

Influencia del cambio de uso del suelo sobre el escurrimiento superficial

Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

Universidad Nacional de La Plata

2014

Influencia del cambio de uso del suelo sobre el
escurrimiento superficial.

Estudio de caso: Cuenca del Arroyo Napaleofú, Provincia
de Buenos Aires, Argentina.

Alumna: Ing. Ftal. Gabriela Elba Senisterra

Director: Dra. Fernanda Julia Gaspari

Co Director: Dr. Gabriel Vázquez Amábile

RESUMEN

En los últimos 30 años el sector agropecuario de la Provincia de Buenos Aires experimentó una profunda transformación. El agro vivió un intenso proceso caracterizado por una mayor eficiencia en el uso de los factores productivos, acompañado por la adopción de cambios técnicos y por el desarrollo de nuevas formas de producción. Los planteos productivos se concentraron en pocos cultivos de alta productividad y homogeneidad genética, que a la par de maximizar la producción y la rentabilidad, simplificaron el manejo, pero al costo de concentrar mayor riesgo climático, económico y biológico, pérdida de materia orgánica, y sobre extracción de algunos macro y micro nutrientes. La cuenca alta del arroyo Napaleofú está situada en el sudeste de la provincia de Buenos Aires y es una cuenca con una predominante actividad agropecuaria, que no ha estado ajena a las problemáticas del sector rural de la región pampeana argentina de los últimos 30 años. Los recursos naturales directamente vinculados con la producción agropecuaria, que resultaron más afectados, fueron los suelos y el agua. Ante esta situación se plantó la realización de este estudio, que tuvo por objetivo analizar la influencia del cambio de uso del suelo sobre el escurrimiento superficial en la cuenca alta del Arroyo Napaleofú utilizando la metodología del Número de Curva integrando un Sistema de Información Geográfico (SIG) para el tratamiento de información espacial, generando una gran base de datos georreferenciada de la cuenca de estudio. La zonificación espacio - temporal de los cambios de cobertura y uso del suelo se realizó para el período 1986-2011. Se observó que las coberturas que experimentaron los mayores cambios correspondieron a los usos Agricultura y Ganadería. Los usos ganadero - agrícola y ganadero disminuyeron, mostrando una tendencia hacia el uso agrícola. El 32,98% de la superficie mantuvo los usos respectivos durante los 25 años analizados. El mayor cambio se evidenció en el uso agrícola, el cual manifestó un incremento del 20%. El cambio de uso del suelo generó aumento del escurrimiento superficial. En el año 1986 el 45,1% de la superficie presentaba escurrimientos menores a 10 mm, escurrimientos entre 10 y 20 mm ocurrían en el 10% de la cuenca y láminas de escurrimiento mayores a 20 mm se manifestaron en el 34,2% de la superficie. En el año 1996 los escurrimientos menores a 10 mm se presentaron en el 33,5% de la superficie, los comprendidos entre 10 y 20 mm en el 5,3% y los mayores a 20 mm en el 61,2% de la superficie de la cuenca. El año 2011, los escurrimientos menores a 10 mm se presentaron en el 4,2% de la superficie, los comprendidos entre 10 y 20 mm en el 81% y los mayores a 20 mm en el 15,6% de la superficie. Esta metodología permitió analizar la influencia del cambio de uso del suelo sobre el escurrimiento

superficial en la cuenca alta del Arroyo Napaleofú. Los resultados alcanzados en esta tesis, expresan que la variabilidad espacial en los cambios manifestados en el uso del suelo establecidos por la modelización hidrológica, produce cambios en la generación de esorrentía (incremento o descenso) pudiendo extrapolar esta metodología a cuencas homólogas.

INDICE

TEMA	N° Página
INTRODUCCIÓN	6
ANTECEDENTES	8
FUNDAMENTACIÓN DE LA ELECCIÓN DEL TEMA DE ESTUDIO	10
HIPÓTESIS DE TRABAJO	11
OBJETIVO GENERAL	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
MARCO TEÓRICO	13
1. Cuenca hidrográfica	13
2. Ciclo hidrológico	14
3. Escurrimiento superficial	15
4. Factores que afectan el escurrimiento	16
5. Importancia de la cobertura vegetal y/o uso del suelo sobre el escurrimiento superficial	17
6. Modelos para determinar el escurrimiento	17
CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	18
1. Ubicación geográfica	18
2. Clima	19
3. Hidrografía	21
4. Fisiografía	22
5. Suelos	24
6. Flora y Fauna	28
7. Estructura productiva del partido de Tandil	29
MATERIALES Y MÉTODOS	30
1. Digitalización y procesamiento de información antecedente georreferenciada del área de estudio	30
2. Caracterización morfológica de la cuenca alta del arroyo Napaleofú	30
3. Identificación de unidades cartográficas de suelo	33
4. Evaluación espacial y temporal uso del suelo	33
5. Análisis de la tasa de cambio de uso del suelo	35

TEMA	N° Página
6. Modelización del escurrimiento superficial	35
7. Influencia del cambio de uso del suelo sobre el escurrimiento superficial	40
8. Análisis del caudal de avenida y la Influencia del cambio de uso del suelo	40
RESULTADOS	41
1. Digitalización y procesamiento de información antecedente georreferenciada del área de estudio	42
2. Caracterización morfológica de la cuenca alta del arroyo Napaleofú	46
3. Identificación de unidades cartográficas de suelo	58
4. Evaluación espacial y temporal uso del suelo	59
5. Análisis de la tasa de cambio de uso del suelo	68
6. Modelización del escurrimiento superficial	68
7. Influencia del cambio de uso del suelo sobre el escurrimiento superficial	81
8. Análisis del caudal de avenida y la Influencia del cambio de uso del suelo	89
CONCLUSIONES	96
BIBLIOGRAFÍA	98
AGRADECIMIENTOS	103
ANEXOS	105

INTRODUCCIÓN

Los estudios sobre los procesos dinámicos de los cambios en la cobertura de suelo son importantes y necesarios, por que proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada (Van Lynden y Oldeman, 1997).

Los cambios de cobertura y uso del suelo son reconocidos como una de las principales causas de deterioro ambiental, con una influencia muy importante en la dinámica hídrica superficial. En este contexto, la cuenca hidrográfica es la unidad natural de tratamiento integrado y ámbito para la planificación y gestión del desarrollo sustentable, pues abarca todo el complejo biogeomórfico, económico y de relaciones sociales como unidad de planificación y gestión (Gaspari et al, 2009)

En relación a los efectos de las actividades agropecuarias sobre el ciclo hidrológico, los principales factores que influyen en la reserva y distribución de agua son la precipitación (tipo, duración, cantidad, intensidad y frecuencia), la vegetación que incide en la cantidad de agua que llega al suelo (tipo, densidad, cobertura, estructura del dosel, entre otros) y el perfil edáfico (textura, estructura, profundidad) que regula el total de agua disponible para la vegetación y para la recirculación dentro del ciclo hidrológico (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; Pritchett, 1991, Gaspari et al, 2007). En este sentido, López Cadenas del Llano (1998) refuerza este concepto indicando que la vegetación puede actuar a favor de la estabilidad estructural del suelo, debido al movimiento hídrico que conlleva la evapotranspiración y al efecto mecánico entre las partículas del suelo que ejercen los sistemas radicales. Según Linsley et al (1993), la vegetación aumenta la capacidad de infiltración de los suelos retardando el flujo de superficie, dando al agua tiempo adicional para penetrar al suelo, limitando el escurrimiento superficial. Estos componentes del ciclo hidrológico se pueden modelizar según una tendencia de cambio espacio - temporal, expresando el carácter dinámico de la información incluida en el sistema (Gaspari et al, 2009).

Los cambios de cobertura y usos del suelo están relacionados directamente en la generación de escurrimiento superficial y a su vez, tienen una consecuencia directa sobre la erosión de los suelos aumentando la fragilidad de los sistemas ambientales. En la zona serrana del sudeste de la provincia de Buenos Aires, la erosión hídrica superficial provoca una decreciente producción agropecuaria, consecuencia del actual manejo del suelo, la pérdida del horizonte superficial y de la disponibilidad de agua superficial y subterránea. En las últimas décadas, dada la

capacidad productiva de los suelos de esta región, los pastizales pampeanos han sido sustituidos por agroecosistemas y evidencian un importante nivel de degradación y un escaso grado de conservación (Vázquez y Zulaica, 2011).

Asimismo, el deterioro de los suelos y la deficiente captación y retención del agua que escurre en los paisajes ondulados conspiran contra la eficiencia en el uso del agua por los cultivos y las pasturas, generándose escenarios de sequías temporarias que limitan el potencial productivo, más cuando se producen en períodos fisiológicos críticos. Este estrés hídrico conduce a diferentes niveles de disminución de rendimiento de acuerdo a la intensidad y al momento de ocurrencia (Montico, 2004).

En los agroecosistemas, además de los problemas relacionados con la cantidad disponible de agua, también se presentan problemas relacionados con la calidad del agua. La contaminación de las fuentes de agua constituye uno de los principales problemas que afrontan los usuarios de los recursos hídricos y supone una amenaza para el mantenimiento de los ecosistemas naturales.

Ante las situaciones particulares generadas por la deficiencia, abundancia y contaminación del recurso hídrico, existen modelos hidrológicos que permiten estudiar procesos que están relacionados con la degradación de los suelos o los inconvenientes ocasionados por el exceso de agua. Estos modelos son una aproximación al sistema hidrológico real, sus entradas y salidas son variables hidrológicas mensurables y su estructura un conjunto de ecuaciones que conectan las entradas y las salidas (Chow, et al. 1994). Debido a las limitaciones en las técnicas de medición de fenómenos del mundo real, modelos de simulación de diferentes tipos proveen medios de extrapolación cuantitativa o predicción, que permiten simular estados de un sistema hidrológico real cuando no hay datos suficientes disponibles en el espacio o en el tiempo, y conocer el impacto de futuros cambios hidrológicos, ayudando de este modo a los tomadores de decisión ambiental (Urciuolo et al., 2007).

Los modelos hidrológicos, al ser una representación incompleta de la realidad, no pueden responder a todos los aspectos del mundo real, es por ello que debe considerarse al momento de elegir un modelo y realizar simulaciones, el objetivo para el cual fue creado, la exactitud de la respuesta, las rutinas y subrutinas que lo componen y las variables entrada que utiliza (disponibilidad de bases de datos o costo y tiempo para su relevamiento).

Además de los problemas relacionados con la cantidad disponible de agua, también se presentan problemas relacionados con la calidad del agua. La contaminación de las fuentes de agua constituye uno de los principales problemas que afrontan los usuarios de los recursos hídricos y supone una amenaza para el mantenimiento de los ecosistemas naturales.

ANTECEDENTES

La cuenca alta del arroyo Napaleofú está situada en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. Es una cuenca con una predominante actividad agropecuaria, que no ha estado ajena a las problemáticas del sector rural de la región pampeana argentina de los últimos 30 años. Los recursos naturales directamente vinculados con la producción agropecuaria, que resultaron más afectados, fueron los suelos y el agua.

Según Venacio (2007), en el partido de Tandil la actividad ganadera ocupa el 31% de la superficie, la agrícola representa el 39% y el resto es ocupado por otros usos, distribuidos entre actividades primarias, secundarias y terciarias.

En los últimos 30 años el sector agropecuario experimentó una profunda transformación. El agro vivió un intenso proceso caracterizado por una mayor eficiencia en el uso de los factores productivos, acompañado por la adopción de cambios técnicos y por el desarrollo de nuevas formas organizacionales de la producción. Los planteos productivos se concentraron en pocos cultivos de alta productividad y homogeneidad genética, que a la par de maximizar la producción y la rentabilidad, simplificaron el manejo, pero al costo de concentrar mayor riesgo climático, económico y biológico (plagas y enfermedades), pérdida de materia orgánica, y sobre extracción de algunos macro y micro nutrientes (Viglizzo y Jobbagy, 2010).

Viglizzo et al. (2006), expresan que la agricultura extensiva de los comienzos del siglo XX fue acompañada por una ganadería extensiva de baja productividad y bajo impacto ambiental; a mediados de ese siglo comenzó una agricultura más tecnificada incorporándose rotaciones con ganadería semi extensiva y a partir de fines del siglo XX fue sustituido el sistema mixto agrícola ganadero, desacoplados, especializándose cada uno de ellos en forma individualizada. Además, se ha reemplazado el sistema de labranza convencional para los cultivos agrícolas, por la siembra directa. Este tipo de práctica puede disminuir el escurrimiento pero la erosión por arrancado y arrastre del material puede ser diferente.

Vázquez y Zulaica (2011) mencionan que en Tandil, se manifiesta una clara tendencia al denominado proceso de agriculturización. Estos investigadores realizaron el estudio de cambio de uso del suelo y su impacto en el ambiente con imágenes satelitales, abarcando un período de 20 años. Los datos censales indican que las áreas agrícolas (cultivos anuales) se incrementaron en 10,3%, mientras que los destinados a pasturas y pastos naturales, disminuyeron un 15% y un 18,5% respectivamente.

En esta zona, en general, los productores del sector agropecuario desarrollaron respuestas con la finalidad de adaptarse a los cambios instrumentados, a través de la tecnificación y la diversificación de la producción. Otro elemento relevante, ha sido la tendencia a la centralización productiva en unidades de mayor tamaño. En este caso, debe destacarse que el desarrollo de sistemas productivos mixtos ha sido posible gracias a la aptitud de las tierras del área (López Bidone, 2010).

Un aspecto importante a tener en cuenta en las cuencas hidrográficas fuertemente antropizadas, es el impacto de estas actividades en la cobertura vegetal y la producción de escurrimiento. Existen métodos que permiten estimar el escurrimiento superficial. Uno de ellos es el Método del Número de Curva (NC) desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de Estado Unidos.

Según Rodríguez Vagaría y Gaspari (2012), en Argentina, el método del NC ha sido ampliamente utilizado para predecir el escurrimiento superficial en estudios de diseño de medidas de conservación de suelos, aunque se discute su precisión. Desde 1973, Scotta y sus colaboradores han instalado parcelas de escurrimiento que les permitió iniciar un estudio tendiente a perfeccionar el método de NC en la Estación Experimental Agropecuaria de Paraná (Scotta et al., 1989). Bertoni (1997) aplicó el NC para cuencas rurales para estimar la respuesta hidrológica de la región pampeana ante la implementación de prácticas agrícolas. En el área serrana bonaerense, Gaspari (2002) generó una zonificación del NC a partir del estudio del tipo de suelo y cobertura vegetal a nivel de cuencas hidrográficas, estableciendo un modelo óptimo del comportamiento hidrológico del suelo. Este método establece complejos suelo-vegetación a los cuales se les asigna un valor, denominado Número de Curva o Número Hidrológico (NC), que define sus condiciones hidrológicas. Este NC, está adaptado para situaciones diferenciales de sitio, considerando el suelo y la cobertura vegetal, estableciendo para superficies impermeables y superficies de agua $NC = 100$; para superficies naturales $NC < 100$.

FUNDAMENTACION DE LA ELECCIÓN DEL TEMA DE ESTUDIO

El hombre cumple una función perturbadora en la evolución natural de una cuenca hidrográfica, es decir, al intervenirla mediante la explotación de los recursos que ella posee, provoca cambios en las interrelaciones de sus componentes, por lo que el sistema tiende a un equilibrio diferente al original.

Según Liniger y Weingartner (2008) la vigilancia de los recursos naturales y de su uso y la evaluación de los efectos causados por los cambios en el uso de las tierras altas sobre la disponibilidad y la calidad del agua en los valles son las primeras medidas que se precisan para una buena ordenación. Mientras que los efectos de las alteraciones en el uso de la tierra sobre el escurrimiento y la erosión pueden cuantificarse claramente en parcelas experimentales y pequeñas captaciones, los efectos sobre la hidrología necesitan una investigación más detenida. Se podrán así comprender y determinar mejor los límites o umbrales esenciales para el uso de la tierra y su intensificación. Se necesita a nivel local, nacional e internacional una gestión integrada de los recursos que abarque tanto zonas altas como las tierras bajas de una cuenca, así como la cooperación entre investigadores, planificadores, administradores y usuarios en todos los niveles. Hay que evaluar los efectos de las futuras actividades humanas en las cuencas altas sobre la disponibilidad de recursos aguas abajo, para poder introducir políticas mutuamente beneficiosas. Sólo la gestión integrada de las cuencas fluviales puede asegurar el uso eficiente, la distribución equitativa y la administración y regulación efectivas del agua de las montañas en beneficio de toda la humanidad.

Es por ello que se justifica la realización de estudios, que generen información sobre la cobertura vegetal y los cambios espacio - temporales y su influencia en la producción de escurrimiento superficial. Esta información podría ser empleada para futuros estudios que permitan inferir valores en la producción de sedimentos, en distintos escenarios de uso del suelo y para ser utilizados en el ordenamiento del territorio.

Vázquez et al, 2014, afirman que el deterioro ambiental derivado de la expansión agrícola en la región pampeana, tienen una manifestación territorial avanzando sobre áreas naturales (como son los pastizales) aumentando el laboreo de las tierras. Asimismo, las sierras de Tandilla cumplen una importante regulación hídrica. Una gran parte de los arroyos de la provincia de Buenos Aires nacen en estas sierras, las que en su estado natural contribuyen a amortiguar el descenso de las aguas hacia las zonas llanas. Parte de las aguas de precipitaciones son retenidas

debido a las características de las rocas, suelos y cubierta vegetal, de forma tal que luego dan lugar a los típicos manantiales que vierten lentamente las aguas precipitadas. En este sentido, Vázquez *et al.* (2012) plantean que la elaboración de propuestas tendientes al ordenamiento territorial de los ecosistemas agroproductivos constituye una tarea prioritaria para asegurar la protección de los recursos naturales (agua, suelo, vegetación) que sustentan el desarrollo de las actividades.

Tomando en cuenta los importantes cambios producidos en la región pampeana en general y en la zona de Tandilla en particular, se determinó que el tema de estudio se desarrolló en la cuenca alta del arroyo Napaleofú, situada en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, comprendiendo los partidos de Tandil y Balcarce.

HIPÓTESIS DE TRABAJO

La modelización hidrológica, en base al cambio de uso del suelo en cuencas rurales, determina la cuantificación de caudales líquidos, permitiendo extrapolar su metodología a cuencas homólogas.

La aplicación SIG para el estudio de los cambios en el uso del suelo constituye una herramienta accesible y confiable para determinar la evolución espacio temporal de una cuenca hidrográfica.

OBJETIVO GENERAL

Analizar la influencia del cambio de uso del suelo sobre el escurrimiento superficial en la cuenca alta del Arroyo Napaleofú

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Diagnosticar el ambiente de la cuenca alta, como caso de estudio en el área serrana del sistema de Tandilia.
- ✓ Estudiar los procesos hidrológicos.
- ✓ Modelizar los regímenes de escurrimiento superficial.
- ✓ Zonificar espacial y temporalmente los cambios de cobertura y uso del suelo.
- ✓ Evaluar la disponibilidad del recurso agua bajo diferentes coberturas y usos del suelo.
- ✓ Definir la influencia del cambio de uso del suelo sobre el escurrimiento superficial.

