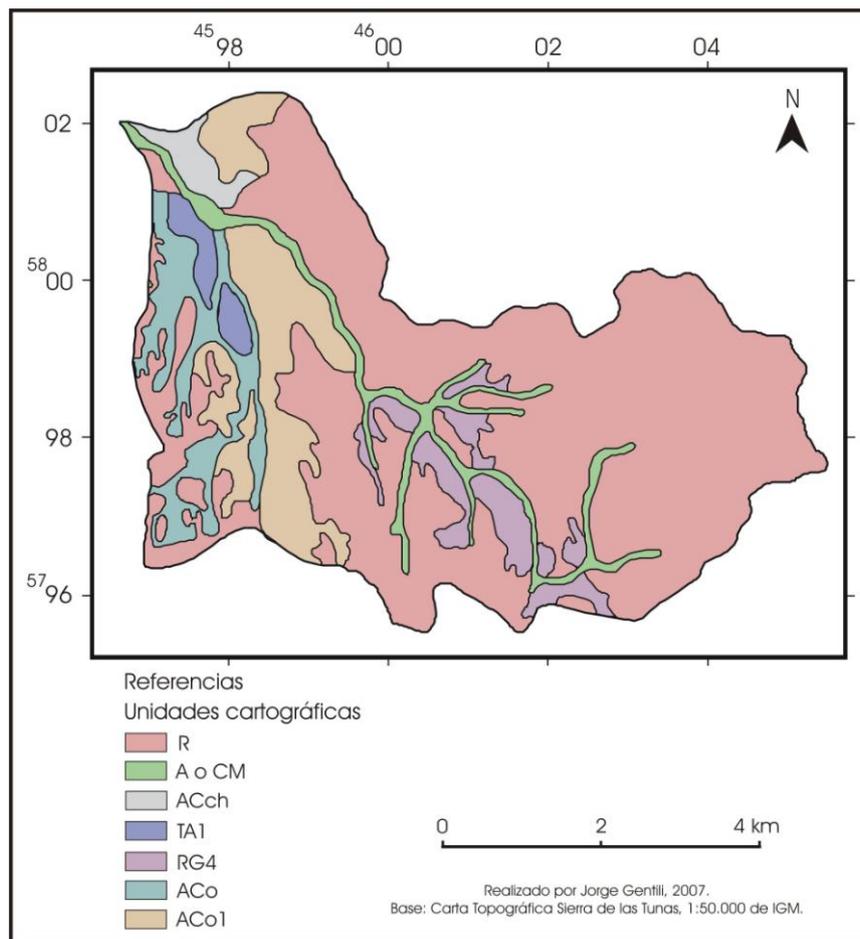


Figura 8. Unidades cartográficas existentes en el área de estudio.

Dentro del área se identifican dos unidades de la categoría grupo no diferenciado. El primero de ellos, denominado A o CM, corresponde a los planos aluviales del arroyo Pantanoso, por lo tanto esta unidad se extiende a lo largo de dicho arroyo, a ambos lados del mismo. El restante, es la unidad ACch, localizada en la margen derecha del arroyo en proximidades de la salida de la cuenca. Ambas unidades ocupan posiciones bajas en el paisaje.

La unidad denominada TA1, corresponde a una asociación de 3 suelos. Ocupa lomas extendidas y presenta tosca subsuperficial a diferentes profundidades. La consociación RG4, se ubica en la parte alta de la cuenca y se encuentra sobre lomas pronunciadas, a ambos márgenes del curso principal del arroyo Pantanoso y de sus tributarios. A esta unidad corresponden Hapludoles líticos (petrocálcicos) que tienen un epipedón mólico de 25 cm de espesor por debajo del cual se encuentra la capa de tosca.

Por último, las unidades cartográficas ACo y ACo1, representan consociaciones. La primera, agrupa a suelos de la serie Arroyo Corto y ocupa bajos elongados entre las sierras, mientras que la segunda, compuesta en un 90% por pedones de la serie Arroyo Corto y 10% de la serie Cascada, se ubica en pendientes de entre 1 y 3%.

El contenido pedológico de las unidades cartográficas individualizadas se describen en la tabla 4.

Nombre	Clasificación	Drenaje	Escurrimiento	Permeabilidad	Textura del horizonte superficial	Estructura del horizonte superficial
Pillahuincó (Ph)	Argiudol lítico (petrocálcico) fino illítico térmico	Bien drenado	Medio	Moderada	Franca arcillosa	Bloques subangulares
Rancho Grande (RG)	Hapludol lítico (petrocálcico) Limoso fino mixto térmico	Bien drenado	Medio	Lenta	Franco arcillosa	Bloques subangulares
Tres Arroyos (TA)	Argiudol típico fino illítico moderadamente somero térmico	Bien drenado	Rápido	Moderada lenta	Franco arcillo arenoso	Bloques subangulares
Laprida (Lpd)	Argiudol típico limoso fino mixto térmico	Bien drenado	Medio	Moderada	Franco	Bloques subangulares
Cascada (Cda)	Argiudol típico limoso fino mixto moderadamente somero térmico	Bien drenado	Medio	Moderada	Franco	Bloques subangulares
Arroyo Corto (ACo)	Hapludol cumúlico limoso fino mixto térmico	Bien drenado a algo excesivamente drenado	Medio a rápido	Moderada a moderadamente rápida	Franco	Bloques subangulares

Tabla 4. Principales características de la series de suelos que conforman las unidades cartográficas previamente descriptas (Elaboración propia a partir de Carta de Suelos de la República Argentina, Hoja 3763-36 Quinihual).

Dado que la erosionabilidad está fuertemente controlada por la textura del suelo, la estabilidad de los agregados, la permeabilidad y el contenido de materia orgánica (Wischmeier, citado por Scotta *et al*, 1989), es preciso recurrir a tales parámetros para establecer aquel valor. Así, tomando en cuenta las series de suelos de la tabla 4 y considerando sus propiedades físicas y químicas, se determinó el factor K para cada una de ellas (Tabla 5).

Serie	Arcilla	Limo	Arena muy fina	Materia orgánica	Estructura	Permeabilidad	K
Rancho Grande (RG)	29,6	28,4	32	4,39	4	5	0,4311
Pillahuinco (Ph)	40	31,1	22,6	4,33	4	3	0,2915
Tres Arroyos (TA)	25,9	26,9	37,2	3,87	4	4	0,4587
Cascada (Cda)	24,1	37	24,5	3,8	4	3	0,4225
Arroyo Corto (ACo)	20,9	33,9	32,7	3,5	4	2	0,4545

Tabla 5. Propiedades de las series de suelo consideradas en el cálculo del factor k.

Siguiendo criterios del INTA (1995), la erosionabilidad del suelo puede clasificarse en: baja a moderada, si $K < 0,45$ y moderada a alta, si $K > 0,45$. Sobre la base de dichos parámetros puede concluirse que, a excepción de la serie Pillahuinco, las restantes presentan una erosionabilidad próxima al umbral entre las dos clases definidas (Fig. 9).

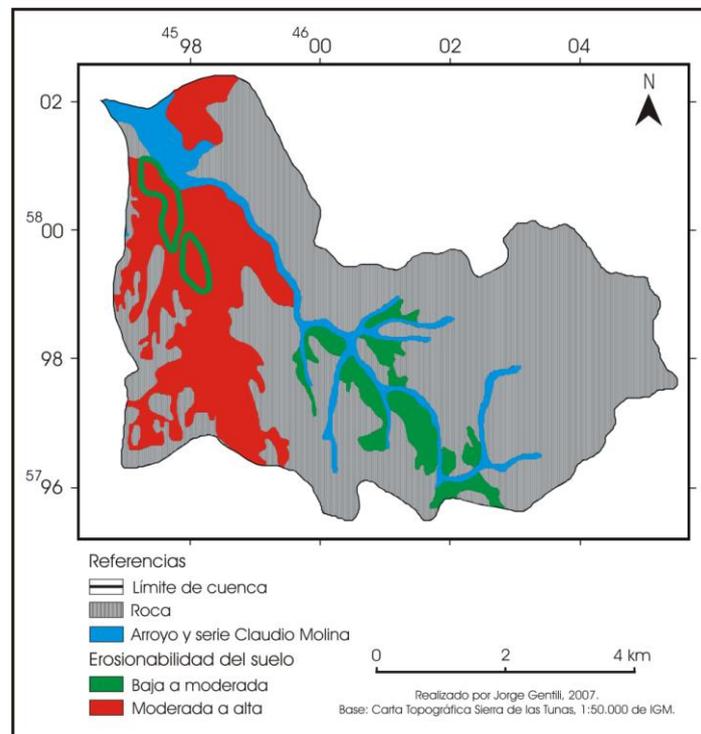


Figura 9. Grado de erosionabilidad de los suelos de la cuenca.

V.3 Factor Topográfico

La morfología del terreno es otro de los factores de control de los procesos erosivos. De las diversas dimensiones de dicho elemento que tienen injerencia en el proceso, la USLE considera en el factor topográfico, conjuntamente la longitud y la intensidad de la pendiente analizada.

V.3.1 Longitud e intensidad de la pendiente

La superficie de una cuenca en tanto factor hidrológico, es quien intercepta las aguas meteóricas y a través de la cual, éstas escurren hasta concentrarse en los cursos de agua. Las pendientes, como partes componentes de un paisaje y en particular de una cuenca hidrográfica, cumplen una función dentro de la dinámica que caracteriza a estas últimas. (Bruniard, 1992).