MARCO TEÓRICO

CUENCA HIDROGRÁFICA

Las cuencas hidrográficas son unidades físicas que sirven como marco práctico y objetivo para la planificación y gestión del desarrollo sostenible. Un enfoque sistémico del concepto de cuenca hidrográfica supera la idea de reducirla a una superficie de convergencia del escurrimiento hídrico superficial ya que considera a todo el complejo biogeomórfico y humano. Bajo esta concepción la cuenca hidrográfica representa un espacio físico tangible que permite la concurrencia integral y multisectorial (actividades económicas y productivas). La misma constituye un instrumento valioso del Estado y la sociedad para administrar su actividad, conciliar intereses económicos y sociales, conservar la biodiversidad y permitir un uso sostenido de los recursos naturales representando a una unidad de planificación y gestión para el Manejo de los Recursos Naturales (Gaspari et al., 2006).

En el estudio y planificación de una cuenca hidrográfica es indispensable la comprensión y aplicación del concepto de estabilidad para el buen uso y manejo de los recursos naturales. En la actualidad la presión del hombre sobre éstos es tan fuerte que su efecto sobre las características del medio pueden, y de hecho hacen, que un ecosistema cambie por completo y su respuesta varíe en perjuicio del hombre. El enfoque integral y conocimiento sistémico de la cuenca sirve de referencia para proyectar el desarrollo sustentable regional, como así también la determinación del impacto ambiental de toda actividad humana (Bruno, 2000).

Una forma apropiada para abordar el estudio de una cuenca es concebirla desde la visión de sistemas. De esta manera, la cuenca hidrográfica, se puede definir “como un sistema de relaciones sociales y económicas cuya base territorial y ambiental es un sistema de aguas que fluyen a un mismo río, lago o mar o como un territorio caracterizado por un sistema de aguas que afluyen a un mismo río, lago o mar y cuyas modificaciones se deben a la acción o interacción de los subsistemas sociales y económicos que abriga” (Gaspari et al. 2009).

Los componentes principales de los subsistemas que determinan el funcionamiento de una cuenca intervenida por el hombre son los elementos naturales (agua, suelo, vegetación, clima, etc.) y los elementos humanos (socio-económicos y jurídico-institucionales (FAO, 1988). Es por ello que surge el concepto de manejo integral de cuencas hidrográficas, basado en el estudio de las interrelaciones de sus componentes y su efecto sobre el medio ambiente.

CICLO HIDROLÓGICO

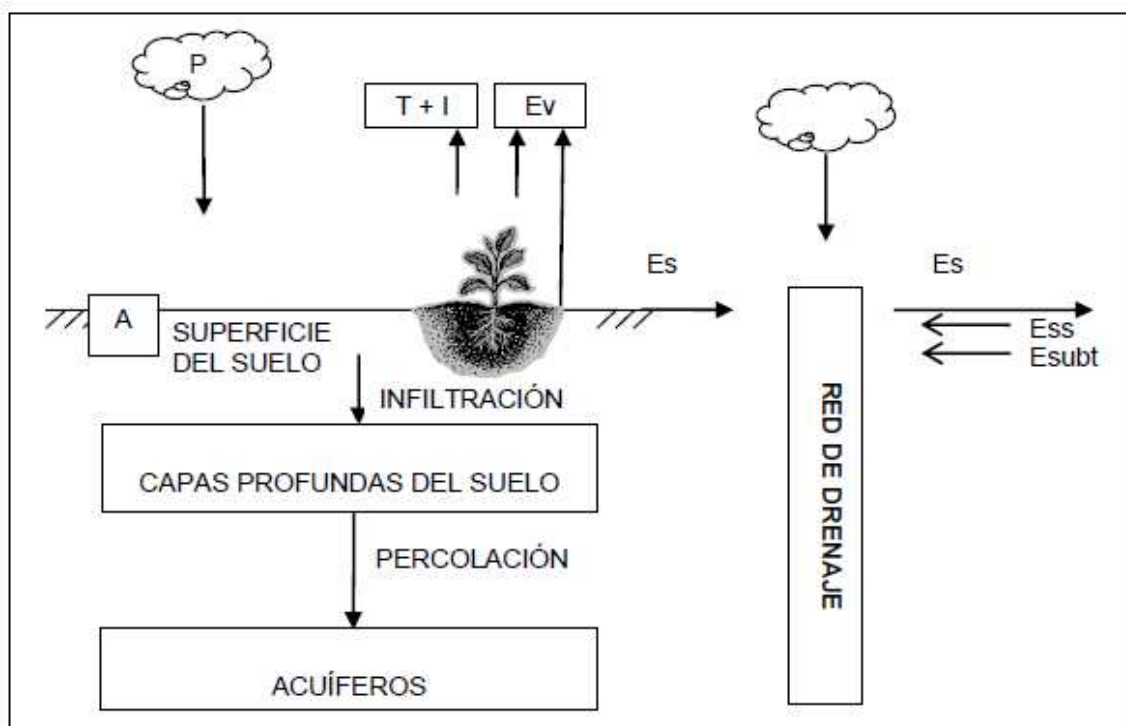
El funcionamiento de una cuenca se asemeja al de un colector que convierte parte del agua proveniente de la precipitación en escurrimiento. Las condiciones climáticas y las características físicas particulares de la cuenca son las que determinan este funcionamiento e influyen en la descripción de la dinámica del ciclo hidrológico. Este funcionamiento se basa en los principios del ciclo del agua y sus relaciones con el suelo, la cobertura y uso de la vegetación, la topografía y el agua, en tiempo y espacio. Debido a ello, al estudiar una cuenca hidrográfica se analiza y trata de describir el comportamiento del agua superficial.

El conocimiento particular del movimiento del agua en una cuenca permite organizar, ordenar y planificar la misma. Por ello la caracterización del ciclo hidrológico generará un diagnóstico básico para todo estudio en esta unidad hidrológica.

El ciclo hidrológico es un modelo conceptual que describe la presencia y el movimiento del agua en la Tierra y sobre ella. El agua de la Tierra esta siempre en movimiento y constantemente cambiando de estado, desde líquido, a vapor, a hielo, y viceversa. El ciclo se basa en una entrada principal, la precipitación (P), y salidas de agua como son la evaporación del suelo y de cuerpos de aguas (si estos existieran), la evaporación, transpiración de las plantas o evapotranspiración (Ev) como agua que regresa a la atmósfera, la que ingresa al suelo (Infiltración y Percolación) y el escurrimiento (E), que se encuentran en movimiento casi continuo en las capas horizontales del suelo (Gaspari et al., 2013). La energía del sol junto con factores meteorológicos de temperatura, viento, radiación solar y humedad producen escurrimiento en los cuerpos de agua y evapotranspiración en las plantas y suelo. En ambos procesos se produce la pérdida de agua y la transformación del agua de estado líquido a gaseoso. El vapor de agua mientras sube a la atmósfera, pierde calor y se condensa alrededor de núcleos de condensación transformándose en pequeñas gotas de agua, las cuales se agrupan, formando las nubes, y por su tamaño se precipitan a la tierra en forma de lluvia, granizo o nieve. Durante el proceso de infiltración, una parte es retenida por el suelo cuya capacidad de almacenamiento depende de la porosidad del suelo. Una vez saturada la capacidad de almacenamiento, el agua ya no infiltra y se transforma en escurrimiento superficial; otra parte se transforma en flujo subsuperficial y el resto percola alimentando los acuíferos profundos. El agua que se infiltra y percola tiene una continuidad horizontal convirtiéndose en escurrimiento subsuperficial y subterránea cuyo destino final es un río o el mar. El

escurrimiento superficial tiene como destino final un arroyo, río, lago, una laguna o el mar.

La Figura 1 representa un esquema general del ciclo hidrológico, indicando los diferentes elementos (Gaspari et al 2013).



P: Precipitación; Ev: Evaporación - Evapotranspiración; T: Transpiración; Es: Escurrimiento superficial; I: Intercepción; Ess: Escurrimiento sub-superficial; A: Almacenamiento; Es subt: Escurrimiento subterráneo

Figura 1. Ciclo Hidrológico (Fuente Gaspari et al, 2013)

ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

El flujo de agua de lluvia que cae sobre un suelo ya saturado y circula en forma laminar y descendente por las laderas de una cuenca hidrográfica se denomina escurrimiento.

El escurrimiento superficial es causado por una lluvia que cae sobre un suelo ya saturado. Esto ocurre típicamente sobre las pendientes de colinas o cerca a una banca de la corriente, en las cuales el suelo se satura desde abajo por el flujo subsuperficial y así mantiene condiciones cercanas a la saturación.

Adicionalmente, el flujo superficial, puede ser observado durante y después de un aguacero intenso hasta encontrarse una capa impermeable cercana a la superficie (Bonell y Gilmour, 1978).

Cuando se inicia una tormenta, primero se satura la vegetación y el escurrimiento es nulo. Este va en aumento hasta alcanzar un porcentaje en relación a la intensidad de la lluvia que es constante. Tanto el porcentaje como la intensidad del escurrimiento derivan de la intensidad de la lluvia. El escurrimiento se inicia cuando el suelo y la vegetación están saturados o cuando la intensidad de la lluvia es muy superior a la intensidad o capacidad de la infiltración y además la generación de escurrimiento depende que antes se complete el agua de almacenamiento superficial.

El escurrimiento superficial está directamente relacionado con los cambios de cobertura vegetal y uso del suelo en tiempo y espacio. Su cuantificación es importante en los procesos de erosión hídrica superficial de los suelos, la cual genera fragilidad en los sistemas ambientales.

FACTORES QUE AFECTAN EL ESCURRIMIENTO

El volumen total de escurrimiento y sus valores máximos están influenciados directa o indirectamente por características climatológicas y biofísicas. Los más importantes son aquellos que están relacionados con las características de la cuenca y con las precipitaciones. Entre ellos se pueden mencionar:

a) Factores agroclimáticos: volumen, intensidad y distribución, en el tiempo, de las precipitaciones. La intensidad y la duración de las lluvias determinan el volumen total de agua escurrida en la cuenca. Las precipitaciones de baja intensidad y larga duración saturan la capacidad de retención del suelo. Las lluvias de gran intensidad provocan desagregado de las partículas del suelo sellando la superficie, disminuyendo la tasa de infiltración y aumentando el escurrimiento superficial.

b) Factores fisiográficos: se destacan la extensión, la forma y la pendiente media de la cuenca; las condiciones de la superficie del terreno como son la geología, tipo de suelo, permeabilidad, labores de cultivos, densidad de drenaje y capacidad de evacuación de la misma, entre otros.

IMPORTANCIA DE LA COBERTURA VEGETAL Y/O USO DEL SUELO SOBRE EL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

Los cambios en la cobertura y usos del suelo son resultado de la acción conjunta de factores endógenos y exógenos que se encuentran relacionados con el desarrollo económico, el crecimiento poblacional y con los cambios tecnológicos y ambientales. Estos cambios incluyen modificaciones en superficie e intensidad de uso, siendo los principales factores que contribuyen al cambio climático global a través de las emisiones de gases de efecto invernadero (Lambin y Geist, 2007).

Los mayores impactos sobre los sistemas hidrológicos son causados por cambios en los patrones de cobertura y uso del suelo. Registros históricos de parámetros relacionados con la calidad del agua han permitido demostrar que en humedales dentro de cuencas que han perdido parte de su cobertura vegetal natural, la calidad del agua declina. Asimismo, los cambios en los usos del suelo alteran significativamente las características hidrológicas de la superficie de los terrenos modificando los patrones y tasas del flujo del agua. Si el balance hídrico se modifica sobre amplias superficies de una cuenca puede tener impactos en el corto, mediano y largo plazo, aumentando los volúmenes de escurrimiento y la reducción de los suministros de agua a acuíferos (Berlanga-Robles et al, 2011).

MODELOS PARA DETERMINAR EL ESCURRIMIENTO

La modelación de caudales de escurrimiento se puede realizar mediante métodos paramétricos que utilizan fórmulas empíricas basadas en datos de la cuenca hidrográfica. La simplicidad con que se trata el fenómeno en estos casos, hace que los resultados tengan un valor orientativo para períodos de tiempo suficientemente amplios, siendo desaconsejable su uso con series meteorológicas cortas o incompletas. Cuanto menos factores o parámetros intervienen, más sencilla resulta la fórmula de aplicar, pero ofrece menores garantías (López Cadenas del Llano, 1998).

Para modelar la circulación de caudales en cuencas existen enfoques empíricos, basados en el análisis de información simultánea de precipitación y caudales con una adecuada resolución temporal y otros métodos que tienen en cuenta las características físicas y morfológicas de la cuenca, como es el caso de cuencas sin aforar.

Una herramienta para realizar estudios que integren la influencia del cambio de usos del suelo sobre el escurrimiento son los análisis geoespaciales integrados en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los SIG permiten estimar la respuesta hidrológica según se asocie a posibles modificaciones producidas en la cuenca por los cambios en la cobertura y uso del suelo, provocados por actividades antrópicas. Esta forma de abordar el estudio de la dinámica de uso del suelo por medio del análisis de imágenes satelitales, permite estimar el aumento y/o la disminución de la superficie cultivada en el tiempo (Herrera, 1983).

El uso de modelos de proyección cartográfica del cambio en el uso del suelo son relativamente confiables, debido a la eficacia y exactitud espacial que le otorga el uso de bases de datos geográficos, integrados a un SIG (Sandoval y Oyarzun, 2003). Estos modelos de cambio de uso se han transformado en una poderosa herramienta de análisis espacial que permite explorar los mecanismos que fuerzan los cambios de uso del suelo y las variables sociales, económicas y espaciales que los ocasionan; a proyectar los potenciales impactos ambientales y socioeconómicos derivados de los cambios en el uso del suelo, y a evaluar la influencia de alternativas políticas y regímenes de manejo sobre los patrones de desarrollo y uso del suelo (Aguayo et al., 2009). Utilizan parámetros simples, que incluyen, por ejemplo, la extensión de áreas urbanas, expansión de la frontera agrícola, vías de transporte, las condiciones topográficas, existencia de áreas protegidas, zonas de recarga de acuíferos y de drenaje. Esta información se puede incorporar en un mismo mapa que permite visualizar patrones, relaciones y tendencias de los cambios espacio - temporales. Los SIG proporcionan una perspectiva dinámica de la información que permite tomar decisiones tendientes al ordenamiento territorial.

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

1. Ubicación geográfica

El área en estudio corresponde a la cuenca alta del arroyo Napaleofú, ubicada en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Territorialmente está situada en los partidos de Tandil, Lobería y Balcarce. El cierre de la cuenca, sobre la ruta nacional 226, se halla a los 37° 33' 27" LS y a los 58° 47' 39" LO (Figura 2).

La cuenca está emplazada en la Pampa Húmeda, en el área de influencia del sistema denominado Sierra Septentrionales de la provincia de Buenos Aires o Tandilia, que se ubican en el centro-SE de dicha provincia y se extienden con forma de arco en sentido NO-SE (Barranquero et al, 2012).

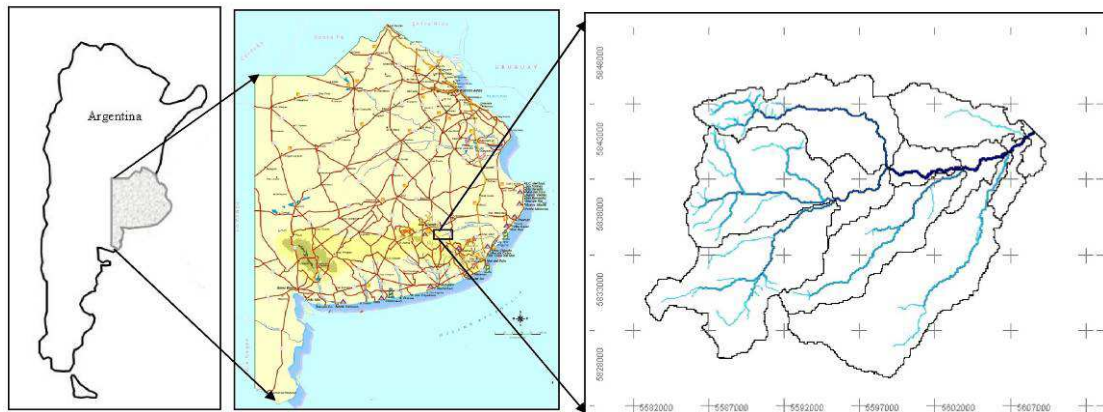


Figura 2. Ubicación de la Cuenca alta del arroyo Napaleofú. Argentina. (Fuente Senisterra et al. 2014)

2. Clima

La región de Tandilia se ubica dentro del dominio de la dinámica de dos sistemas de circulación atmosférica diferentes. Por un lado se encuentran los climas fríos y secos característicos de la acción de los vientos provenientes del SO. Por otro lado, se desarrollan los climas húmedos y cálidos que son característicos de la acción de los vientos provenientes del anticiclón del Atlántico sur y que entran a la región por el N y NE. Con menor intensidad aparecen los vientos húmedos y fríos del SE. Los vientos del oeste predominan en invierno, mientras los vientos del norte y noreste son predominantes en verano (Tchilinguirian et al., 2004).

Según la clasificación climática de Thornthwaite, es un clima C2 B' r a', lo que indica un clima mesotermal subhúmedo-húmedo, con nula o pequeña deficiencia de agua. La temperatura media anual, para el período 1968-2011, fue de 13,9° C, y la precipitación media anual fue de 901 mm. Las máximas precipitaciones se presentan en picos durante los meses de marzo, y de octubre a febrero. A partir de los datos meteorológicos de la estación Tandil Aeropuerto, se confeccionó un climodiagrama, que permitió visualizar la distribución de la temperatura y las precipitaciones anuales para el período 1968-2011 (Figura 3).

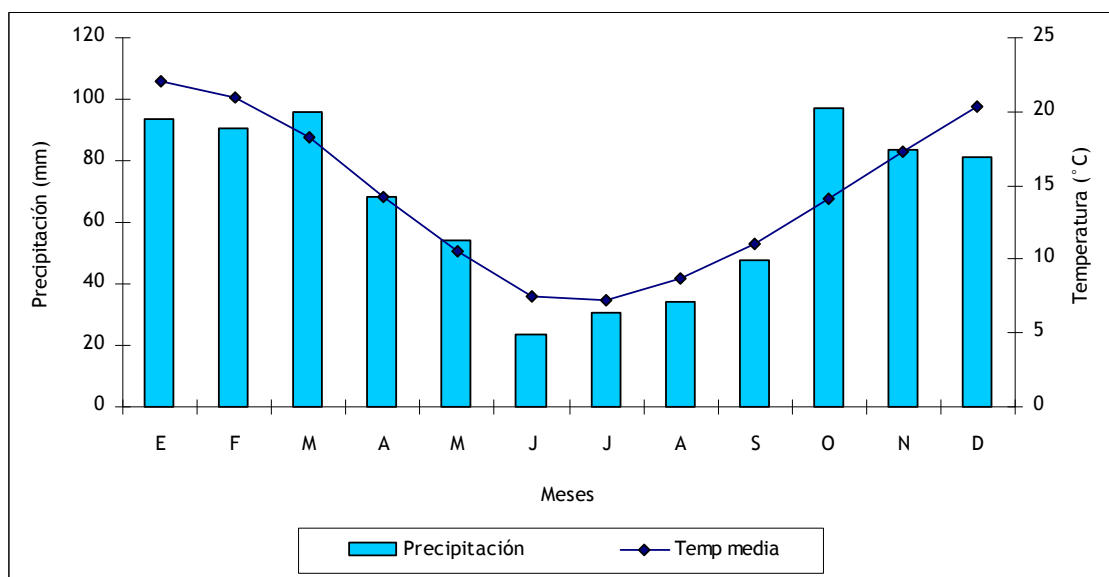


Figura 3. Evolución de la precipitación mensual (período 1968-2011)

El análisis de las precipitaciones anuales para el período 1968-2011 reflejó una tendencia a la disminución de las mismas hacia el año 2011, como se observa en la Figura 4.