Dichas funciones de recepción y escurrimiento de las aguas por parte de las pendientes tienen, en mayor o menor medida, influencia en la erosión hídrica a partir de los procesos de salpicadura y escurrimiento laminar. Longitud, intensidad, orientación, forma y rugosidad son las principales dimensiones de la pendiente que influyen la erosión hídrica del suelo.

El método USLE considera sólo las dos primeras. El gradiente de la pendiente contribuye a la reptación (*creep*) ladera abajo de las partículas lanzadas al aire por el impacto de las gotas de lluvia. Asimismo, el gradiente y la longitud influyen en la velocidad del flujo de agua y por lo tanto en su poder erosivo.

En la figura 10 se muestra la distribución de las pendientes en el área, clasificadas según su gradiente porcentual. Los valores comprendidos entre 50 y 70% corresponden a sectores muy específicos de las partes más altas de las sierras. La consideración de intervalos cuyo rango es de 10%, oculta rasgos topográficos de importancia en el estudio del fenómeno

de erosión hídrica. Esto se manifiesta en la clase inicial, donde lomas edafizadas con gradientes superiores al 3%, no se manifiestan en el mapa.

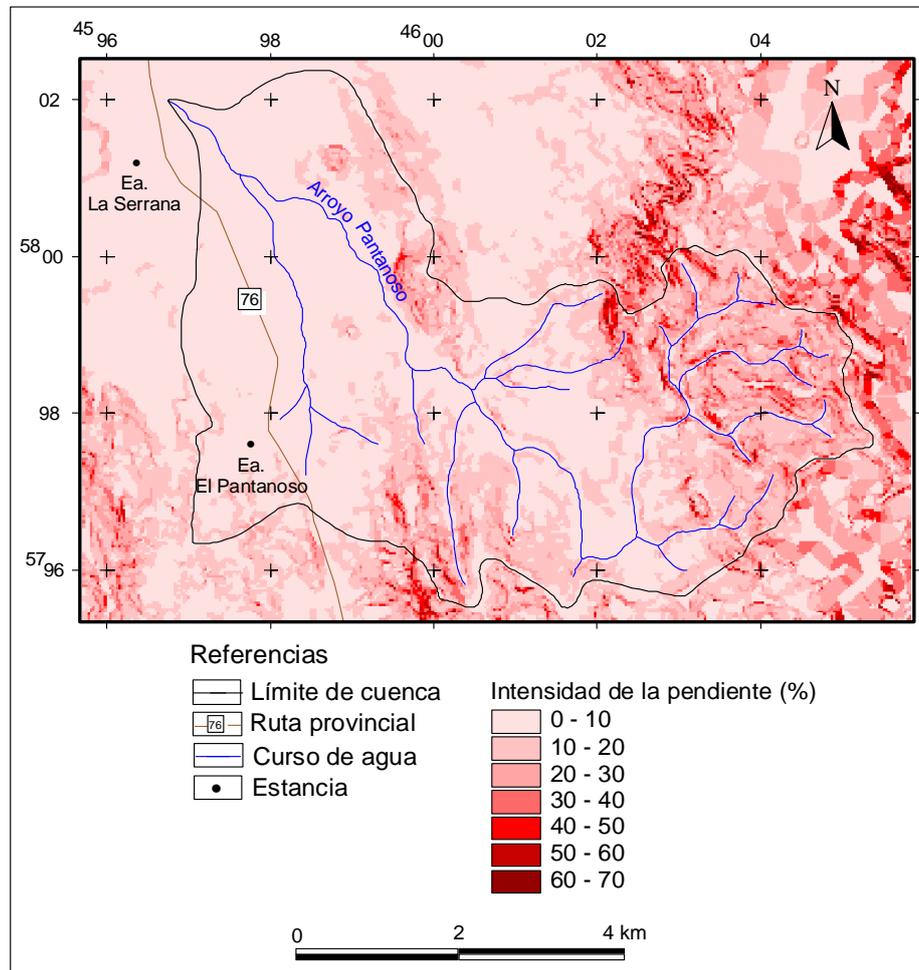


Figura 10. Mapa de intensidad de la pendiente. Elaboración propia en base a carta topográfica Sierras de las Tunas 1:50.000 (IGM) utilizando ARC View.

V.3.2 Análisis conjunto: Factor LS

Para el análisis del factor topográfico (LS) se debe tener en cuenta una serie de consideraciones respecto de la longitud y el gradiente. La longitud de cada una de las pendientes fue definida en 30 metros, valor surgido de la asignación del tamaño de celda al momento de convertir a grilla (formato *raster*) el modelo digital del terreno (formato vectorial).

Las pendientes fueron agrupadas por su intensidad, según la clasificación propuesta en el Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires (INTA, 1989).