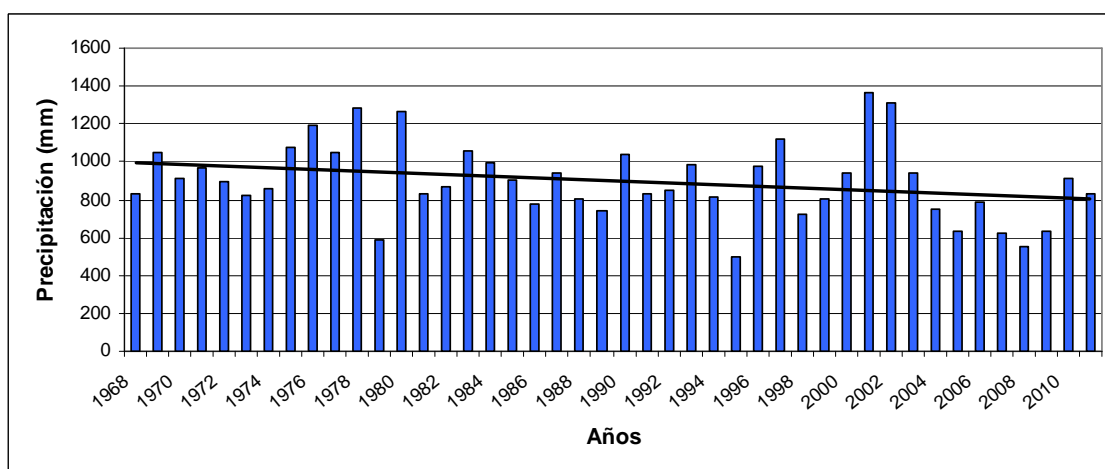


Figura 4. Evolución de las precipitaciones anuales (período 1968-2011) (Elaboración propia).

Según resulta del balance hídrico y del cálculo de la evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite y Mather elaborado por Barranquero et al. (2012), efectuado con los datos de temperaturas y precipitaciones promedio mensuales de 101 años provenientes de la Estación Tandil del Servicio Meteorológico

Nacional, el clima de la ciudad de Tandil puede tipificarse como subhúmedo húmedo, mesotermal, con un déficit de agua poco significativo. El promedio anual de las precipitaciones es de 838 mm, la evapotranspiración de 712 mm.

A través de la resolución del balance hídrico para el período 1900-2000 (Tabla 1), considerando una capacidad de retención específica de los suelos de 150 mm, se determina un valor medio de evapotranspiración real igual a 694 mm, con un déficit poco significativo (18 mm) correspondiente a los meses de enero, febrero y marzo. Los excesos hídricos suman 144 mm y se distribuyen en los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre (Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005).

Tabla 1. Balance hídrico para el período 1900-2000. (Fuente: Barranquero et al 2012).

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
P mm	86	78	99	68	67	49	41	44	61	83	83	79	838
ETP	124	95	83	51	29	17	18	22	33	55	78	107	712
P-ETP	-38	-17	16	17	38	32	23	22	28	28	5	-28	
$\Sigma(P-EP)$	-66	-83	-28										
Alm.	96	85	101	118	150	150	150	150	150	150	150	124	
Dif Alm	-28	-11	-26										
Déficit	10	6	2	18									
Excesos					6	32	23	22	28	28	5		144
ETR	114	89	83	51	29	17	18	22	33	55	78	105	694

3. Hidrografía

Los sistemas fluviales del sistema de Tandilla tienen bien definida la cuenca de aporte en el sector serrano donde los cauces están labrados en la roca o en sedimentos loessicos. En este tramo los sistemas son permanentes o efímeros, influentes y las aguas básicamente son bicarbonatadas y poco salinas. La zona de transferencia, se desarrolla en el piedemonte proximal sobre sedimentos limo arenosos, mientras que el tramo distal de la cuenca, se ubica en la llanura. En último sector se desarrolla los denominados "derrames aluviales" que son sectores donde no se observan cauce bien definido y las crecientes inundan grandes áreas en forma mantiforme y con un diseño, que en planta, tiene drenaje distributivo. En la zona de la llanura, los cauces están poco marcados, son efluentes con aguas salinas y básicamente son sulfatadas.

Generalmente en estos sectores las inundaciones son prolongadas y el agua permanece por largos períodos. Esto se debe al exceso de lluvia en el lugar, sumado al agua recibida de las partes más elevadas. La sierra de Tandil constituye una divisoria de primer orden que divide el drenaje hacia el noreste, en dirección a la Pampa Deprimida y hacia el suroeste, donde se encuentra la Pampa Interserrana Bonaerense (Tchilinguirian et al., 2004).

4. Fisiografía

El cordón de Tandilia representa una provincia fisiográfica, constituida por sierras, cerros, cerrilladas y lomas que sobresalen entre 50 y 250 m de la llanura pampeana. Alineado en sentido NO-SE por algo más de 300 km, su ancho es variable, siendo menor (unos seis kilómetros) en ambos extremos y mayor en la parte central (unos 60 km en la zona de la ciudad de Tandil). En cuanto a las alturas, las mayores se hallan en las inmediaciones de los 500 m.s.n.m (Fernández et al. 2008).

Desde el punto de vista fisiográfico, el área de Tandilla se enmarca en dos grandes unidades: la Llanura Chaco-pampeana y las sierras Septentrionales de Buenos Aires (Tandilia). Dentro de la primera unidad se destacan tres subregiones: la Pampa Deprimida, la Pampa Interserrana y la Pampa Pedemontana.

- Las Sierras Septentrionales o Sistema de Tandilia constituye una cadena de cerros de escasa altura y aislados que están compuestos por rocas de edad paleozoica inferior y precámbrica. Esta cadena discontinua de sierras se extiende desde la ciudad de Mar del Plata hasta algo más al oeste de la localidad de Olavarría (Tchilinguirian et al. 2004).
- La Pampa Deprimida y la Pampa Interserrana ocupa la parte norte y sur del área de Tandilia. Constituye una llanura sin ondulaciones y con pendientes del orden del 0,01% que fue y es modelada por la acción eólica e hídrica. El modelado esta en cierta manera controlado por la presencia de bancos de duricostras calcáreas (tosca). Otras geoformas son: terrazas y planicies aluviales y diferentes generaciones de paleocauces y cubetas de deflación (Tchilinguirian et al. 2004).
- La Pampa Pedemontana es el ambiente de transición entre la sierra y las zonas mas bajas de la llanura. Es una zona de acumulación de sedimentos provenientes de la degradación de la sierra y donde dominan las geoformas modeladas por la acción hídrica. Según la posición geográfica

con respecto a las sierras de Tandilia, la Pampa Pedemontana es diferenciada en Intraserana y Periserrana (Tchilinguirian et al. 2004).

Ruiz de Galarreta y Banda Noriega (2005) definen que la zona de sierras presenta sectores con relieve escarpado con rocas aflorantes y otros de relieve ondulado con un basamento cristalino cubierto con un delgado manto de loess. Esto determina un marcado control estructural de la dinámica hidrológica. Las aguas, que se concentran en pequeñas subcuencas, generan un avenamiento superficial integrado con diseño dendrítico y con un gradiente máximo que va disminuyendo hacia el NE, en el sentido de flujo subterráneo. La zona de piedemonte posee pendiente más suave que la de sierras y presenta ciertas depresiones aisladas que interrumpen la regularidad del relieve. Se extiende desde el quiebre de pendiente aledaño a la zona de sierras hasta aproximadamente la curva topográfica de 135 msnm. La zona de llanura, se extiende aguas abajo de esta curva topográfica continúa hasta la depresión del río Salado. En este ambiente las pendientes son muy suaves y se presentan materiales superficiales que fueron en principio eólicos y sufrieron posteriormente un transporte y redepositación por parte de aguas mantiformes provenientes de las sierras. Estas características hacen que el avenamiento superficial sea poco definido y pobremente integrado, con cauces estrechos y en sectores cursos temporarios que se pierden en suaves depresiones (Barranquero et al., 2012).

Según Tchilinguirian et al, 2004 las unidades geológicas definidas en el área de estudio, según criterios geotécnicos y litológicos, son tres:

- Rocas metamórficas y plutónicas de edades precámbricas.
- Sedimentitas paleozoicas.
- Sedimentos limosos y limo -arenosos cuaternarios.

A continuación se presenta una breve descripción de cada unidad geológica.

Las **rocas metamórficas y plutónicas**, geotécnicamente, constituyen macizos fracturados, con una red de diaclasas espaciadas entre 0,5 a 2 m que dan lugar a bloques y prismas rocosos. Las diaclasas son subverticales y subhorizontales. Asimismo, la roca está alterada cerca de la superficie y por debajo del contacto con las sedimentitas paleozoicas. El espesor de la alteración es de 2 a 10 m según el lugar de observación.

Las **sedimentitas paleozoicas** se apoyan sobre el basamento y agrupan un conjunto de litologías, compuestas por estratos bien definidos de ortocuarcitas, pelitas, calizas y pizarras. Las ortocuarcitas son las dominantes en la columna

estratigráfica y son las que afloran notoriamente en el paisaje debido a su elevada resistencia a la erosión. Las ortocuarzitas son rocas que se presentan fracturadas en diaclasas verticales lo que determina que el macizo se encuentre fracturado en bloques regulares. Se presentan con espesores de 60 a 80 m.

En los **sedimentos del cuaternario** se encuentran los loésicos del pleistoceno inferior y medio que presentan texturas limo-arenosas, con estructuras masivas, algo duros y rompen en húmedo con valores variables de permeabilidad. Los sedimentos loésicos del pleistoceno superior tienen texturas limo-arenosas finas. Son más friables en seco y en húmedo se disgregan fácilmente. Las capacidades portantes no son buenas en seco y en húmedo son algo plásticos y pueden originar problemas de adhesión. Tienen buena permeabilidad. En los arroyos ubicados en proximidad a las sierras, se encuentran sedimentos aluviales holocenos, con texturas arenosas medias a finas y mezcladas con un gran porcentaje de limos provenientes de la erosión del loess. Los sedimentos coluviales se ubican en las laderas de las sierras. Generalmente son de composición arenosa con 10% a 40% de limo mezclado con gravas y bloques irregulares de cuarcitas y granitos. En áreas con sedimentos del cuaternario, el solum comprende a los horizontes orgánico-minerales y tiene entre 0,5 a 1,5 m de profundidad y está constituido por el horizonte A y B del suelo. Las texturas del solum generalmente dependen del horizonte analizado. El horizonte A1, generalmente es arcillo limoso, muy plástico y friable. El horizonte B, es arcilloso.

5. Suelos

Los suelos característicos del área de estudio están representados en un 90% por el orden Molisoles. En forma más detallada, puede indicarse que en las sierras de Tandil se desarrollan principalmente hapludoles líticos, en el piedemonte se destacan los argiduales y hacia el NE del área de estudio la presencia de materiales más finos permite el desarrollo de natracuales típicos (Barranquero et al. 2012).

Los Molisoles son básicamente suelos negros o pardos que se han desarrollado a partir de sedimentos minerales en climas templado húmedo a semiárido, aunque también se presentan en regímenes fríos y cálidos con una cobertura vegetal integrada fundamentalmente por gramíneas. La incorporación sistemática de los residuos vegetales y su mezcla con la parte mineral ha generado en el transcurso del tiempo un proceso de oscurecimiento del suelo por la incorporación de materia orgánica, que refleja más profundamente en la parte superficial, la que se denomina epipedón mólico.

Otras propiedades que caracterizan a los Molisoles son: la estructura granular

o migajosa moderada y fuerte que facilita el movimiento del agua y aire; la dominancia del catión calcio en el complejo de intercambio catiónico, que favorece la fluctuación de los coloides; la dominancia de arcillas, moderada a alta capacidad de intercambio y la elevada saturación con bases.

Estos suelos son utilizados por el hombre, en un alto porcentaje, para la producción de alimentos. Estos suelos han sido parcialmente lixiviados y la saturación con bases permanece alta. Los afectan tanto la falta de humedad suficiente, que resulta crítica en las regiones secas ocupadas por estos suelos, como las inundaciones periódicas que son un peligro en algunas tierras bajas.

Tomando en cuenta la carta de suelos del INTA, 1986, escala 1:500.000, (SAGYP-INTA. Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires. 1989; INTA. Atlas de Suelos de la República Argentina. 1995) los suelos presentes en el área de estudio son los siguientes:

DOMINIO EDÁFICO 1

El dominio edáfico 1 se caracteriza por ser el material originario una fina capa de loess de menos de 50 cm. Cubre gran cantidad de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. Los suelos de este dominio ocupan las partes altas de las sierras de Tandilla, con formas redondeadas. Los Hapludoles líticos se desarrollan sobre un delgado manto de loess que cubre las rocas. Donde el espesor del loess es mayor a los 50cm se desarrollan Argiudoles o Hapludoles típicos, en fases someras y muy someras. En los valles interserranos, con relleno loésico que supera el metro de profundidad, aparecen Argiudoles y Hapludoles típicos, en fase inclinada.

Descripción de la Unidad Cartográfica 1a.

1a $\frac{R-M_{18}-Li3}{Pr-r}$

El paisaje se caracteriza por formas redondeadas de las rocas graníticas

Los suelos son una Asociación Hapludoles líticos, franco fino, que ocupa principalmente las pendientes de las partes altas, constituidas por rocas aflorantes desprovista suelo. Los Hapludoles típicos, someros se presentan como suelos menores en donde la cobertura eólica alcanza espesores suficientes. Las limitaciones están dadas por las rocas en superficie y las pendientes altas.

Descripción de la Unidad cartográfica 1b.

1b $\frac{M_{18} \text{ tc3s} - M_{17} \text{ tcs} - M_{18} \text{ Li3}}{\text{Pr} \quad \text{Pe}}$

El paisaje se corresponde con la parte superior de las sierra tipo meseta del sistema de Tandilla, constituida por mantos subhorizontales de ortocuarcitas, cubiertos por delgados depósitos de loess. Los suelos presentes son una asociación de Hapludol típico, franco fino, somero, con Argiudol típico, somero y Hapludol lítico.

DOMINIO EDÁFICO 2

Los suelos del dominio edáfico 2 se desarrollaron a partir de materiales loésicos que han cubierto por completo los faldeos de las sierras, en este caso del sistema de Tandilla. Este sedimento tiene un espesor aproximado de 100 cm con variaciones debidas a que antiguamente ha sepultado una topografía más accidentada que la actual. Generalmente está apoyado sobre una costra calcárea de distribución regional.

La granulometría y la naturaleza del sedimento son muy homogéneas. La inclinación de los terrenos y la costra calcárea subsuperficial son las dos características que definen este dominio.

Las ondulaciones más pronunciadas del pedemonte se registran en las cercanías de las partes cuspidales de las sierras. En estos sectores, los Hapludoles petrocálcicos se localizan en las partes superiores de las lomas, donde la tosca está más cercana a la superficie. Las pendientes y senos entre lomas están ocupadas por Argiudoles típicos, franco finos y sus fases someras e inclinadas. En las partes más alejadas del pedemonte donde el relieve se atenúa, se hallan los Argiudoles típicos de familia fina, asociados con Argiudoles ácuicos.

En las vías de escurrimiento que nacen en los faldeos y luego ingresan en otras unidades geomorfológicas, se hallan los Argialboles argiácuicos, Udipsamentos típicos, Ustifluventes mólicos, Natracualfes típicos y Natracuoles típicos.

Los Hapludoles énticos y sus fases someras, solo se encuentran en las unidades de N-NO, transicionales a subregiones geomorfológicas donde los materiales originarios son más gruesos.

Descripción de la Unidad Cartográfica 2 a

2a $\frac{M_{17} \text{ tc3si} - M_{17} \text{ tc} - M_{18} \text{ pa}}{\text{H} \quad \text{Pr}}$

El paisaje se corresponde con lomadas y pendientes adosadas a las sierras de Tandilia, con inclinaciones que decrecen al alejarse de las áreas elevadas. Hay algunos afloramientos de tosca que no alcanzan gran extensión; en general, ésta se halla limitando la mayor parte de los perfiles, a una profundidad de un metro.

Los suelos son una asociación de Argiudol típico, franco fino, somero e inclinado, ubicado en pendientes y senos entre lomas; Argiudol típico en algunos sectores cóncavos donde el espesor del loess supera el metro; Hapludol petrocálcico, en la parte alta de las lomas donde la tosca está cerca de la superficie.

Los suelos menores presentes son los Argialbol típico, en lagunas y cubetas; Argiudol ácuico, en vías de escurrimiento sin cauce elaborado.

La profundidad de casi todos los suelos está limitada por la costra calcárea; los Hapludoles petrocálcicos tienen escasa capacidad de almacenamiento de agua.

Descripción de la Unidad Cartográfica 2 b

2b $\frac{M_{17}tc2s - M_{17}ac - M8tc}{Pr \quad D}$

El paisaje está definido en las últimas estribaciones de los pedemontes serranos, transición entre éstos y la región extremadamente plana de los derrames. No presenta ondulaciones, pero sí microrrelieve; aparecen numerosas cubetas.

Los suelos son una Asociación de Argiudol típico, fino, somero, con Argiudol ácuico y Natracuol típico. El primero ocupa la mayor parte de las pendientes y microelevaciones; el segundo se encuentra en los planos deprimidos y cubetas; el último se desarrolla en los bordes de las cubetas o en algunas áreas deprimidas pequeñas que sufren encharcamientos esporádicos.

Los suelos menores presentes son Argiudol típico, profundo, donde el espesor del loess es superior al metro; Argialbol típico, en cubetas bien definidas.

La principal limitación de estos suelos es que la mayor parte de los Argiudoles no tienen más de 100 cm de profundidad y el perfil está interrumpido por tosca.

En cubetas y áreas deprimidas los suelos permanecen anegados durante períodos prolongados. El tenor de sodio de los Natracuoles (más del 20% de Na en el B2t) limita la capacidad de uso de esta unidad.

Descripción de la Unidad Cartográfica 2d

2d $\frac{M_{17}tc3si - M_{18}pa}{Pr \quad h}$

El paisaje se presenta con lomadas y pendientes adosadas a las sierras de Tandilia; los declives decrecen al alejarse de las mismas. Se observan manchones de tosca aflorante o muy cercana a la superficie en la parte alta de las lomas; en las pendientes, en cambio, se encuentra cercano al metro de profundidad.

Los suelos son una Asociación de Argiudol típico, franco fino, somero e inclinado, ubicado en las pendientes y los senos entre lomas; Hapludol petrocálcico, en la parte apical de las lomas.

Los suelos menores son Argiudoles típicos en las depresiones entre lomas; algunos pueden ser pobremente drenados, pero no llegan a manifestar suficientes rasgos hidromórficos para ser clasificados como ácuicos.

Las limitaciones son provocadas por la presencia de tosca subsuperficial. Existe susceptibilidad a la erosión hídrica, favorecida por las labores a favor de la pendiente. En muchas lomas hay pedregosidad y además se produce un rápido desecamiento del suelo en épocas estivales.