- Pendiente plana o muy suavemente ondulada (0 a 1%)
- Pendiente suave a moderadamente ondulada (1 a 3%)
- Pendiente fuertemente ondulada o inclinada (3 a 10%)
- Pendiente fuertemente inclinada o colinada (> 10%)

La figura 11 pone de manifiesto el valor de LS que adopta cada porción de la cuenca, agrupadas en función de las clases de pendientes definidas previamente. El valor de cada clase es el resultado de la función LS para el gradiente porcentual que corresponde al número de la mitad del intervalo. La última clase, constituye una excepción a dicha regla, ya que si bien se agruparon las pendientes mayores a 10%, LS fue obtenido para gradientes de 12,5%, dado que con pendientes que exceden el 15% no hay suelos definidos en la carta Sierra de las Tunas (1:50.000), logrando así resultados más precisos.

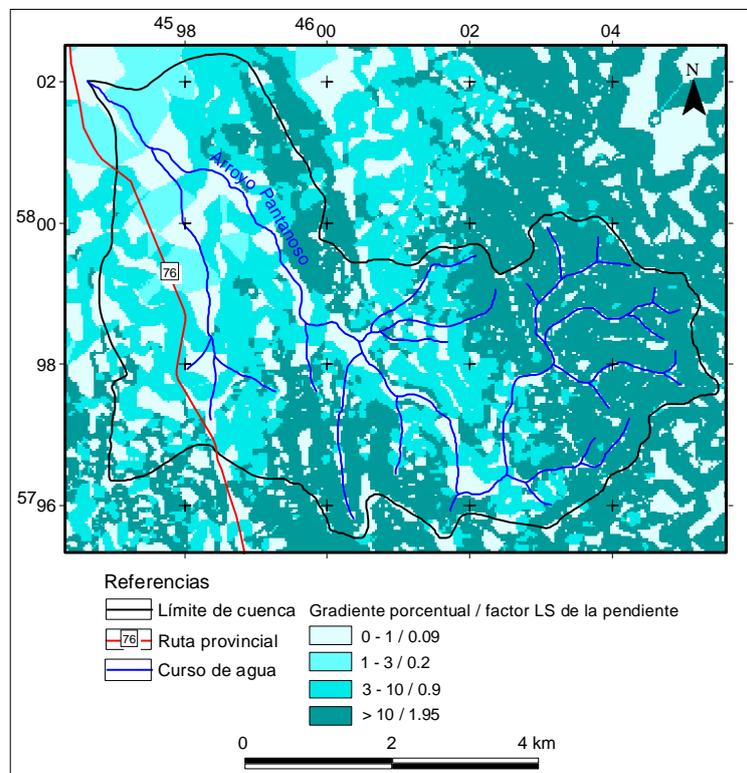


Figura 11. Mapa del factor topográfico (LS). Elaboración propia en base a carta topográfica Sierras de las Tunas 1:50.000 (IGM) utilizando ARC View.

La porción más baja de la cuenca junto a las tierras localizadas en proximidades de los márgenes de los arroyos presentan principalmente pendientes planas y suave a moderadamente onduladas. Dichas clases de pendientes se presentan también en gran parte de la porción Oeste de la cuenca.

Por su parte, las pendientes fuertemente onduladas o inclinadas, se ubican principalmente en la cuenca media, encontrándose en el paisaje entre las anteriores y los afloramientos rocosos.

VI. EVALUACIÓN DEL RIESGO DE EROSIÓN HÍDRICA POTENCIAL

A los fines de la conservación del suelo, es preciso conocer aquellas áreas en que las pérdidas por erosión superan el umbral “... *que, teóricamente, debe permitir, a la velocidad natural de formación del suelo, compensar las pérdidas por erosión*” (Morgan, 1996:185). Al no disponerse de trabajos que fijen la tolerancia para la pérdida anual de suelos en la región, se utilizará como referencia la clasificación de la FAO respecto de la severidad del riesgo de erosión hídrica potencial.

- Erosión nula a ligera (0-30 t/ha/año)
- Erosión baja (31 - 60 t/ha/año)
- Erosión moderada (61-120 t/ha/año)
- Erosión alta (121-360 t/ha/año)
- Erosión muy alta (mayor de 360 t/ ha/año)

El análisis del mapa de suelos correspondiente a la cuenca alta del arroyo Pantanoso, permitió identificar los diferentes grados de erosionabilidad de cada una de las unidades cartográficas existentes en dicha área. Asimismo, la individualización del contenido pedológico de cada una de tales unidades cartográficas y, en consecuencia, el conocimiento de sus propiedades físicas y químicas permitieron el cálculo del índice de erosionabilidad (factor K de la USLE).

La erosionabilidad fue clasificada en baja a moderada y moderada a alta. A la primer clase corresponden las series Pillahuinco, Cascada y Rancho Grande mientras que las restantes, Arroyo Corto y Tres Arroyos pertenecen a la segunda clase. Sin embargo, y a excepción de la serie Pillahuinco, cuyo valor de erosionabilidad es bajo, el resto presenta sus valores próximos al límite entre ambas clases.

Por su parte, los valores del factor LS, fueron asociados a las clases de pendientes definidas por el INTA (1989:521) con el fin de facilitar la interpretación de los mismos. En suma, la superposición de los mapas de erosionabilidad del suelo y del factor topográfico y su

posterior multiplicación por el índice de erosividad de las precipitaciones permitió localizar áreas de alto riesgo de erosión hídrica potencial (Fig. 12).

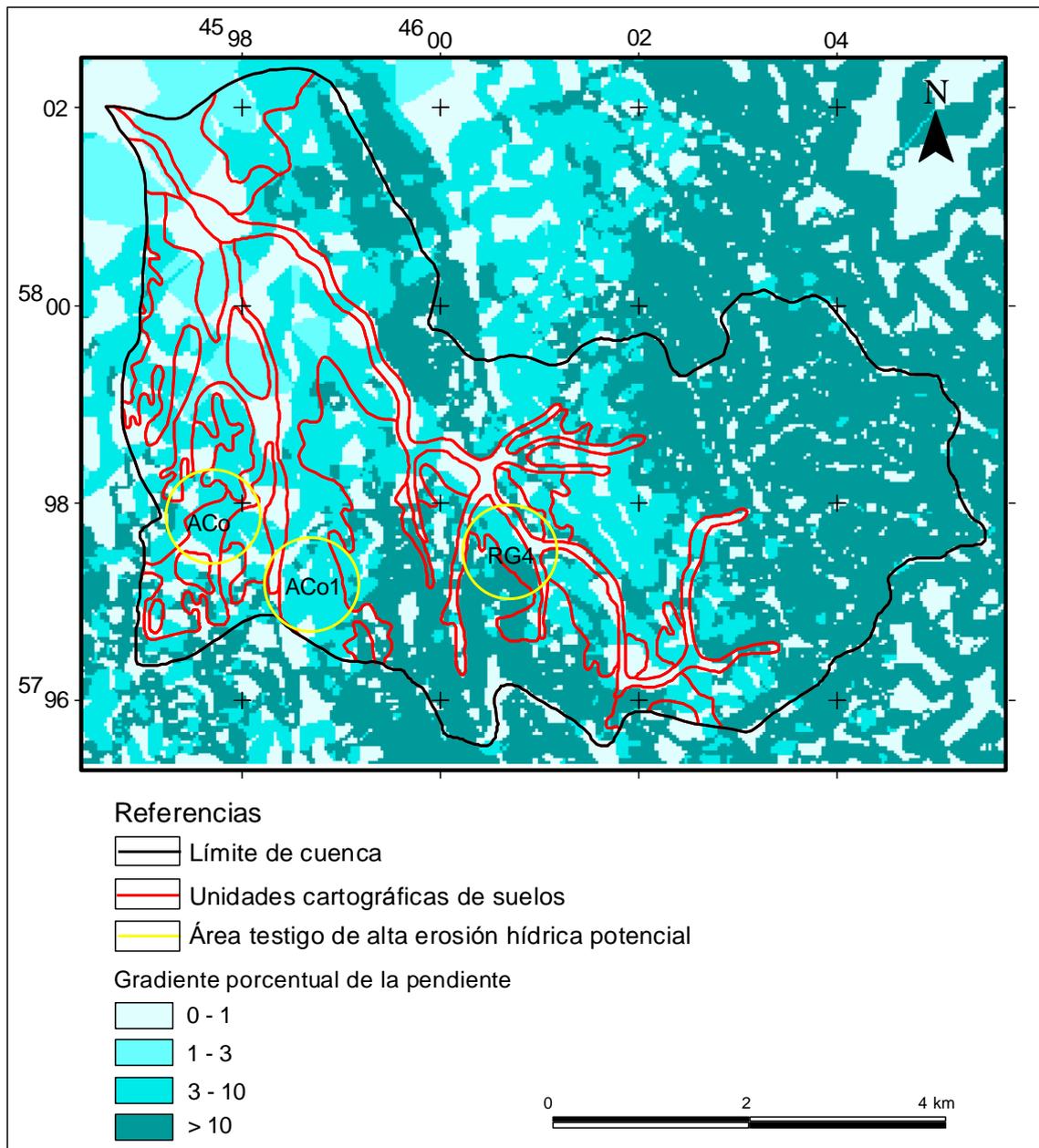


Figura 12. Áreas testigo de alto riesgo de erosión hídrica potencial del suelo. Elaboración propia en base a carta topográfica Sierras de las Tunas 1:50.000 (IGM) utilizando ARC View.