6. Flora y Fauna

El área de estudio forma parte de la Región Neotropical y dentro de ella integra parte del Dominio Chaqueño, constituyendo una parte de la Provincia Pampeana. Esta provincia constituye el territorio más adecuado para la agricultura y la ganadería y la vegetación primitiva ha sido destruida o alterada casi en su totalidad (Cabrera, 1971). En los ambientes serranos la vegetación es principalmente autóctona. Sin embargo, en gran parte del área de estudio, ha sido modificada por acción antrópica. La vegetación se corresponde con la estepa de gramíneas propias del pastizal pampeano. La zona serrana posee mayor diversidad de especies y es más variada, destacándose las petunias salvajes, arvejillas, carqueja, la malva rubia y la retama (*Sphaerocarpa*), entre otras. En el área de llanura se encuentran campos con pastos más duros, destacándose la cebadilla criolla. La mayor parte del área se encuentra afectada a la actividad agropecuaria.

La fauna está compuesta por aves, como cigüeñas y pájaros diversos, mamíferos (liebre, zorros, comadreas, entre otros), diversos tipos de reptiles (yará, culebras, lagartos overos, entre otros).

7. Estructura productiva del partido de Tandil

En la zona de Tandilia se han producido modificaciones relevantes en aspectos tecnológicos, sociales, económicos y culturales que han llevado al reemplazo de los ecosistemas naturales por la implementación de diferentes cultivos y actividades pecuarias. La zonificación, planificación territorial y el desarrollo de tecnologías productivas sostenibles son prioritarios ante cuando se trata de cubrir necesidades sociales y de conservación del patrimonio natural (Milano y Caselli, 2000).

La estructura productiva de la zona de tandilla se puede definir como distribuída en tres sectores: Primario, Secundario y Terciario. La principal actividad primaria es la agrícola ganadera predominando sobre el resto. La ganadería ocupa el 31% de la superficie, la agricultura representa el 39% y el resto está distribuido en otros usos. (Lauría et al 2000).

Las actividades agrícola-ganaderas y las explotaciones mineras componen el sector primario. La agricultura y la ganadería conforman el 70% y el 30% restante corresponde a la minería. Alrededor de 2000 establecimientos se encuentran dedicados a explotaciones agropecuarias, ocupando una superficie cercana a las 500.000 has. La mayor parte de las explotaciones están comprendidas entre una y cincuenta hectáreas, pero hay explotaciones de todo tamaño, incluso de más de 5.000 hectáreas.

Particularmente, la actividad agropecuaria, refleja una tendencia a optimizar los cultivos de trigo, maíz, soja y girasol y en la importancia creciente de la soja, y en especial del doble cultivo trigo/soja y trigo/girasol; a la vez que se observa un notable decrecimiento en áreas cosechadas de alpiste, avena y lino.

Se observa una concentración de la distribución espacial de la población en el Sudeste del Partido, posiblemente originada por el tipo de actividades económica, ganadera-tambera y agrícola extensiva. Los espacios que se caracterizan por la mayor densidad de población rural coinciden con zonas llanas, bien drenadas, con suelos aptos para el desarrollo de sistemas predominantes tales como: agrícola-ganadero y ganadero-tambero; estas fracciones se encuentran además particularmente distribuidas alrededor de las vías de comunicación, sin llegar a transformarse en asentamientos lineales.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Digitalización y procesamiento de información antecedente georreferenciada del área de estudio.

El material cartográfico utilizado para la elaboración del trabajo, consistió en cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar (IGM) a escala 1:50 000 de Estancia La Pacífica (Hoja 3760-29-4 con equidistancia 10 m.) (IGM, 1956), Estancia La Esperanza (Hoja 3760-30-3 con equidistancia 5m.)(IGM, 1955), Almacén La Numancia (Hoja 3760-35-2 con equidistancia 10m.) y San Manuel (Hoja 3760-36-1 con equidistancia 5 m.) (IGM, 1956).

La cuenca se definió dibujándola sobre la carta topográfica por divisorias de aguas, y su posterior digitalización. Para la digitalización de la cuenca y sus elementos se utilizó un programa de diseño asistido por computadora (CAD). El procesamiento de esta información vectorial, se realizó por medio de la pasterización de los mapas mencionados, con el programa de Sistema de Información Geográfica (SIG) Idrisi Taiga® (Eastman, 2006). La interpolación de las curvas de nivel permitió la generación del Modelo Digital de Elevación (MDE). Esta cartografía conformó la definición de subcuencas y la validación del drenaje.

Se ejecutó la digitalización de los vectores correspondientes a sistema de drenaje, caminos y otras vías de comunicación, como así también datos de límites de partidos y parcelas, presentes en las cartas topográficas mencionadas.

Además, se realizó un mapa de vegetación y uso del suelo con datos corroborados por un relevamiento in situ, con apoyo de imágenes satelitales Landsat 5 TM (enero de 2011) e imágenes de alta resolución provistas por el servidor Google Earth ® y un Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Los datos fueron procesados y clasificados en categorías según diferentes autores. A partir de la digitalización de dicha información se generó el modelo cartográfico temporal de uso del suelo.

2. Caracterización morfológica de la cuenca alta del arroyo Napoleofú

El análisis de las características morfológicas y funcionales de la cuenca se realizó a través de la determinación de parámetros de forma, de relieve y relativos a la red hidrográfica. Estos parámetros permitieron determinar la influencia de estos parámetros en el movimiento y captación del agua de lluvia (Henaos, 1988; Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; Gaspari et al., 2009).

Los índices de forma que se utilizaron para caracterizar esta cuenca fueron el Perímetro (P), el Área (A), el Coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc) y el Coeficiente de circularidad (Cc). El Kc relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo teórico de área equivalente al de la cuenca (Gaspari, 2002). Según Miller (1953), el Cc compara el área de la cuenca con el área de un círculo cuya circunferencia es igual al perímetro de la cuenca. Varía entre 0 y 1, indicando que valores cercanos a 0 expresan cuencas alargadas y los coeficiente cercanos a 1, cuencas redondeadas.

El relieve de la cuenca, junto con la forma, tiene influencia en su respuesta hidrológica e incide en la dinámica geoespacial del escurrimiento superficial. Los parámetros de relieve que se calcularon fueron la Curva hipsométrica (CH), la Curva hipsométrica adimensional (CHA) y la Integral Hipsométrica. La curva hipsométrica representa el área drenada que varía con la altura de la superficie de la cuenca. Según Strahler, la relación hipsométrica (Rh) es un importante indicador del estado de equilibrio de la cuenca. Cuando $Rh = 1$, se trata de una cuenca en equilibrio morfológico (Llamas, 1993).

La Figura 5 muestra tres curvas hipsométricas correspondientes a otras tantas cuencas que tienen potenciales evolutivos distintos. La curva superior (curva A) refleja una cuenca con un gran potencial erosivo; la curva intermedia (curva B) es característica de una cuenca en equilibrio; y la curva inferior (curva C) es típica de una cuenca sedimentaria. Las fases de la vida de los ríos quedarían representadas por: curva A que representa la fase de juventud, la curva B que indica la fase de madurez y la curva C que expresa la fase de vejez.

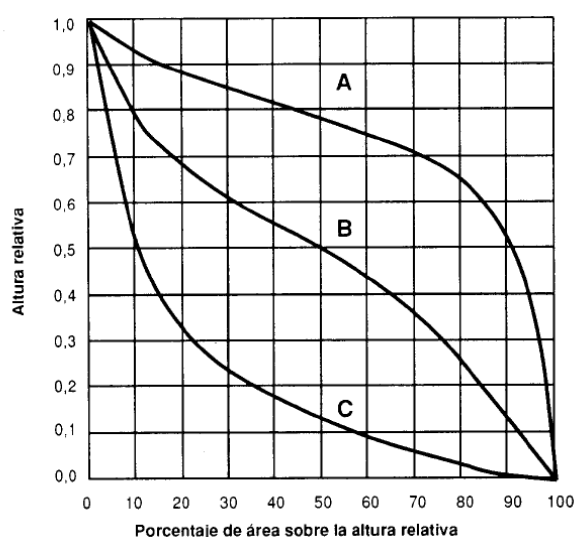


Figura 5. Curvas hipsométricas características según Strahler (Fuente: Llamas, 1994).

Según Racca (2007), cuando CHA presenta variaciones, ya sea por apartarse de las teóricas de Strahler o por presentar más de un punto de inflexión, puede evidenciar controles tectónicos o litológicos particulares.

Además se cuantificó la Pendiente media de la cuenca (PM) y la Altura media (AM) (Henaos, 1988; Gaspari et al., 2009).

Para la cuenca en estudio, se completó el análisis del relieve con un procesamiento geoespacial, según López Cádenas de Llano (1998), el cual clasifica los relieves según rangos porcentuales de pendiente. Esta clasificación considera relieve muy plano cuando la pendiente es menor al 0,5%, plano entre 0,5 y 1%, suave entre 1 y 3%, relieve con lomadas cuando la pendiente está entre 3 y 12%, accidentado cuando el rango es de 12 a 20%, muy fuerte entre 20 y 50 %, escarpado entre 50 y 70 % y relieve muy escarpado cuando es mayor a 70.

El estudio de la fisonomía de la red natural de drenaje permite evaluar las características hídricas cuando no se dispone de información hidrometeorológica cuantitativa. La forma y la densidad de la red de drenaje corresponden a la distribución o arreglo geométrico de los tributarios que lo conforman (Senciales González, 1998). Este arreglo de la red de drenaje, se conforma a través del tiempo, sobre la corteza terrestre, y se expresa mediante índices o parámetros que lo describen (Gaspari et al. 2009).

El establecimiento de un criterio de clasificación respecto de la circulación del agua en las cuencas es complejo, pues está influenciado por la longitud y forma de la cuenca, las pendientes del cauce principal y la pendiente del terreno.

La caracterización de los cursos de agua en la cuenca alta del Arroyo Napaleofú se definió a partir de los parámetros de drenaje que se detallan a continuación: Número de orden de los cursos (Strahler, 1964), Densidad de drenaje (Dd), Longitud del curso principal (L), Desnivel del cauce (DH), Pendiente media del cauce (J) y Coeficiente de sinuosidad (Cs) que se define como la relación entre el trazado del cauce principal (L) y cuanto se aparta de una línea recta, considerando que cuando Cs es menor a 1,25 representa cauces con poca sinuosidad. Por último se determinó el Tiempo de concentración (Tc) según Kirpich (Gaspari et al., 2009), que expresa el tiempo que tarda una gota de lluvia en moverse desde la parte más lejana de la cuenca hasta la salida. En ese tiempo, se presenta la máxima concentración de agua, es decir, el momento en que las gotas de lluvia llegan desde todos los puntos de la cuenca a la salida de la misma, expresado como un índice de drenaje. Según Ortiz (2004) cuanto mayor sea el tiempo de concentración, los caudales pico serán

más atenuados y las recesiones mucho más sostenidas, y cuanto menor sean, los caudales pico serán intensos y con recesiones muy rápidas.

3. Identificación de unidades cartográficas de suelo.

Se identificaron y describieron las unidades cartográficas de suelos a partir de la zonificación realizada por el INTA (1986). Este procesamiento se realizó con programa de Sistema de Información Geográfica (SIG) Idrisi Taiga® (Eastman, 2006), por medio de la digitalización de la cartografía en papel y su posterior rasterización para el análisis digital de la superficie de ocupación y distribución edáfica en la cuenca, a escala 1:500.000.

Los efectos hidrológicos del agua del suelo son factibles de ser estudiados mediante algunas variables del mismo, como la textura, la cual permitió definir los Grupos Hidrológicos correspondientes a cada suelo presente en la cuenca. Para ello se utilizaron las descripciones de las unidades cartográficas de suelos a partir de la Carta de suelos del INTA, escala 1:50.000, logrando un mayor detalle de cada unidad cartográfica. El procesamiento de esta información permitió generar una base de datos edáficos para completar la identificación de los grupos hidrológicos.

4. Evaluación espacial y temporal uso del suelo.

A partir de la clasificación realizada de una imagen satelital fue posible obtener las clases de uso de suelo presentes en el área de estudio. Al comparar esta clasificación con otra generada mediante el mismo procedimiento, de la misma zona geográfica, pero de un año diferente, fue posible determinar los cambios que se presentaron en la zona en ese intervalo de estudio. A ello se le conoce como análisis espacio-temporal (Danilo 2002).

Se realizó un análisis multi-temporal de uso de suelo con SIG, que abarcó una ventana de 25 años. Para ello se seleccionaron imágenes Landsat 5 TM, (Path 224 Row 86), correspondientes a fechas con igual tipo de estacionalidad climática, la cual correspondió a la estación seca, es decir entre los meses de diciembre y febrero. Las imágenes seleccionadas se hallaban sin nubes y limpias. A partir de esta primera preselección, se determinó la fecha óptima de coincidencia espaciotemporal de las imágenes como resultado del análisis de los datos de humedad de suelo antecedente, entre ellas las de precipitaciones menores a 13,5 mm en los cinco días previos a la

fecha de toma de la imagen. Esta información fue provista por la estación meteorológica de Tandil del Servicio Meteorológico Nacional.

Finalmente se seleccionaron tres imágenes de las siguientes fechas: 13 de enero de 1986, 26 de diciembre de 1996 y 18 de enero de 2011, obtenidas del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais de Brasil (INPE). La resolución espacial de las imágenes Landsat 5 TM fue de 30 metros x 30 metros por pixel, que en el terreno implican áreas de 185 km. x 185 km. A partir de éstas se definió una miniescena flotante, escena buffer, algo mayor que los límites de la cuenca (imagen de 2200 columnas y 2800 filas). Las bandas del sensor Landsat utilizadas en este trabajo fueron la 3, 4, 5 y 7. La banda 3 en el rango visible permite detectar suelos desnudos, las bandas 4 y 5 en el infrarrojo cercano y medio respectivamente ofrecen buena información espectral de los diferentes cultivos, cobertura y estado fitosanitario en general, mientras que la banda 7 permite discriminar rocas. Estas bandas pueden combinarse de a tres o más, generando imágenes de color compuesto que incrementan sus aplicaciones.

A partir de la escena buffer lograda anteriormente, se georreferenciaron las bandas mencionadas a coordenadas Gauss-Krüger faja 5, correspondientes a Argentina. Para ello, a cada banda se la identificó con datos de los vectores del sistema de drenaje georreferenciado a partir de las cartas IGM y de datos de GPS, para reconocer puntos verdad - terreno, tomados a campo, apoyados además de vectores de caminos, para verificar su distribución en las imágenes de satélite.

Con las imágenes georreferenciadas se realizaron las composiciones de bandas: BGR 543, BGR 453 y BGR 743. Posteriormente se seleccionaron para cada año la combinación de colores que facilitarían la delimitación de los distintos tipos de coberturas. Así, se seleccionó para el año 1986 la combinación BGR 543; para el año 1996 y 2011 la combinación BGR 743.

Con la imagen de 2011, se realizó una interpretación de distintos usos de suelo y posterior digitalización en pantalla, con apoyo sobre los polígonos uniformes validados con datos de relevamiento de campo para el año 2011. A partir de ésta información, se analizaron las anteriores (1986 - 1996) en condiciones de uso homogéneas. Para otros usos de suelo se realizaron entrevistas a productores de la cuenca y se consultó bibliografía y cartografía antecedente.

5. Análisis de la tasa de cambio de uso del suelo

Los cambios de uso del suelo se evalúan a través de la comparación histórica, detectada por imágenes satelitales de diferentes años (FAO, 1984; Ramos Reyes et al., 2004), las cuales se interpretan y generan información cartográfica que se procesa utilizando SIG. Estos programas computacionales son importantes para realizar evaluaciones de dinámicas de uso del suelo a través del tiempo.

A partir de los resultados alcanzados en los ítems anteriores, se cuantificó el cambio de uso del suelo utilizando una matriz de transición, que consiste en una tabla simétrica de doble entrada en cuyos ejes se presentan el uso del suelo y en cada celda la superficie de las áreas que experimentaron cambios entre los años 1986 y 2011 (Aguayo et al. 2009). Esta matriz se construyó a partir de la superposición y álgebra de mapas.

La tasa de cambio P se calculó a partir de la Fórmula 1

$$P = (100/t_2-t_1)*\ln(S_2/S_1) \quad \text{Fórmula 1}$$

Donde S1 y S2 (ha) corresponden a la superficie en el tiempo t₁ y t₂, expresado en años, respectivamente, y P es el porcentaje de cambio por año (Echeverría et al. 2006).

6. Modelización del escurrimiento superficial.

La cuantificación del escurrimiento superficial se estimó por el método del Número de Curva (NC), del Soil Conservation Service (SCS), United States Department of Agriculture (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; López Cádenas del Llano, 1998) a través la aplicación de un modelo dinámico geoespacial con SIG.

Este método sencillo se utiliza para calcular la lluvia efectiva como una función de la lluvia acumulada, la cobertura del suelo, el uso del suelo y las condiciones de humedad. Este modelo permite calcular las abstracciones de la precipitación de una tormenta, que por diferencia establece el escurrimiento.

Se supone que cada uno de los complejos suelo-vegetación se comporta de una misma forma frente a la infiltración. En cada uno de estos complejos, la precipitación generará diferentes caudales de escurrimiento en función del grado de permeabilidad del suelo.

La clasificación de los suelos reconoce cuatro grupos hidrológicos (GH):

- Grupo A: Incluye suelos muy permeables, que presentan escurrimientos mínimos. Son suelos profundos, arenosos, sueltos, con predominio de arena y grava, con muy poca arcilla y limo.
- Grupo B: En este grupo se ubican los suelos arenosos menos profundos y menos permeables que los del grupo A, pero en conjunto con moderada permeabilidad cuando están saturados.
- Grupo C: Se incluyen los suelos poco profundos que presentan poca permeabilidad al estar saturados. Contienen abundante arcilla y coloides.
- Grupo D: Suelos con el máximo escurrimiento superficial, muy impermeables. Son suelos arcillosos profundos con una capa de arcilla muy cerca de la superficie o con un subsuelo muy impermeable muy cercano a la superficie.

La definición de los grupos hidrológicos en la cuenca se estableció a partir de la clase textural del suelo, y en forma conjunta el diagrama triangular con las curvas de conductividad hidráulica a saturación (Figura 6)

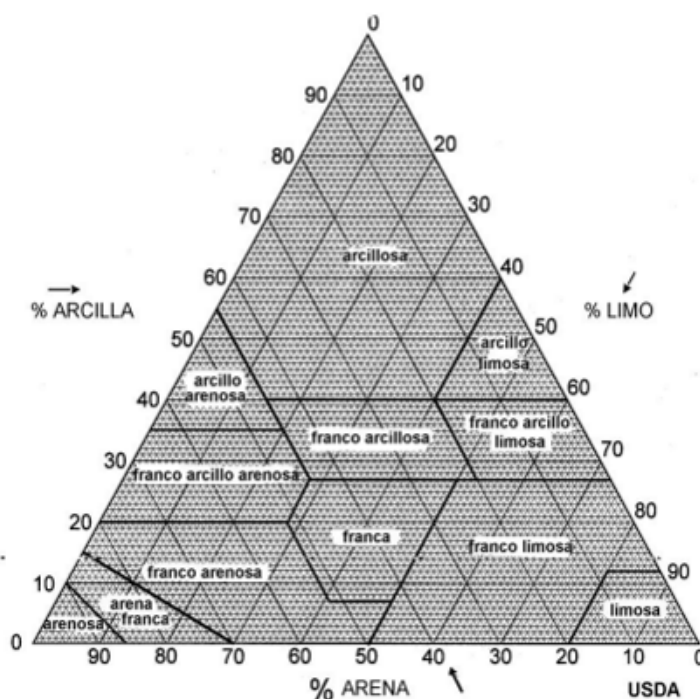


Figura 6. Diagrama triangular de texturas (United States Department of Agricultura - USDA)

El uso del suelo es otro factor que influye en el escurrimiento en esta metodología. La utilización productiva de los terrenos ya sea como pastizales, bosques o áreas de cultivo y los sistemas de siembra en hilera, surcos o en contornos determinarán diferentes caudales de escurrimiento. Por esta razón, para los usos de suelo de zonas húmedas y subhúmedas de los Estados Unidos y las prácticas de cultivo y tratamientos a los suelos, se obtuvieron los valores de NC para diferentes condiciones hidrológicas y tipos de suelos (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; López Cadenas del Llano, 1998).