Las áreas con mayor riesgo están localizadas en sectores donde los valores de gradiente de la pendiente son superiores al 3%, es decir, con pendientes fuertemente onduladas o inclinadas.

El suelo de la consociación ACo (serie Arroyo Corto), se desarrolla principalmente sobre pendientes suave a moderadamente ondulada y fuertemente ondulada. En este último caso es donde se registra alto riesgo de erosión hídrica potencial con valores en torno a las 144 t/ha/año.

También presentan elevado riesgo, las laderas edafizadas de las consociaciones ACo1 (el contenido pedológico está dado por la serie Arroyo Corto en un 90% y Cascada en un 10%). En este caso, los suelos de la unidad yacen en mayor medida sobre pendientes fuertemente onduladas, siendo el valor de pérdida potencial de 144 t/ha/año.

En la unidad cartográfica RG4, existen pendientes inclinadas y fuertemente inclinadas. Si bien a partir de los resultados de la aplicación de la USLE, los suelos de ambas pendientes pertenecen a la clase de alto riesgo, sus valores presentan notables diferencias, en respuesta a la variación de intensidad de dichas pendientes. Los Hapludoles líticos (petrocálcicos) de esta unidad presentan evidencias de erosión según INTA (1995). Si bien el valor de erosionabilidad correspondiente a esta unidad es de bajo a moderado, la intensidad de las pendientes hace necesario la aplicación de técnicas que permitan limitar las pérdidas por erosión (Fotografía 4). En este caso, las pérdidas varían entre 136 t/h/año y 296 t/h/año.



Fotografía 4. Cultivo en curvas de nivel en un área de alto riesgo de erosión hídrica potencial.

Pudo observarse en otras zonas de la cuenca, series de suelos, que, no obstante presentar una erosionabilidad de moderada a alta, poseen un riesgo de erosión hídrica bajo, debido a la ausencia de pendientes importantes. La asociación TA1 está compuesta por tres series de suelos. De ellas, la serie Pillahuinco tiene un valor de erosionabilidad bajo a moderado con pendientes que no exceden los 3%, dando así un riesgo de erosión potencial de nulo a ligero (20 t/h/año). En tanto, la serie Tres Arroyos, posee erosionabilidad de moderada a alta, pero al encontrarse sobre pendientes máximas de 3% el riesgo de erosión hídrica potencial es bajo (32 t/ha/año). En virtud de lo antedicho, queda en evidencia una marcada influencia del factor topográfico en el riesgo de erosión hídrica potencial.

VI. MEDIDAS PARA MITIGAR EL PROBLEMA

La identificación de las áreas de alto riesgo de erosión hídrica potencial en el área de estudio constituye el punto de partida para proponer una serie de medidas tendientes a mitigar las consecuencias del proceso.

Según Morgan (1996:188) las medidas de conservación del suelo deben contribuir a reducir los efectos del desprendimiento y transporte de la fracción sólida del suelo por los procesos de salpicadura y escurrimiento. Dicho autor, agrupa las medidas en agronómicas, de manejo del suelo y métodos mecánicos.

Dentro del primer grupo debe considerarse la protección del suelo con los restos de la vegetación, principalmente en aquellas épocas en que el suelo queda descubierto de cultivos. La coincidencia temporal del período entre cosecha y siembra y la máxima intensidad de las precipitaciones, es propicia para los mayores desprendimientos de las partículas del suelo. El laboreo mínimo y la siembra directa disminuyen la rotura de los agregados contribuyendo por lo tanto a mantener la estructura.

El incremento de la rugosidad superficial, es otra de las medidas agronómicas a poner en práctica en tanto contribuye a disminuir la velocidad de la escorrentía. La fertilización orgánica y mineral constituye una alternativa para mejorar la estructura del horizonte superficial del suelo y disminuir la desagregación producto del impacto de las gotas de lluvia y la fricción ejercida por el agua en su descenso por las pendientes.

Otra práctica sugerida es realizar los cultivos en curvas de nivel en laderas edafizadas con pendientes inclinadas y fuertemente inclinadas. Esto contribuye doblemente a contrarrestar el fenómeno, ya que por un lado favorece la infiltración y por otro disminuye la velocidad del agua vertiente abajo.

Cabe aclarar que las medidas específicas para un determinado sector, deben ser propuestas, sobre la base de una investigación a mayor escala, constituyendo el presente

estudio, una aproximación al conocimiento de los factores que gobiernan el fenómeno y las manifestaciones espaciales del mismo.