Además de la definición del GH y de la cobertura vegetal se debe tener en cuenta la condición de humedad antecedente del mismo, es decir el estado de humedad del suelo previo a la precipitación. Esta situación antecedente de humedad permite definir tres condiciones básicas (considerando el contenido de humedad del suelo determinada en base a una lluvia dentro de los 5 a 10 días previos): húmeda, media y seca (López Cadenas del Llano, 1998).

El NC estima la abstracción inicial (I_0) de la precipitación, considerada como el 20 % de la máxima retención potencial (S) de cada complejo suelo - vegetación. S se calcula con la fórmula 2:

$$S = [254 \times ((100 \times (NC) - 1) - 1)] \quad \text{Fórmula 2}$$

El exceso de precipitación o escurrimiento superficial (P_e) (mm), en función de la precipitación acumulada (P) (mm), se estableció con según la Fórmula 3:

$$P_e = (P - I_0)^2 \times [(P - I_0 + S)^{-1}] \quad \text{Fórmula 3}$$

En este trabajo de tesis, se utilizaron NC adaptados según el complejo GH - uso y cobertura vegetal de diferentes autores (Chow et al., 1994; López Cadenas del Llano, 1998; Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; Gaspari et al., 2009; Mark y Marek, 2009; Rodríguez Vagaría y Gaspari, 2010). La humedad antecedente del suelo considerada en este trabajo fue la correspondiente a la condición media.

La precipitación utilizada para la zonificación del escurrimiento estuvo representada por una tormenta diaria modal de 73 mm para el año 1986, de 76 mm para el año 1996 y de 58 mm para el año 2011, medidos en la Estación Meteorológica Nacional de Tandil en el período 1968 - 2010. Estas precipitaciones fueron

determinadas a partir del estudio de las series históricas del período 1968-2010, del Servicio Meteorológico Nacional.

La ecuación de Pe se ajustó con un modelo cartográfico con SIG. El procesamiento geoespacial se realizó por una tabulación cruzada de la cartografía de las variables que la integran y por medio de un Modelo Algebraico Cartográfico que soluciona la ecuación de Pe. Esta metodología determina que el exceso de precipitación (Pe) es nulo hasta que la lluvia exceda la abstracción inicial (I₀).

La modelización espacio temporal del escurrimiento superficial con el método del Número de Curva (NC) se realizó con el modelo GeoQ, bajo el programa Idrisi Andes ® Versión 15.01. Este programa presenta un modelador de procesamientos (Idrisi Macro Modeler-IMM) que comprende un entorno gráfico para la construcción y ejecución de modelos de pasos múltiples.

El modelo GeoQ, es un IMM, que aplica el NC para el cálculo del escurrimiento a nivel espacial utilizando datos de suelo y vegetación y/o uso del suelo que, generalmente, son de fácil disponibilidad. (Rodríguez Vagaría y Gaspari, 2012). Además permite el procesamiento de un conjunto de mapas temáticos de entrada, a través de modelos matemáticos, para producir uno o varios mapas de respuesta. Estas capas temáticas pueden ser expresadas como una base de datos tabular, vectorial y/o en grilla (Eastman, 2006; Rodríguez Vagaría y Gaspari, 2012). Este modelo permitió generar mapas intermedios permanentes, necesarios como archivos de entrada durante las múltiples secuencias para la obtención de la zonificación del escurrimiento superficial en la cuenca (Figura 7).

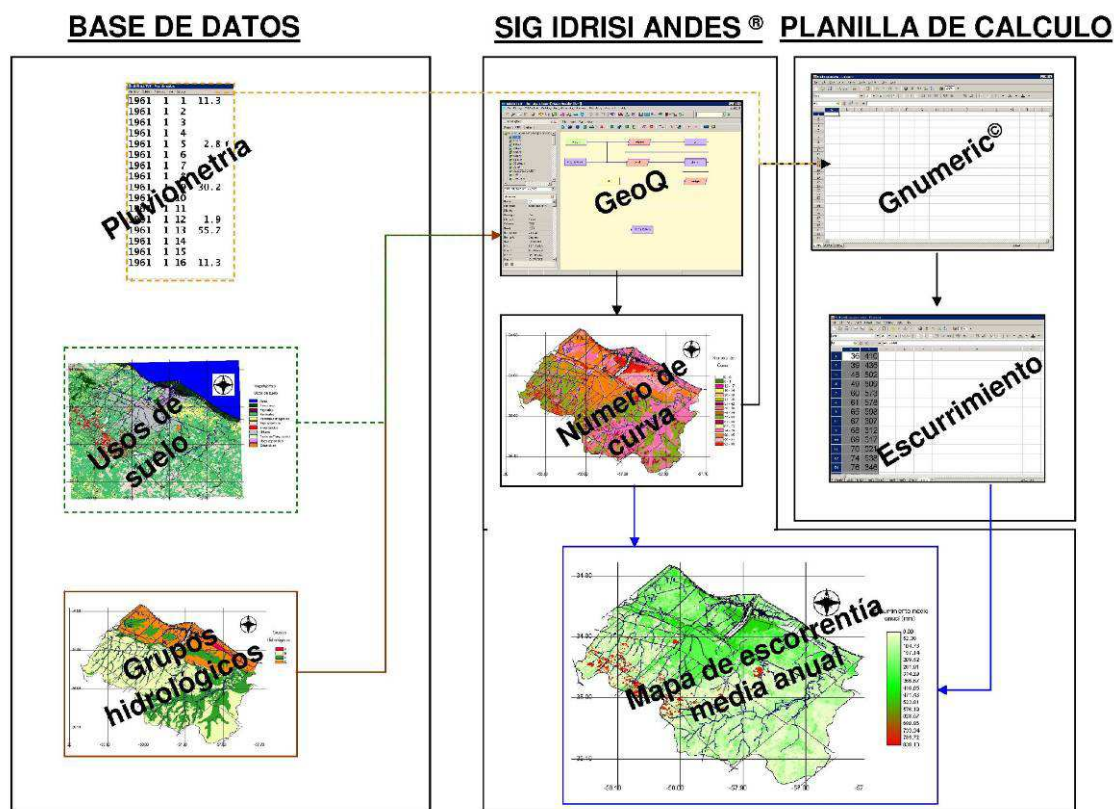


Figura 7. Modelo conceptual del Geo Q (Rodríguez Vagaría y Gaspari, 2012)

La secuencia del procesamiento, bajo el entorno gráfico de pasos múltiples incluye conversión de archivos vectoriales a raster, asignación automática de valores, operaciones matemáticas entre mapas y reclasificación de categorías para el procedimiento interconectado dinámico (Rodríguez Vagaría y Gaspari, 2012). La herramienta GeoQ se utilizó para gestionar y predecir la respuesta según se asocie a posibles cambios, por ejemplo, cambio de uso del suelo que induce a modificaciones en la cuenca. La zonificación y la comparación de la lámina de escurrimiento actual y de años anteriores, generó como resultado final un mapa de distribución geoespacial de la lámina de escurrimiento, en milímetros, basado en el método de NC.

Se obtuvieron mapas dinámicos de la cuenca utilizando SIG, que mostraron los cambios en la producción de escurrimiento durante los años analizados. Estos mapas se calcularon mediante la diferencia de los mapas de coeficiente de escurrimiento (CE) para los años 1986-1996 y 1996-2011 y como síntesis del período los cambios entre 1986-2011. El CE calculado se obtuvo a partir del cociente por álgebra de mapas del escurrimiento en relación con la precipitación correspondiente a cada año estudiado.

El signo positivo o negativo en el CE se interpreta como una disminución o aumento respectivamente, en la producción de escurrimiento.

7. Influencia del cambio de uso del suelo sobre el escurrimiento superficial.

Con toda la información precedente se obtuvieron los tres mapas de uso de suelo para los años estudiados. Para el procesamiento de la influencia del cambio de uso del suelo se utilizó el módulo Land Change Modeller del SIG Idrisi Taiga® para analizar y procesar, en forma integrada, las características edáficas con el uso del suelo, para lograr la vinculación espacio temporal.

El LCM es una aplicación diseñada para el análisis y la predicción de impactos relacionados con los cambios en el uso del suelo y la pérdida de biodiversidad asociada a ellos. Para modelizar los cambios esperados en un determinado territorio, el LCM utiliza dos mapas de cubiertas pertenecientes al mismo lugar y referentes a dos períodos de tiempo distintos.

En esta tesis, la aplicación del LCM permitió el análisis de los cambios acaecidos entre los períodos analizados, que fueron modelizados empíricamente a partir de un modelo matemático desarrollado en función de los cambios observados y además establecer evaluaciones de pérdidas y ganancias, cambio neto, persistencia y transiciones específicas, tanto en forma de gráficos como cartográfica.

Se determinaron los cambios de cobertura del suelo para los períodos 1986-1996, 1996-2011 y 1986-2011, elaborando:

- Relación de ganancias y pérdidas de cada categoría de uso de suelo (en hectáreas).
- Relación de ganancias y pérdidas de cada categoría (en porcentajes).
- Mapa de los cambios ocurridos en la ventana temporal analizada.
- Mapa de ganancias y pérdidas para los distintos tipos de suelo en particular incluyendo la persistencia, en la ventana temporal analizada.

Además, con el LCM se estableció la influencia del cambio de uso del suelo sobre el escurrimiento superficial, analizando espacio-temporalmente la cartografía generada por GeoQ.

8. Análisis del caudal de avenida y la Influencia del cambio de uso del suelo.

Para completar el análisis de la dinámica hídrica se realizó una recopilación de información de datos de caudales de avenida, tomados con limnómetro en una

estación de Aforo ubicada en la Ruta 226, con cota de 136,48 m IGM, de la Autoridad del Agua (ADA) de la provincia de Buenos Aires. A partir de estos datos, que corresponden al período 1963-2010, se realizó un análisis estadístico para definir la variabilidad temporal del caudal de salida de la cuenca del Arroyo Napaleofú.

Este análisis es orientativo, debido a la discontinuidad en la toma de los mismos, por parte de la Autoridad del Agua.

RESULTADOS

1. Digitalización y procesamiento de información antecedente georreferenciada del área de estudio.

El procesamiento de la información antecedente permitió generar la cartografía de base para la elaboración del trabajo.

A partir de las cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar (IGM) a escala 1:50.000 de Estancia La Pacífica (Hoja 3760-29-4 con equidistancia 10 m.) (IGM, 1956), Estancia La Esperanza (Hoja 3760-30-3 con equidistancia 5m.) (IGM, 1955), Almacén La Numancia (Hoja 3760-35-2 con equidistancia 10m.) y San Manuel (Hoja 3760-36-1 con equidistancia 5 m.) (IGM, 1956), se digitalizaron las curvas de nivel con SIG, a una equidistancia de 5 metros. A partir de este material, se definió el límite de la cuenca por divisorias de agua, definiendo el cierre de la misma en el cruce del arroyo Napaleofú y la ruta 226 porque se cuenta con información antecedente de la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires (Figura 8).

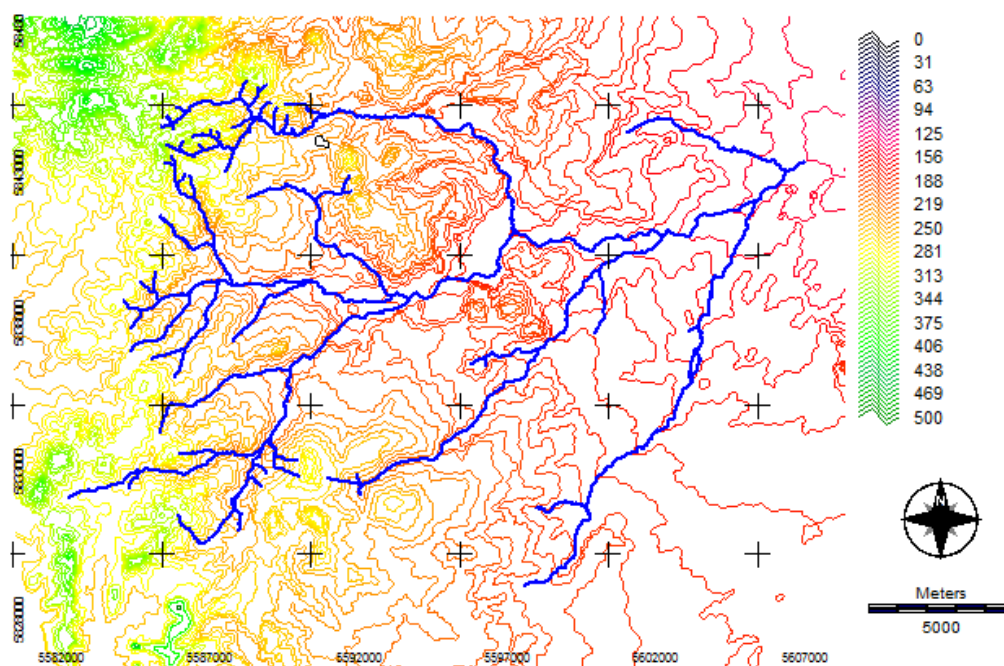


Figura 8. Mapa topográfico con el sistema de drenaje (Fuente: Elaboración propia).

Se digitalizó el drenaje (Figura 9), compuesto por cursos permanentes y transitorios, según la información del IGM. Los mismos fueron corroborados a campo con GPS.

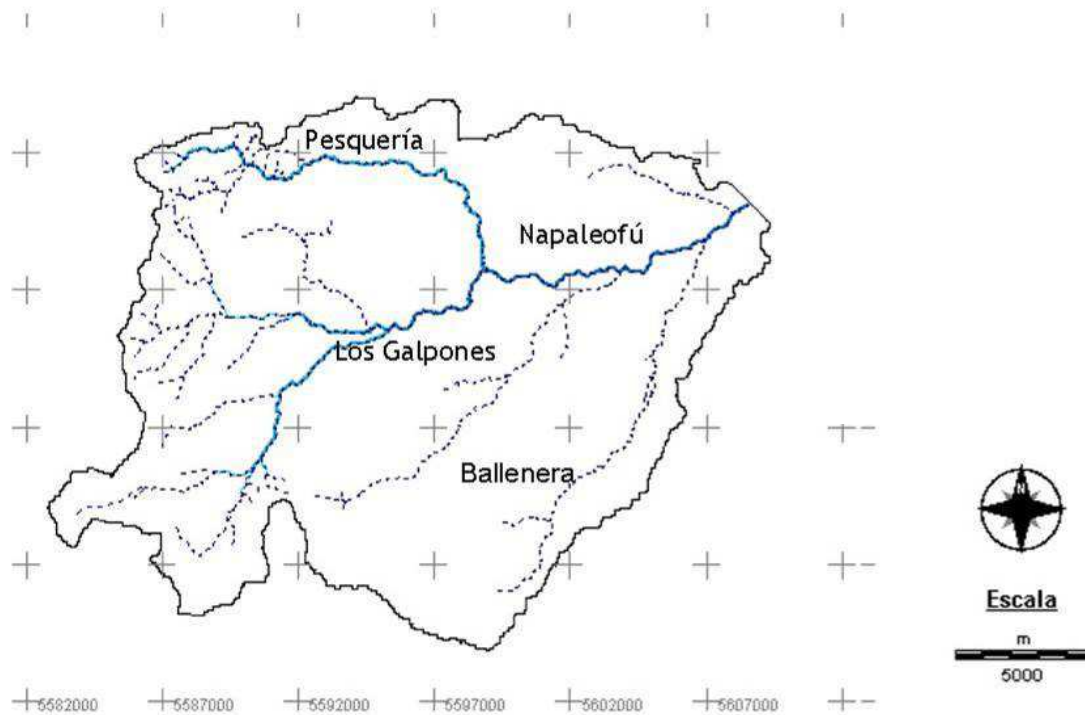


Figura 9. Red de drenaje de la cuenca del Arroyo Napaleofú (Fuente: Elaboración propia).

Posteriormente, con apoyo en un SIG, Idrisi Taiga®, se rasterizó el mapa de curvas de nivel, para su interpolación y la generación del Modelo Digital de Elevación (MDE). Esta cartografía permitió la definición de subcuencas (Figura 11) y la validación del drenaje digitalizado en pantalla con apoyo del MDE y de la imagen satelital utilizada. (Figura 10), constituyendo la base para el análisis morfométrico.

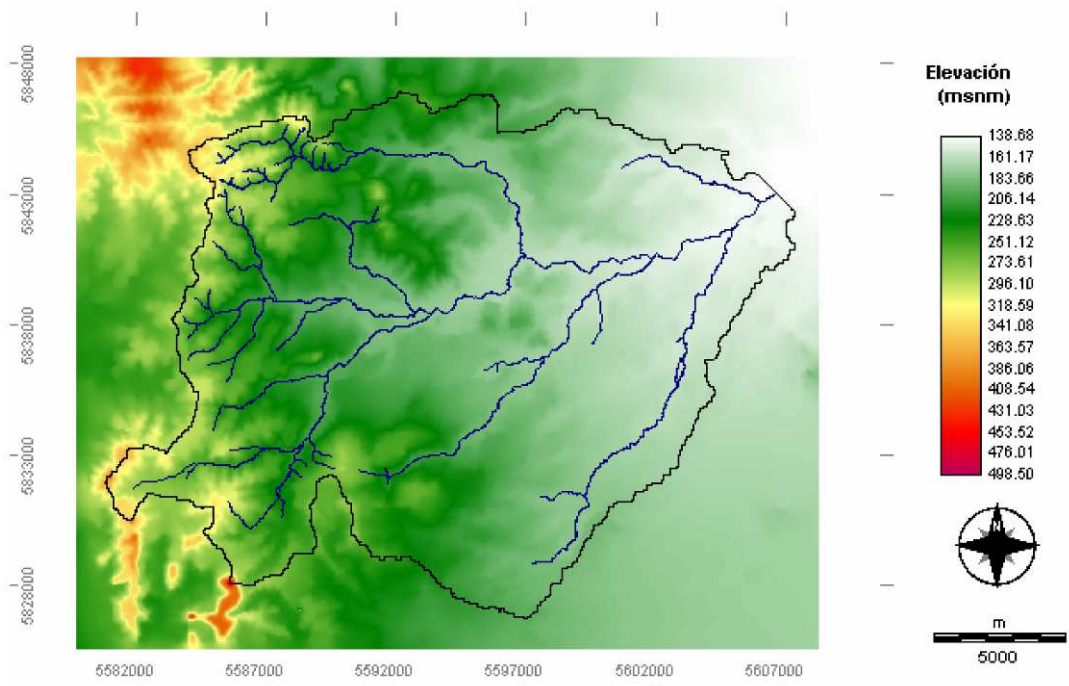


Figura 10. Modelo digital de elevación, con la cuenca y sistema de drenaje principal.

En la cuenca alta del Arroyo Napaleofú se definieron once subcuencas (Figura 11), en las cuales se determinaron los parámetros morfométricos de forma, relieve y drenaje.

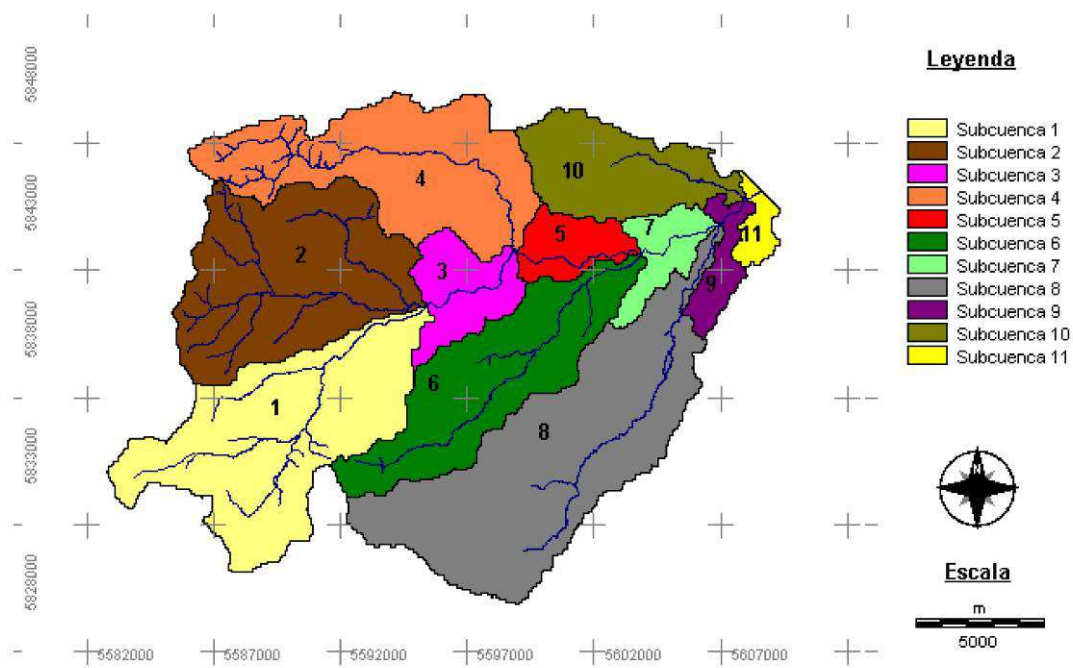


Figura 11. Subcuencas de la Cuenca alta del Arroyo Napaleofú. (Fuente: Senisterra et al 2014).

Posteriormente, se generó un modelo cartográfico de uso del suelo, considerando como momentos de estudio, para análisis geoespacial los años 1986, 1996 y 2011, corroborado por un relevamiento in situ con apoyo de imágenes satelitales Landsat 5 TM (enero de 2011) e imágenes de alta resolución provistas por el servidor Google Earth® y un Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Los datos fueron procesados y clasificados en categorías según la clasificación de INTA 1986. Este modelo cartográfico se finalizó con la aplicación del GeoQ. Los resultados alcanzados se presentan en los ítems correspondientes.

Para la corroboración de los usos del suelo, durante los años 2012 y 2013 se realizaron recorridas de campo para la recolección de datos, entrevistas productores, profesionales y técnicos que trabajan en la zona del sudeste bonaerense, especialmente en las áreas de Tandilla. El Licenciado Roberto Sánchez de la Universidad de Nacional del Centro, brindó información relacionada a los ambientes predominantes en la zona, especialmente relacionados a la vegetación. En charlas mantenidas con Profesionales de la Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agraria (AACREA), se generó un intercambio de opiniones y facilitaron información referente a las actividades agropecuarias. La Autoridad del

Agua de la Provincia de Buenos Aires proporcionó datos de caudales de avenida medidos a la salida de la cuenca en estudio y se firmó un acuerdo de trabajo para continuar con las actividades de monitoreo de caudales (Expediente N° 2436-20818/10). Además se compró e instaló una estación meteorológica en el establecimiento Estancia La Esperanza, ubicada dentro de la cuenca en estudio, para la obtención de registros meteorológicos, que permitirán la toma de datos para la continuidad de los estudios en la cuenca (Figura 12).



Figura 12. Estación meteorológica colocada en la Estancia La Esperanza.

2. Caracterización morfológica de la cuenca alta del Arroyo Napaleofú

Considerando que los aspectos geomorfológicos, que conforman el relieve, definen la morfometría de las cuencas hidrográficas, se presentan a continuación los resultados alcanzados de los parámetros analizados.

Parámetros de forma

Los parámetros de forma determinados se muestran en la Tabla 2. La superficie total de la cuenca es de 347,73 km², siendo la subcuenca 8 la de mayor superficie. A partir del Kc obtenido, se interpreta como oblongas las subcuencas 2 y

5. Las restantes presentaron valores de K_c superiores a 1,75, indicando forma rectangular oblonga. En coincidencia con K_c , los valores de C_c expresan que las diferentes subcuencas son alargadas. Este tipo de subcuenca es menos susceptible a las crecidas, debido al retardo en la contribución de la escorrentía hacia el cauce principal.

Tabla 2. Parámetros de forma. (Fuente: Senisterra et al 2014)

Subcuenca	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Área	(km ²)	58,9	54	14	50	9,5	41	8,9	73	6,5	25	3,9
	(%)	17	16	4	14	3	12	3	21	2	7	1
K_c		1,94	1,7	1,9	2,1	1,7	2,1	2,2	2,2	2,4	1,9	2
C_c		0,26	0,4	0,3	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3

Parámetros de relieve

En la Figura 12 se presentan las curvas hipsométricas (CH), donde se observa que las subcuencas de la cabecera (1, 2 y 4) nacen en cotas superiores a los 350 msnm y el 50% de la superficie tienen cotas superiores a los 210 msnm. El resto de las subcuencas tienen una altura máxima entre 150 y 280 msnm. El cierre de la cuenca es a los 139 msnm.

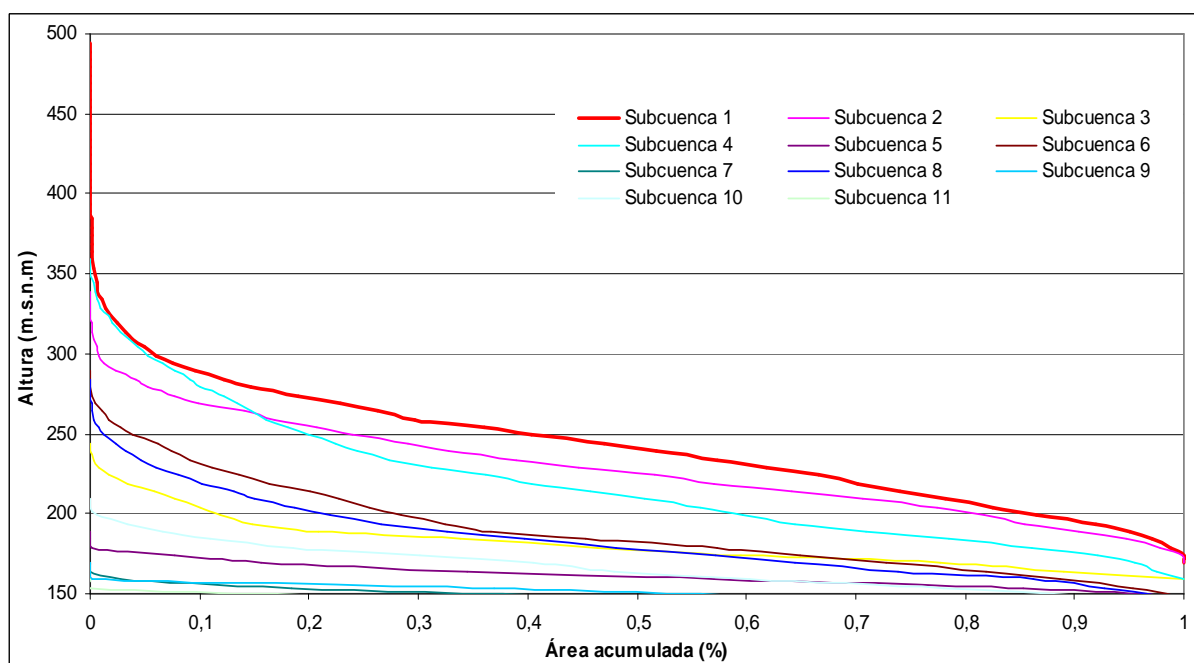


Figura 12. Curva hipsométrica de cada subcuenca. (Fuente: Senisterra et al. 2014)

Para comparar morfométricamente las diferentes subcuencas y expresar el potencial evolutivo se confeccionó la curva hipsométrica adimensional (CHA), con apoyo en el modelo digital de elevación con SIG. En la Figura 13 se muestran las CHA por subcuenca, definidas entre las curvas teóricas central e inferior propuestas por Strahler (1952), expresando que todas las subcuencas presentan actividad sedimentaria con tendencia al equilibrio, desarrollando una fase de madurez.

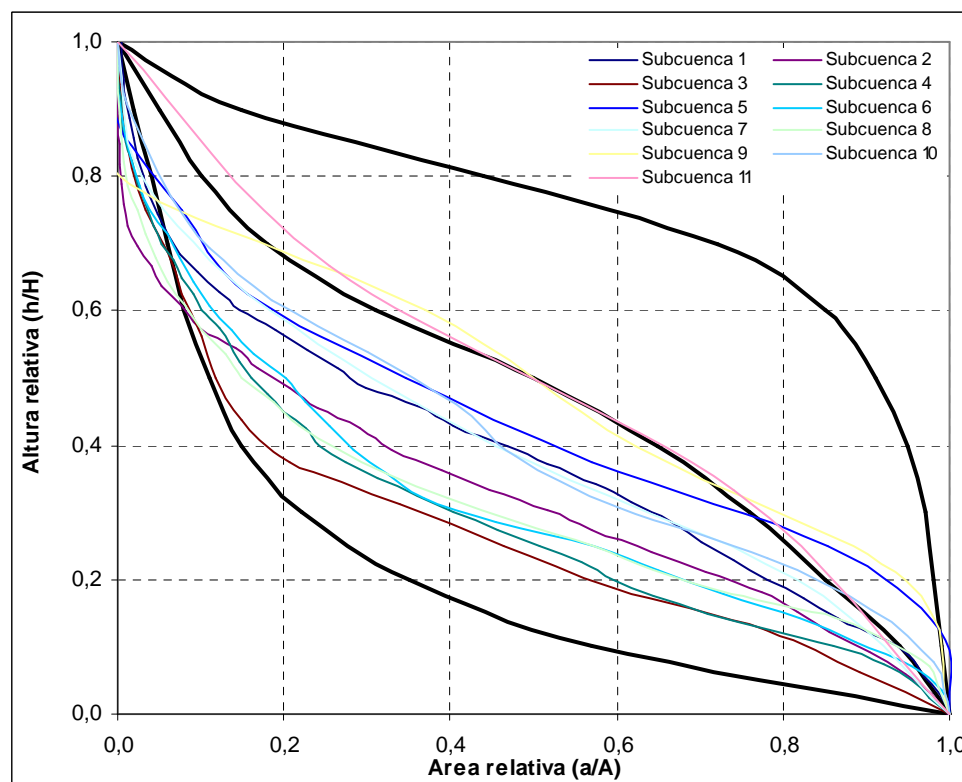


Figura 13. Curvas hipsométricas adimensionales de las subcuencas sobre la base de las teóricas de Strahler (Fuente: Senisterra et al 2014)

Asimismo, la integral hipsométrica expresa el estado de desarrollo particular de cada subcuenca (Figura 14), en coincidencia con las CHA. En esta figura, se interpreta que las subcuencas de la cabecera (1 a 4) son maduras con presencia de rocas metamórficas del Precámbrico. El resto de las subcuencas presentan sedimentos de origen Cuaternario, interpretándose como más jóvenes, hacia la desembocadura de la cuenca en estudio.

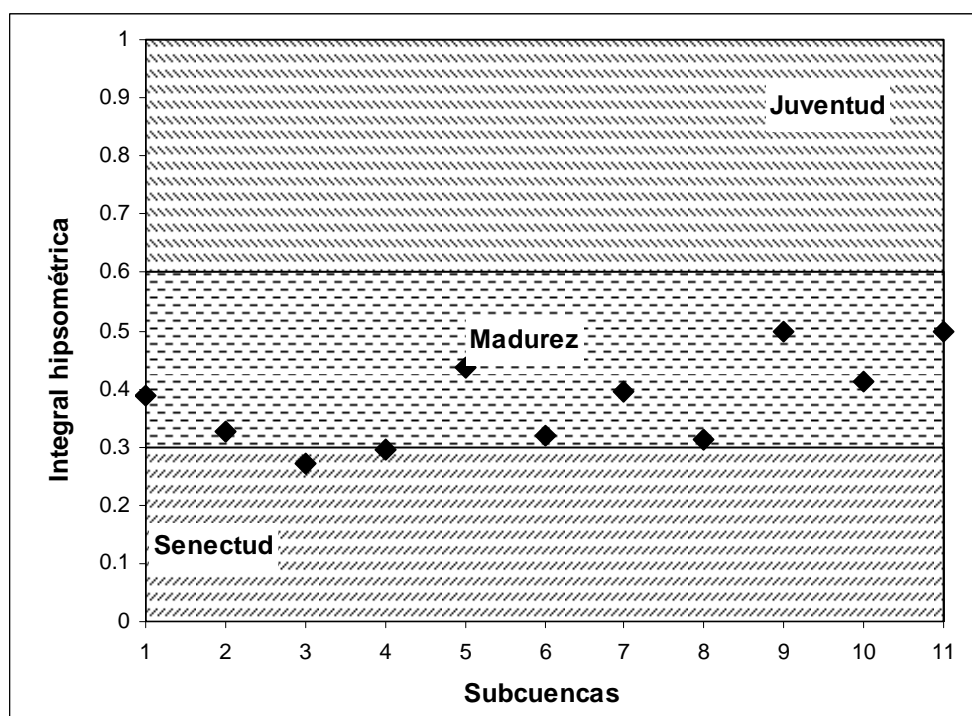


Figura 14. Integral hipsométrica de las subcuencas (Fuente: Senisterra et al 2014)

El proceso de degradación a que se ve sometida una cuenca hidrográfica está muy influenciado por la configuración topográfica. El poder erosivo en superficie se manifiesta en mayor o menor grado de acuerdo al gradiente de la pendiente (Henaos, 1988; López Cádenas de Llano, 1998). Para cuantificar este efecto, se determinó la altura media (AM) y la pendiente media (PM) de la cuenca utilizando el mapa topográfico, con aplicación del SIG. Los resultados se observan en la Tabla 3. La cuenca presenta una cota mínima de 138,68 msnm en la desembocadura y máxima de 498,50 msnm en la divisoria superior, generando un desnivel de 359,82 m.

Tabla 3. Parámetros de relieve de las subcuencas. (Fuente: Senisterra et al 2014)

Subcuenca	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
AM (msnm)	246,2	232,2	185,2	222,3	165,7	193,2	153,2	187,1	150,5	165,2	145,7
PM (%)	5,14	4,62	2,84	4,82	1,76	2,37	0,81	1,43	0,35	1,41	0,89

Altura media de la cuenca (AM), Pendiente media (PM)

Al aumentar la pendiente media y el desnivel de la cuenca, mayor será la posibilidad de generar crecidas (Gaspari et al. 2009). En la cuenca en estudio los valores fueron bajos, contribuyendo a que los picos de crecidas sean menos violentos.

Se realizó un mapa de pendientes (en %).a partir del modelo digital de elevación (MDE). El procesamiento y reclasificación de este mapa según López Cádenas de Llano (1998), permitió establecer los diferentes tipos de relieve (Figura 15) según: relieve muy plano cuando la pendiente es menor al 0,5%, plano entre 0,5 y 1%, suave entre 1 y 3%, relieve con lomadas cuando la pendiente está entre 3 y 12%, accidentado cuando el rango es de 12 a 20%, muy fuerte entre 20 y 50 %, escarpado entre 50 y 70 % y relieve muy escarpado cuando es mayor a 70.

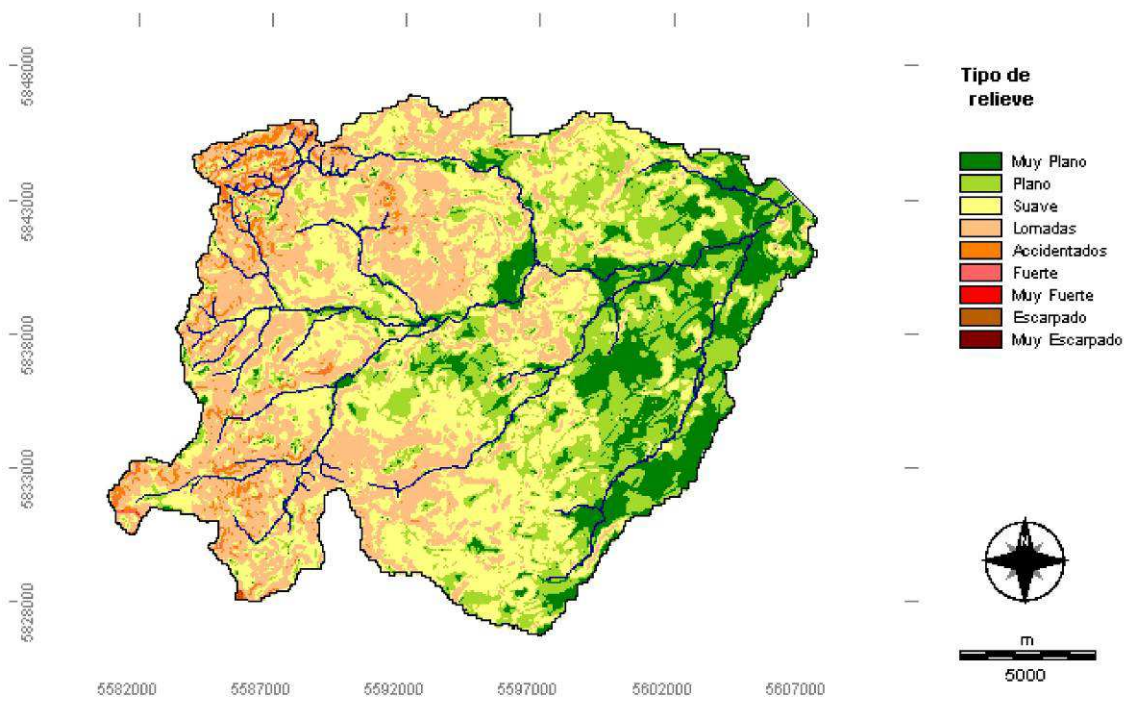


Figura 15. Tipo de relieves presentes en la cuenca alta del Arroyo Napaleofú (Fuente: Senisterra et al 2014)

El relieve predominantes es el plano, suavemente ondulado, con escasa presencia de superficie entre accidentado a muy escarpado. Los porcentajes de ocupación de cada tipo de relieve en la cuenca son: 13,1% muy plano, 21,3% plano, 34,9% suave, 28,1% lomadas, 2,3% accidentado, 0,27% fuerte, 0,01% muy fuerte, 0,03% escarpado y 0,01% muy escarpado. En la Figura 16 se observa el porcentaje de

la superficie de ocupación según relieve, para cada subcuenca, destacándose el predominio de relieve plano a muy plano en las subcuencas 5 a la 11, que se corresponden con el área por la que circula el cauce principal. En las subcuencas de la cabecera prevalecen relieves con lomadas y pequeñas áreas de relieve accidentado a fuerte, y un mínimo porcentaje (0,04%) de relieve muy fuerte hasta muy escapado en las subcuencas 1 y 4.