VIII. CONSIDERACIONES FINALES

La utilización de los parámetros físicos del modelo USLE para la estimación de las pérdidas potenciales de suelos por erosión, permitió identificar áreas de alto riesgo de erosión hídrica potencial en la cuenca alta del arroyo Pantanoso. Dada la uniformidad que presentan los distintos suelos en torno al valor medio del parámetro de la erosionabilidad, se comprobó que en las áreas susceptibles de presentar elevadas tasas de erosión en condiciones de suelo al descubierto y sin prácticas de conservación, la topografía tiene una notable influencia.

Los mayores riesgos de erosión hídrica del suelo, corresponden a las laderas de la parte alta de la cuenca que presentan pendientes superiores a 3%. Más aún, el aumento del riesgo a la erosión hídrica se relaciona fundamentalmente con una mayor inclinación de las pendientes.

Para aquellas áreas que presenten mayor riesgo, se recomiendan prácticas conservacionistas culturales, estructurales y vegetativas tales como siembra directa, cobertura superficial, fertilización y cultivos en curvas de nivel. Las prácticas citadas ejercen control sobre los procesos erosivos de salpicadura y escurrimiento superficial mitigando así los efectos producidos por el agua sobre el suelo.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo, no constituyen la culminación de la investigación. Producto de la lectura, observación y análisis es posible esbozar una serie de lineamientos que constituyen alternativas para etapas futuras en el estudio de las problemáticas del área.

La primer tarea, que no sólo constituye un fin en sí misma, sino también una herramienta para el desarrollo de otras, es la actualización cartográfica, dado que se ha evidenciado la carencia y/o antigüedad de los documentos del sector.

Asimismo, la incidencia que tiene el clima, principalmente precipitación y temperatura sobre la dinámica de las redes hidrográficas, hace que el estudio de dichos parámetros

constituya la base para el entendimiento cabal de las mismas y de las relaciones múltiples de éstas y los seres humanos.

BIBLIOGRAFÍA

BRUNIARD, E., 1992. *Hidrografía. Procesos y tipos de escurrimiento superficial*. Editorial CEYNE, San Isidro. 124 pp

CABRERA, A., 1971. *Fitogeografía de la República Argentina*. En: Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, vol. XIV, n° 1 – 2, Buenos Aires. 42 pp.

CAMPO DE FERRERAS, A., CAPELLI DE STEFFENS, A. y DIEZ, P., 2004. *El clima del suroeste bonaerense*. Departamento de Geografía y Turismo, UNS, Bahía Blanca. 99 pp

CAPITANELLI, R., 1998. *Geografía Física y Medio Ambiente*. ECOGEO, Mendoza. 148 pp.

DIAZ, B., 2006. *Modelización de la erosión hídrica potencial en cuencas de montaña*. Comunicación personal.

FAO. www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S0b.htm

GASPARI, F., 2005. *Ordenamiento territorial de microcuencas en base al riesgo de erosión hídrica superficial a través de la aplicación de SIG*. En: Revista Electrónica de la REDLACH, número 1, año 2. p 16 – 23.

GONZALEZ URIARTE, M., 1988. *Geomorfología de la Sierra de Bravard y su piedemonte*. En: Actas de Segundas Jornadas de Geología Bonaerense, Bahía Blanca. p 173-185.

HARRINGTON, H., 1947. *Explicación de las hojas geológicas 33 m y 34 m Sierra de Curamalal y de la Ventana, Pcia. de Bs. As.* Ministerio de Industria y Minería. 43 pp.

HUDSON, N., 1982. *Conservación del suelo*. Editorial Reverté, Barcelona. 335 pp.

I.N.T.A. www.inta.gov.ar/bordenave/actualidad/RIAP/zonasierra.htm

I.N.T.A., 1989. *Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Proyecto PNUD ARG 85/019. 525 pp.

I.N.T.A., 1995. *Carta de suelos de la República Argentina, Hoja 3763 – 36 Quiñihual*. Instituto de Suelos, área de investigación en cartografía de suelos y evaluación de tierras. 56 pp.

LOPEZ CADENAS DE LLANO, F. y BLANCO CRIADO, M., 1968. *Aspectos cualitativos y cuantitativos de la erosión hídrica y del transporte y depósito de materiales*. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid. 190 pp.

MARELLI, H., 1989. *La erosión hídrica*. INTA, EEA Marcos Juárez. Publicación técnica N° 1. 20 pp.

MORGAN, R., 1996. *Erosión y conservación del suelo*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 343 pp.

PORTA, J., LOPEZ-ACEVEDO, M. y ROQUERO, C., 1999. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa (seg. ed. revisada y ampliada). 849 PP.

SCOTTA, E. y PAPAROTTI, O., 1989. *Manual de sistematización de tierras para control de erosión hídrica y aguas superficiales excedentes*. INTA Entre Ríos, EEA Paraná (seg. ed., corregida y aumentada). 61 pp.