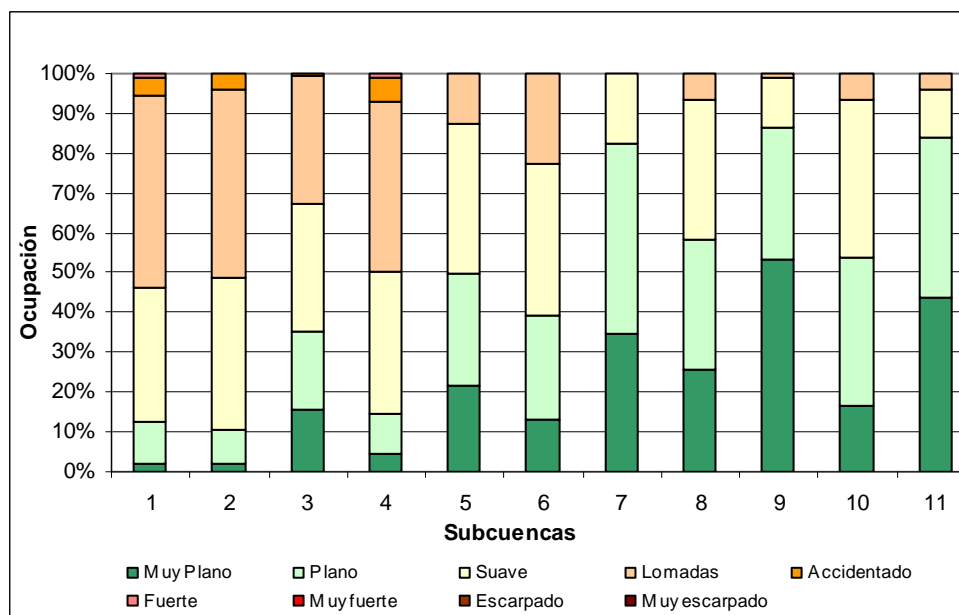


Figura 16. Tipos de relieve de cada subcuenca. (Fuente: Senisterra et al 2014)

El análisis de la orientación de las laderas se realizó con SIG sobre el MDE, generando un mapa que indica la disposición de las laderas, con respecto al punto cardinal geográfico Norte de cuadrícula, y su ocupación porcentual (Figura 17).

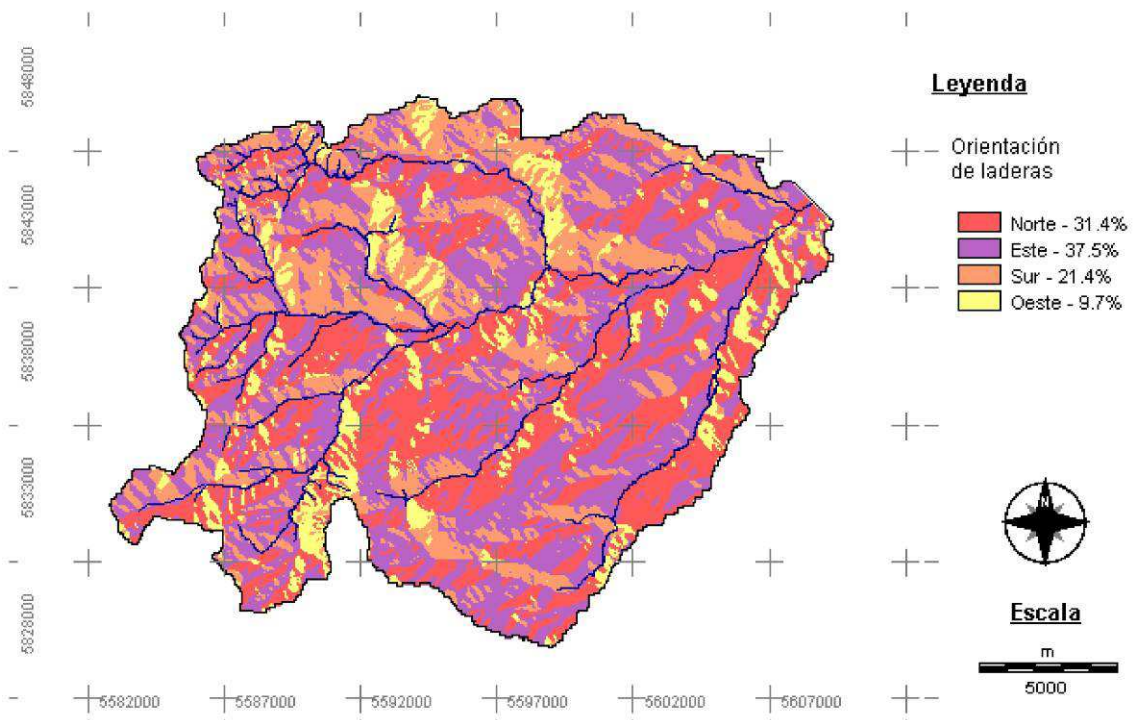


Figura 17. Orientación de laderas en la Cuenca alta del Arroyo Napaleofú.

(Fuente: Senisterra et al 2014)

La orientación de las laderas por subcuenca expresa un parámetro que permite definir las horas en que es expuesta la cuenca a la radiación solar (Díaz et al, 1999) favoreciendo el desarrollo de la cobertura vegetal. De acuerdo a ello, se identificó (Figura 18), que las orientaciones predominantes en todas las subcuencas fueron la norte y la orientación este. Esta característica topográfica influye en la dinámica de la escorrentía superficial al actuar sobre la retención de agua por parte del follaje y del mantillo del suelo, que es más abundante en las exposiciones mencionadas.

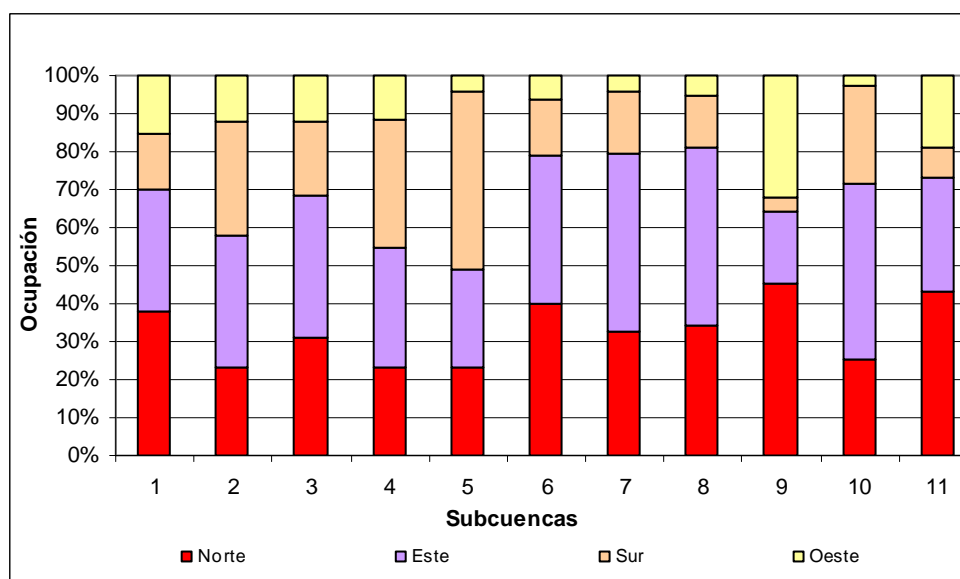


Figura 18. Ocupación (%) de la orientación de laderas por subcuenca. (Fuente: Senisterra et al 2014)

Parámetros de la red de drenaje

El número de orden de los cursos de agua o jerarquización, está estrechamente relacionado con el número de ramificaciones de la red de drenaje, siendo para la cuenca en estudio el número máximo de orden tres (Figura 19). Gaspari et al. (2009) mencionan que a mayor número de orden, mayor será el potencial erosivo, mayor el transporte de sedimentos y mayor el escurrimiento directo que en otra cuenca de similar área. Para el caso en estudio el número de orden tres refleja una cuenca con un nivel erosivo bajo.

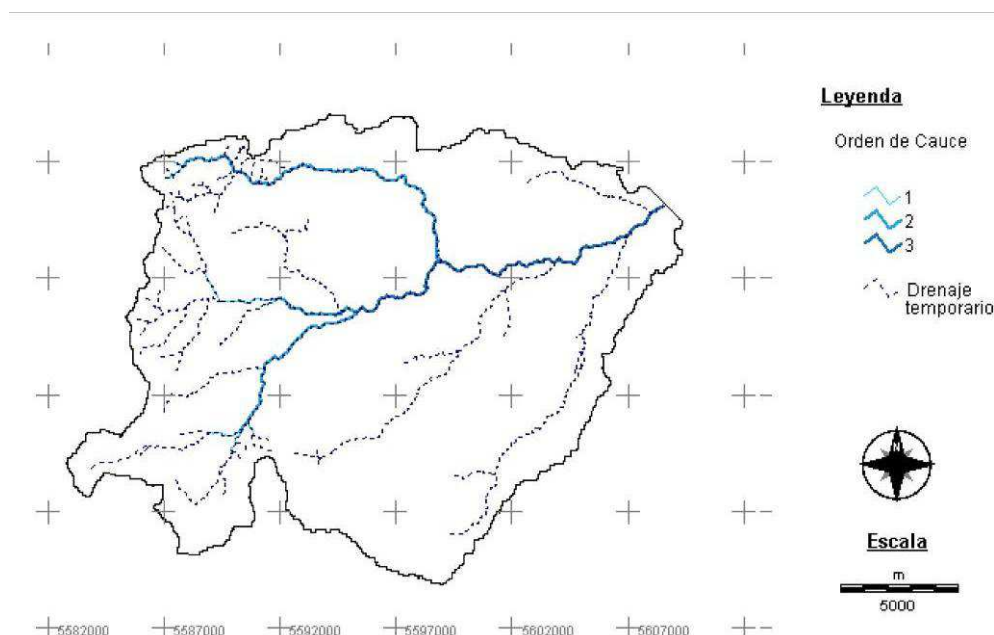


Figura 19. Jerarquización de la red de drenaje según Stralher (1964). (Fuente: Senisterra et al 2014)

Los resultados de los parámetros de la red de drenaje calculados se presentan en la Tabla 4. Es conocido, que la esorrentía se ve afectada por la densidad de drenaje (Dd). En zonas con alta densidad de drenaje la esorrentía rápidamente circula por la superficie, disminuyendo el tiempo de concentración e incrementando el caudal pico (Gaspari et al, 2009). El valor de Dd alcanzado en este estudio, está comprendido en un rango de 0,18 a 0,85 km/km². Según Instituto Nacional de Ecología (INE, 2004), estos valores se corresponden a subcuencas con baja complejidad y desarrollo del sistema de drenaje, que generalmente se asocia con áreas resistentes a la erosión, permeables y de bajo relieve.

Siendo la longitud del curso (L) la distancia entre el nacimiento y la desembocadura del mismo, los cauces más cortos se encuentran en las subcuencas 3, 5, 7, 9 y 11, y contienen al canal principal, cumpliendo con la función de traslado de los caudales desde la cabecera hacia la desembocadura. En las subcuencas de la cabecera, la respuesta hidrológica ante una precipitación será más lenta, debido a que el área de aporte hídrico es mayor.

En relación a DH las cuencas de la cabecera (1, 2, 4 y 6) presentaron un valor medio de 116 m. En las subcuencas de la parte media y baja, el DH varió entre 43,9 y 1,5 m.

La pendiente media del cauce (J) relacionó el desnivel con la longitud de su cauce principal. Los resultados alcanzados presentaron un rango de 0,0013 a 0,0077 m/m, expresando una pendiente suave, implicando un movimiento lento del agua hacia la desembocadura.

El Cs presentó valores entre 1,09 y 1,46. Las subcuencas 2, 3, 4 y 8 tuvieron valores superiores a 1,25 expresando cauces más sinuosos.

La pendiente y la longitud del cauce principal son dos factores fundamentales en la determinación del tiempo de concentración (Tc). El Tc varió entre 404,6 y 32,9 minutos. En las subcuencas de la cabecera la relación entre la L y la de todos los cursos que la conforman, la mayor pendiente y su superficie, determinan Tc medios. El máximo Tc se presenta en la subcuenca 8, debido a la mayor longitud de su cauce principal, suave pendiente y mayor superficie. Asimismo, en la subcuenca 11 se verificó el menor Tc en relación directa con la menor longitud del cauce principal.

Tabla 4. Valores de los parámetros de la red de drenaje. (Fuente: Senisterra et al 2014).

Sub cuenca	Dd (km/km ²)	L (km)	DH (m)	J (%)	Cs	Tc (min)
1	0,60	16,20	105,6	0,0065	1,22	235,7
2	0,85	12,07	93	0,0077	1,26	176,2
3	0,38	5,47	13,7	0,0025	1,31	147,8
4	0,69	18,22	151,7	0,0083	1,46	234,9
5	0,63	5,96	12,7	0,0021	1,22	167,8
6	0,56	16,83	113,7	0,0068	1,21	239,4
7	0,45	3,97	8,8	0,0022	1,20	121,1
8	0,32	19,30	43,9	0,0023	1,28	404,6
9	0,26	1,65	2,2	0,0013	1,13	74,9
10	0,27	6,83	15,8	0,0023	1,23	180,9
11	0,18	0,71	1,5	0,0021	1,09	32,9

Densidad de drenaje (Dd), Longitud del curso principal (L), Desnivel del cauce (DH), Pendiente media del cauce (J), Coeficiente de sinuosidad (Cs) y Tiempo de concentración (Tc).

En la Figura 20, se observa el diseño del perfil longitudinal y los perfiles transversales de la cuenca sobre el modelo digital de elevación (MDE). La distribución altitudinal del perfil longitudinal (A-a), representa las diferentes elevaciones del

fondo del arroyo desde su nacimiento hasta la desembocadura de la cuenca. Los tres perfiles transversales realizados se distribuyeron según rugosidad del relieve. El perfil (B-b) está ubicado en la cabecera, el perfil ubicado en la parte media es el (C-c) y el perfil en la parte baja de la cuenca es el (D-d).

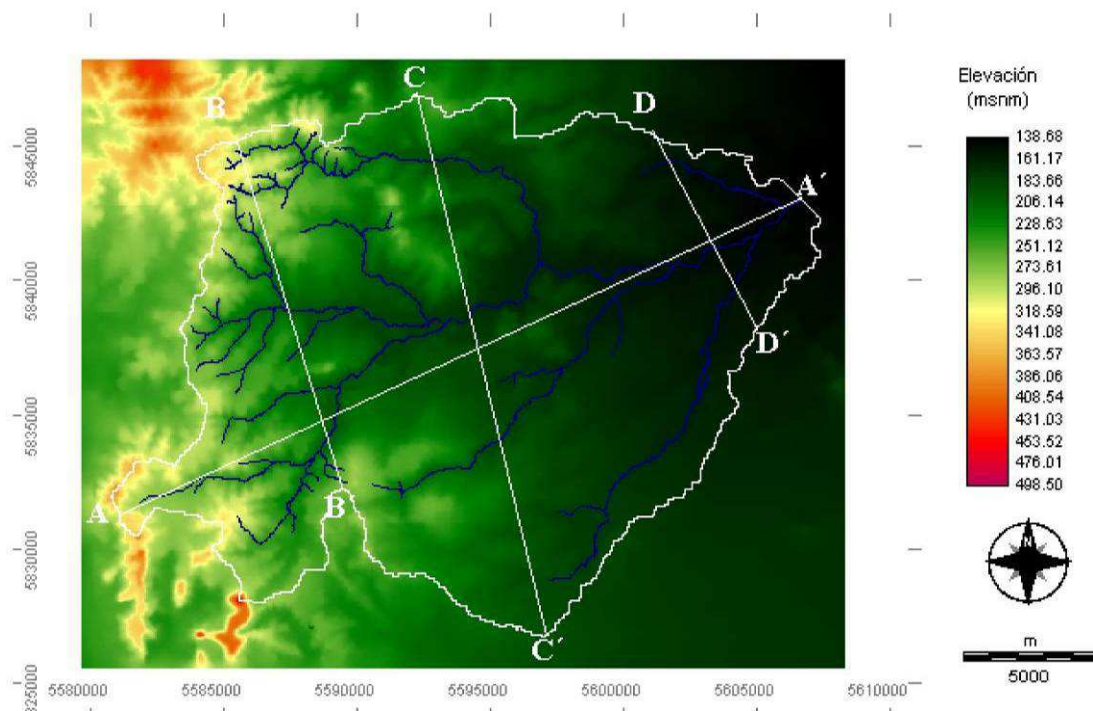


Figura 20. Perfiles topográficos en la cuenca alta del Arroyo Napaleofú sobre el MDE. Perfil longitudinal (A-a). Perfiles Transversales (B-b, C-c y D-d). (Fuente Senisterra et al 2014).

A partir del procesamiento de la Figura 20 se logra la esquematización de los perfiles, como se observa en la Figura 21.

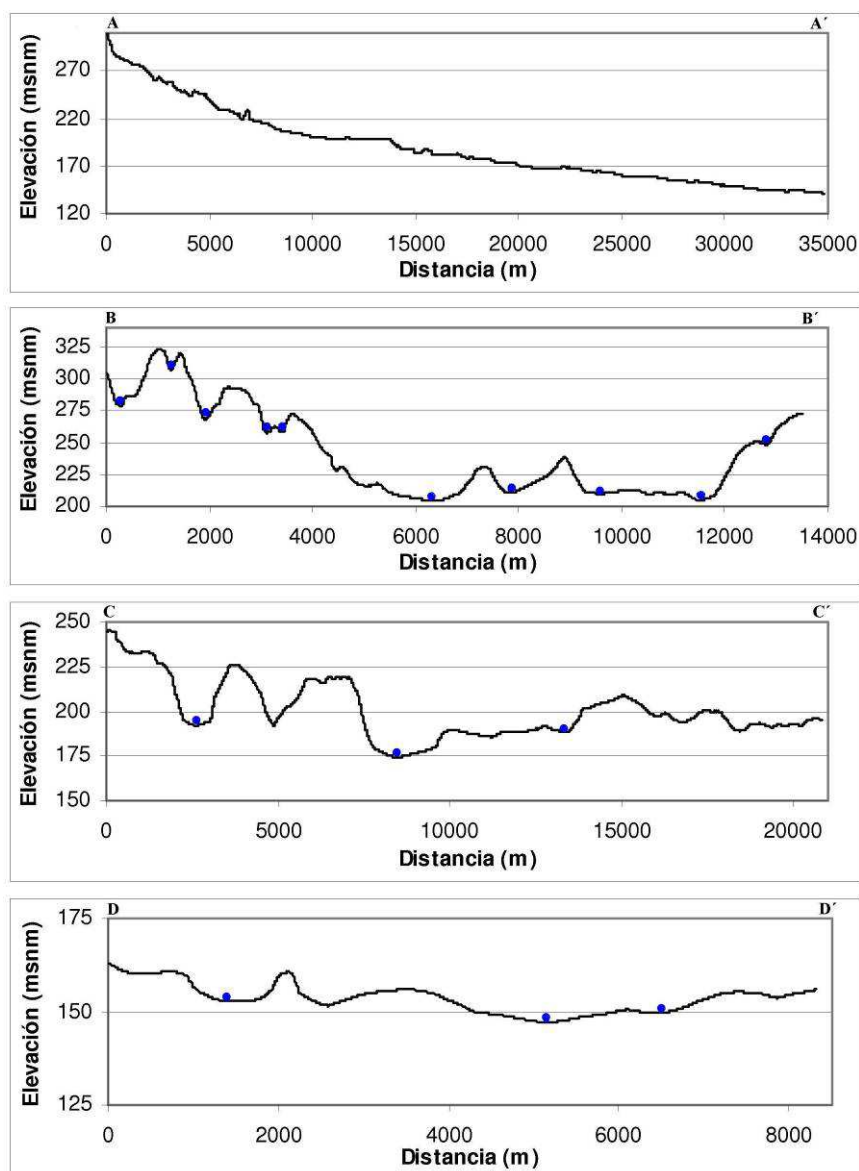


Figura 21. Perfiles longitudinal y transversales en la cuenca alta del Arroyo Napaleofú. (Fuente: Senisterra et al 2014)

Los perfiles transversales se completan con puntos azules, que indican los sitios por donde circulan los arroyos que componen la red de drenaje principal. En el perfil (B-b) se puede observar una rugosidad importante del relieve fuerte a muy escarpado, con la presencia de abundantes cursos de agua. El perfil (C-c) ubicado en la parte media, presenta menor rugosidad con relieve de lomadas a suave, con menor número de cursos de agua. El perfil de la parte baja de la cuenca (D-d) expresa un relieve plano a muy plano, conteniendo al curso principal.