SENCIALES GONZALEZ, J., 1999. *Redes Fluviales. Metodología de Análisis*. Universidad de Málaga. 337 pp.

STRAHLER, A., 1974. *Geografía Física*. Editorial Omega, Barcelona. 767 pp.

STRAHLER, A. y STRAHLER, A., 1994. *Geografía Física*. Ediciones Omega, Barcelona. 550 pp.

TARBUCK, E. y LUTGENS, F., 2005. *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física*. Pearson Prentice Hall, Madrid. 686 pp.

THORNTHWAITE, C. y MATHER, J., 1957. *Instrucciones y tables para el cómputo de la evapotranspiración potencial y el balance hídrico*. En: Publicaciones de climatología, vol X, nro. 3, Instituto Tecnológico de Drexel, New Jersey. 68 pp.

WISCHMEIER, W. y SMITH, D., 1978. *Predicting rainfall erosion losses*. Agricultural Handbook, USDA. 537 pp.

Informe de Campaña N° 1

Fecha y duración: 20 de septiembre de 2006, 1 día.

Recorrido y/o área: EEA INTA Bordenave.

Objetivo: Obtención de datos climatológicos, meteorológicos y catastrales correspondientes al área de estudio. Recuperación y obtención de bibliografía específica de la problemática tratada.

Actividades desarrolladas: Encuentro con Ing. Agrónomos, técnicos y bibliotecaria.

Datos obtenidos: Precipitaciones (distribución mensual y total anual, período 1943-2005), temperaturas (máxima, media y mínima, período 1961-2005) y evapotranspiración potencial (período 1961-2005) de la localidad de Coronel Suárez.

Informe de Campaña N° 2

Fecha y duración: 14 de noviembre de 2006, 1 día.

Recorrido y/o área: Estancia Curamalal. Agencia INTA Coronel Suárez (dependiente de EEA INTA Bordenave).

Objetivo: Obtención de datos de precipitaciones, cartas de suelos y sus informes correspondientes.

Actividades desarrolladas: Observación del área, identificación de cursos de agua y de las características de sus cauces. Encuentro con Ing. Agrónomos.

Datos obtenidos: Datos de precipitaciones de la Estancia Curamalal desde el año 1903. Cartas de Suelos del área de estudio a escala 1:50.000 con sus respectivos informes.

Informe de Campaña N° 3

Fecha y duración: 30 de noviembre de 2006, 1 día.

Recorrido y/o área: Ruta Provincial N° 76 hasta su intersección con Ruta Provincial N° 85 (Paraje San Eloy) y caminos vecinales. Estancia Sauce Corto y subcuencas de los arroyos El Perdido y Pantanoso.

Objetivo: Reconocimiento general del área, medición de coordenadas en lugares de interés, realización de perfiles topográficos, obtención de datos de precipitaciones y temperaturas en estancias y toma de fotografías.

Actividades desarrolladas: Identificación, en el Abra del Pantanoso, de la divisoria de aguas (previamente establecida en gabinete) que marca el límite entre las cuencas de los arroyos Sauce Corto y Sauce Grande. Durante el recorrido por la Ruta Provincial N° 76 se tomaron las coordenadas de diversos puntos de interés, entre ellos, los de cada uno de los lugares en los que en la misma se han construido puentes, a los fines de actualizar cartografía. Bajo el puente que se encuentra a los 37° 56' 08.34" S y 61° 54' 04.896" O se realizó un perfil transversal para identificar forma y profundidad del cauce y se tomaron fotografías que evidencian rastros de resaca de avenidas. Se obtuvieron fotografías panorámicas de diferentes sectores de la cuenca. En la estancia Sauce Corto se obtuvieron datos de precipitaciones, temperaturas, heladas y estados del tiempo y se determinó la posición de la misma a partir del GPS.

Instrumental utilizado: Cartas topográficas de diversas escalas, GPS, cámara digital, brújula geológica y cinta metálica.

Informe de Campaña N° 4

Fecha y duración: 7 de diciembre de 2006, 1 día.

Recorrido y/o área: Estancia El Pantanoso.

Objetivo: Obtención de datos de precipitaciones en la estancia, reconocimiento general del área, medición de coordenadas en lugares de interés y toma de fotografías.

Actividades desarrolladas: Transcripción a formato digital (planillas) de datos de precipitaciones, temperaturas y heladas registradas en la estancia. Obtención de las coordenadas del pluviómetro. Observación y toma de fotografías en distintas áreas de la estancia, específicamente donde se implementaron medidas para la mitigación de la erosión hídrica (cultivos en curvas de nivel) y en tramos del curso del arroyo Pantanoso con evidencias de erosión lineal y desbordes.

Instrumental utilizado: Notebook, cartas topográficas de diversas escalas, GPS, cámara digital.