Teniendo en cuenta que la geología (tectónica y litología), constituye el principal condicionante de las cuencas hidrográficas de las sierras de Tandilla, y en particular en el desarrollo de algunos de los parámetros morfométricos, se describe a continuación la relación encontrada en el área de estudio.

- Las rocas metamórficas se encuentran en la cabecera de la cuenca (subcuencas 1, 2, 3 y 4), correspondiéndose con una geomorfología compuesta por sierras y cerros de rocas de basamento cristalino. El relieve de esta zona presenta elevaciones con pendientes fuertes.
- En el piedemonte donde se distribuye la zona más baja de las subcuencas 1, 2, 3 y 4, se presenta un relieve ondulado, donde existen sedimentos loésicos del pleistoceno superior con texturas limo-arenosas finas, friables en seco, y en húmedo se disgregan fácilmente. Son de baja plasticidad (Tchilinguirian *et al.*, 2004).
- En la parte baja de la cuenca, se ubican los depósitos loésicos del pleistoceno medio e inferior, con limos calcáreos y paleosuelos arcillosos. La geomorfología está representada como una planicie modelada por acción fluvial y eólica con relieves planos (Tchilinguirian *et al.*, 2004). Estas características están presentes en las subcuencas 5 a 11.
- En la subcuenca 10 hay depósitos palustres, representadas por cubetas de deflación inundadas, que son depresiones someras de escasa profundidad, con presencia de arcillas y limos, que permiten la instalación de vegetación temporaria. En las subcuencas 1 a 9, y en la 11 se presentan paleocauces, ocupando planicies y terrazas aluviales con un relieve particular de depresiones.

3. Identificación de unidades cartográficas de suelo.

En la Figura 22 se muestran los límites de las unidades cartográficas de suelos definidos en la cuenca del Arroyo Napaleofú (escala 1:500.000). Estas áreas contienen uno o varios suelos, los cuales se distribuyen internamente con diferente diseño. Se pueden caracterizar por tres tipos de unidades cartográficas: consociación, asociación y complejo, diferenciándose por el número de componentes, el grado de similitud entre los mismos y la escala a que pueden ser cartografiados.

En los complejos, los componentes principales de los suelos no son cartografiados por separado sino en unidades geoespaciales.

Para el presente estudio se realizó un análisis cartográfico a escala 1:500.000 basados en antecedentes de INTA (1995) definiendo los dominios edáficos. La descripción de los mismos se presentó en las páginas 23 a 28 y en la Figura 22 se muestra su zonificación.

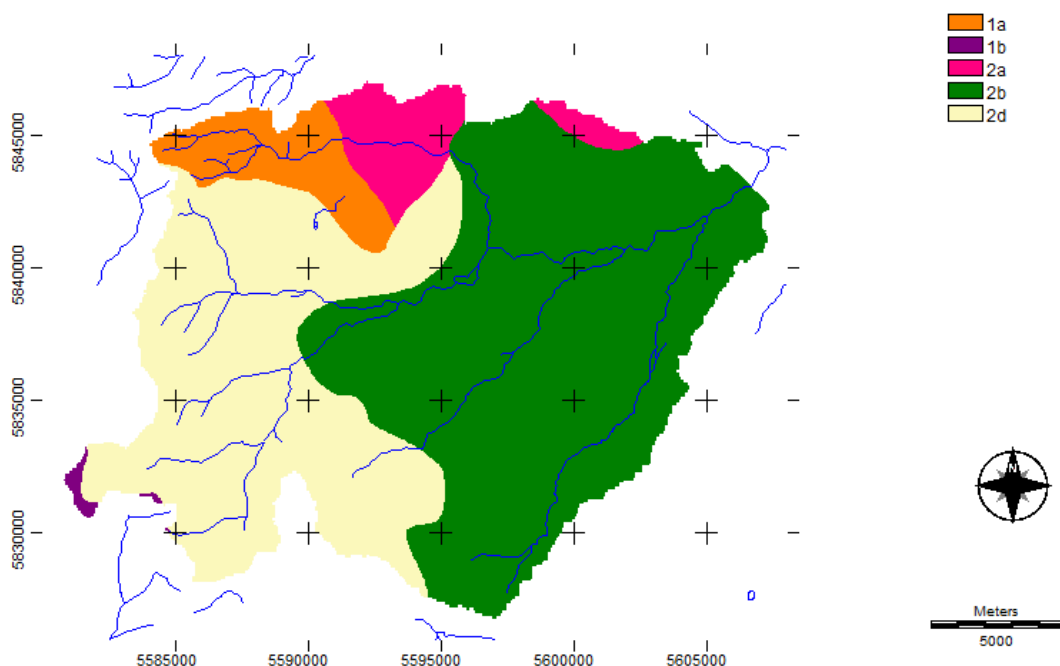


Figura 22. Mapa de Dominios de Suelos presentes en la cuenca del Arroyo napaleofú. Escala 1:500.000 (Fuente: Elaboración propia).

4. Evaluación espacio temporal de uso del suelo

Sánchez y Verellén (2007) definieron, para los diferentes ambientes de la zona de Tandilla, la vegetación natural predominante. En las partes más altas de la cuenca, en las que existen afloramientos rocosos, predomina el pastizal donde dominan gramíneas de los géneros *Piptochaetium* y *Stipa*; el pajonal de paja colorada (especie dominante: *Paspalum cuadrifarium*). Se presentan también arbustales

mixtos (principalmente conformado por *Baccharis* y *Eupatorium*. En los suelos presentes entre los afloramientos rocosos existen comunidades arbustivas mixtas, principalmente representadas por *Colletia* y *Dodonaea*. En la zona de la llanura periserrana las especies más abundantes pertenecen a los géneros *Stipa*, *Piptochaetium* y *Aristida* los cuales conforman los “flechillares”. En las áreas bajas de la cuenca, las cuales se reconocen ambientalmente como llanuras deprimidas (Sánchez y Nuñez, 2004), se encuentran praderas dulces y pajonales de *Paspalum quadrifarium* (paja colorada), *Stipa papposa*, *Mentha pulegium* y *Distichlis spicata*. En las lomadas y lomas se encuentran comunidades de *Stipa trichotoma*.

Para la definición de las categorías de cobertura y uso del suelo actual, se recolectaron datos en diferentes puntos de muestreo, identificados y georreferenciados previamente en una imagen satelital del área en estudio (Figura 23). Se definieron dos áreas para el muestreo: cuenca media a baja (puntos amarillos) y cabecera de la cuenca (triángulos celestes).

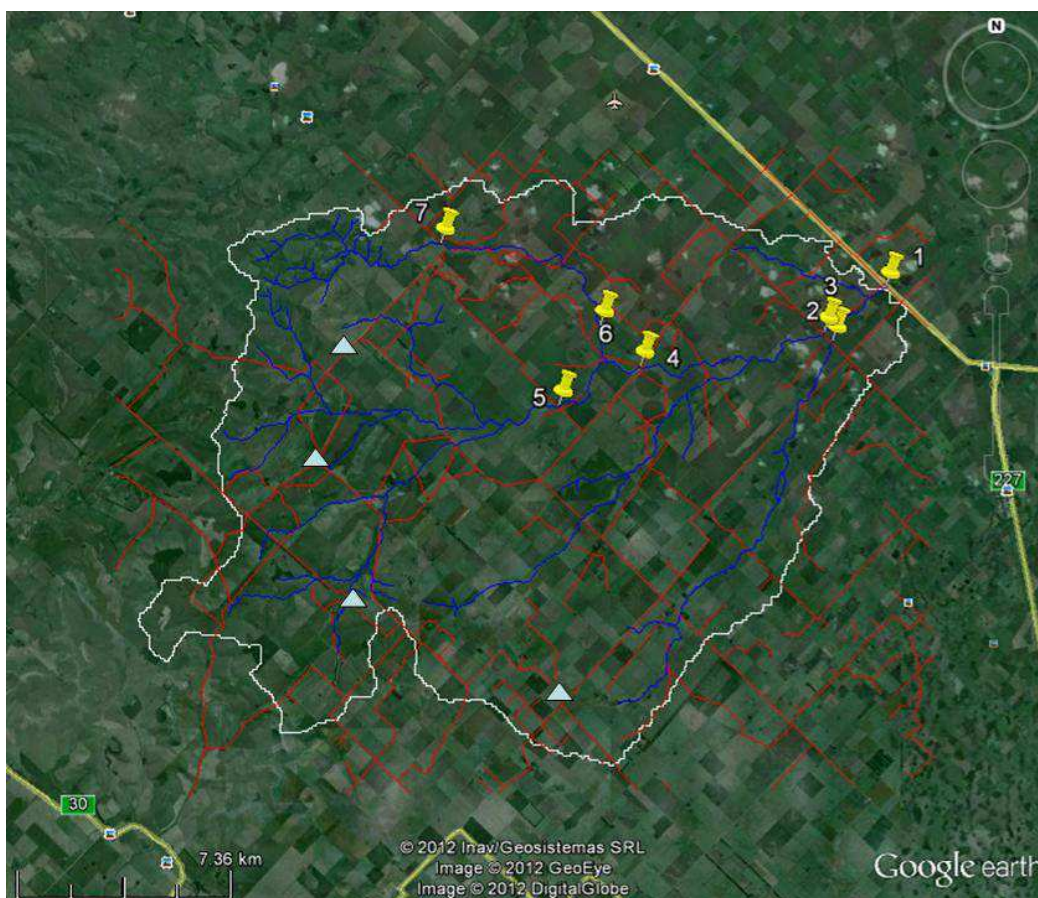


Figura 23. Puntos de muestreo de la cobertura vegetal y uso del suelo en la cuenca alta del Arroyo Napaleofú (Fuente: Elaboración propia).

En las recorridas a campo, en los diferentes ambientes de la cuenca, se reconocieron especies de las praderas naturales mencionadas por Sánchez y Verellén (2007). Además los sistemas agropecuarios han desplazado u ocupado las praderas naturales y están orientados a la producción extensiva de granos (cereales y oleaginosas), con modernas tecnologías.

Las actividades pecuarias se encuentran en menor proporción y muchas de ellas utilizan el cultivo de plantas forrajeras. El ganado predominante es el bovino. Según la observación a campo se encontró cultivos de Maíz, Girasol, Soja, Trigo, Avena y Papa. Entre las especies forestales identificadas se encontraron Sauces, Álamos, Talas y Eucaliptos.

A partir del relevamiento de la información de campo y análisis de dichas planillas, se determinaron 5 categorías de uso del suelo, considerando la clasificación de INTA (1986), siendo: agrícola (A), ganadero-agrícola (GA), agrícola-ganadero (AG), ganadero (G3b) y monte (M). La descripción de cada uso es:

El uso Agrícola (A) se realiza en aquellas unidades de suelo, clima y otros factores de incidencia agronómica que permiten la obtención de cosechas en forma permanente. Son tierras sin o con leves limitaciones que se solucionan con simples prácticas de manejo y conservación de suelos para mantener su productividad. Generalmente son suelos profundos, medianamente o bien provistos de materia orgánica, neutros, bien drenados, bien estructurados, con buena disponibilidad de nutrientes minerales, desarrollados en terrenos relativamente altos y de pendientes suaves y con adecuada disponibilidad de agua que permiten el desarrollo de cultivos durante todo el año (Figura 24). Constituyen los sectores de mayor potencial agropecuario. Los principales cultivos, los cuales se establecen por ambientes: en la loma se siembra soja y en los bajos maíz, aportando los mismos al suelo un alto contenidos de materia orgánica. Se realiza siembra directa y cultivos en fajas y terrazas.



Figura 24. Cultivos en la zona en estudio.

El uso Ganadero-agrícola (GA) se presenta en áreas con producción principalmente bovina (invernada, tambo, recría) básicamente sobre pasturas cultivadas plurianuales y verdes en rotación con ciclos cortos de cultivos de cosecha adaptados al clima y suelo. Generalmente se realiza en tierras con severas limitaciones que restringen la elección de cultivos y/o requieren la aplicación de prácticas de conservación para mantener su productividad. Este uso destina alrededor del 70% de su superficie a la ganadería. La ganadería centralmente es bovina de cría e invernada, con participación marginal de la actividad ovina. La agricultura se compone de trigo, cebada y girasol. Hay presencia de ovinos. Las tierras dedicadas a la agricultura cultivan girasol y trigo en forma predominante.

En el uso Agrícola-ganadero (AG) predomina la fase agrícola con una sucesión de cultivos de cosecha, con intercalación de períodos de barbecho. La fase ganadera se desarrolla sobre la base de pasturas cultivadas plurianuales y durante la misma, el suelo recupera las condiciones necesarias para reiniciar el ciclo anterior. Esta actividad mixta se realiza principalmente en tierras con moderadas limitaciones edáficas y/o climáticas, que restringen la elección de los cultivos y/o requieren la aplicación de prácticas de conservación, del suelo y el agua, para mantener su nivel productivo. Las unidades de este sistema destinan alrededor del 60% de su tierra a la agricultura en la que se destacan los cultivos de trigo, girasol y maíz, al tiempo que

en determinadas áreas, se cultiva papa. El sector ganadero se compone centralmente de vacunos (destinados a la producción de carne), centrada principalmente en la invernada bovina sobre pasturas cultivadas (anuales y perennes) y sobre rastrojos y en menor medida de ovinos (Figura 25).



Figura 25. Actividad agrícola y ganadera en la cuenca del Arroyo Napaleofú.

El uso Ganadero (G3b) se realiza en forma extensiva sobre pastizales naturales, en zonas con marcado relieve y la presencia de roca en superficie. La principal producción que se realiza es bovina de cría. Esta actividad se lleva a cabo en tierras con importantes limitaciones de suelos y que generalmente no permiten la implantación de pasturas cultivadas, salvo casos excepcionales, de sitios donde es posible el mejoramiento de la vegetación natural mediante intersembras de especies adaptadas a las condiciones desfavorables. El relieve quebrado, la pedregosidad, la baja retención de humedad, la salinidad, la escasa profundidad efectiva, la hídrica, son las características que hacen posible la actividad ganadera (Figura 26). Predomina la ganadería para tambo con especies forrajeras de pasturas perennes y verdeos. También se utilizan rastrojos, aunque en menor medida.



Figura 26. Ganadería en zona con afloramientos rocosos.

El uso Monte (M), en la cuenca se presenta en forma de cortinas y montes para reparo de animales y se encuentran también vegetación forestal en las márgenes de los cursos de agua, compuesta principalmente por sauce criollo (Figura 27).



Figura 27. Montes de reparo y cortina forestal de *Eucaliptus* sp.

El análisis de tendencia de cambio de usos del suelo, con SIG, se basó en el

procesamiento de cada mapa según la fecha definida. En las Figuras 28, 29 y 30 se observan las diferentes categorías de uso del suelo, para los tres años analizados.

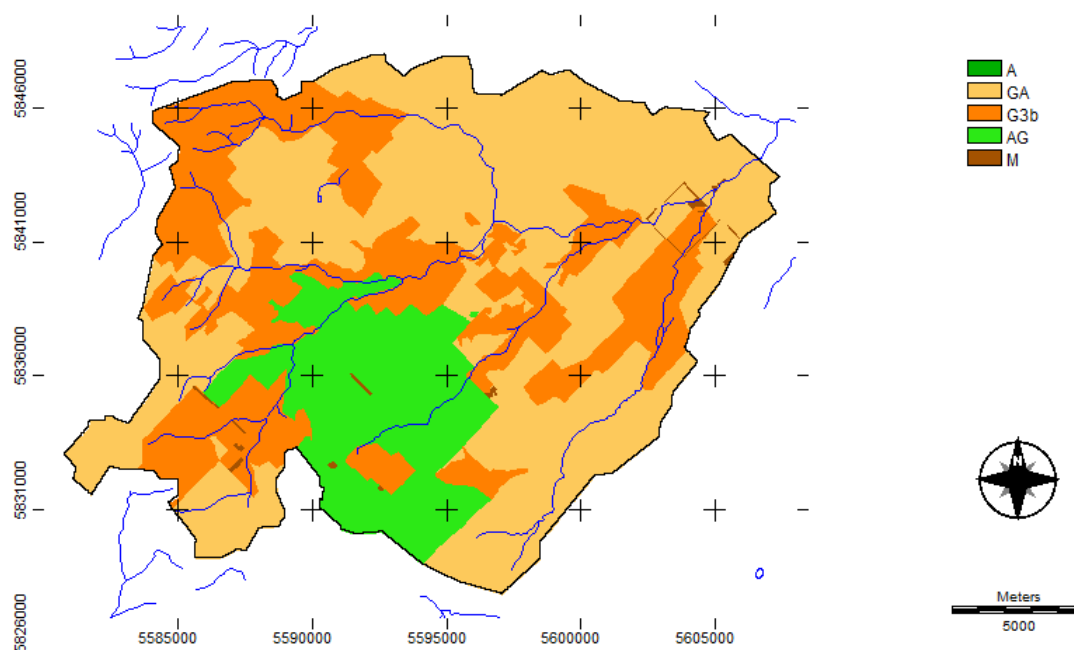


Figura 28. Uso del suelo año 1986. (Fuente: Adaptado de INTA 1986).

En el año 1986 (Figura 28) se definieron, en la cuenca en estudio, los usos GA, G3b, AG y M, a partir de la cartografía antecedente de INTA (1986).

Manteniendo las categorías de usos del suelo de la Figura 28, se interpretaron imágenes satelitales de Landsat 5, de los años 1996 y 2011, para la zonificación de dichas coberturas, y con apoyo en imágenes de alta resolución provistas por el servidor Google Earth ® y georreferenciadas con ayuda de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

El procesamiento de la información satelital, para el año 1996 estableció las diferentes superficies de ocupación por categoría según la Figura 29.

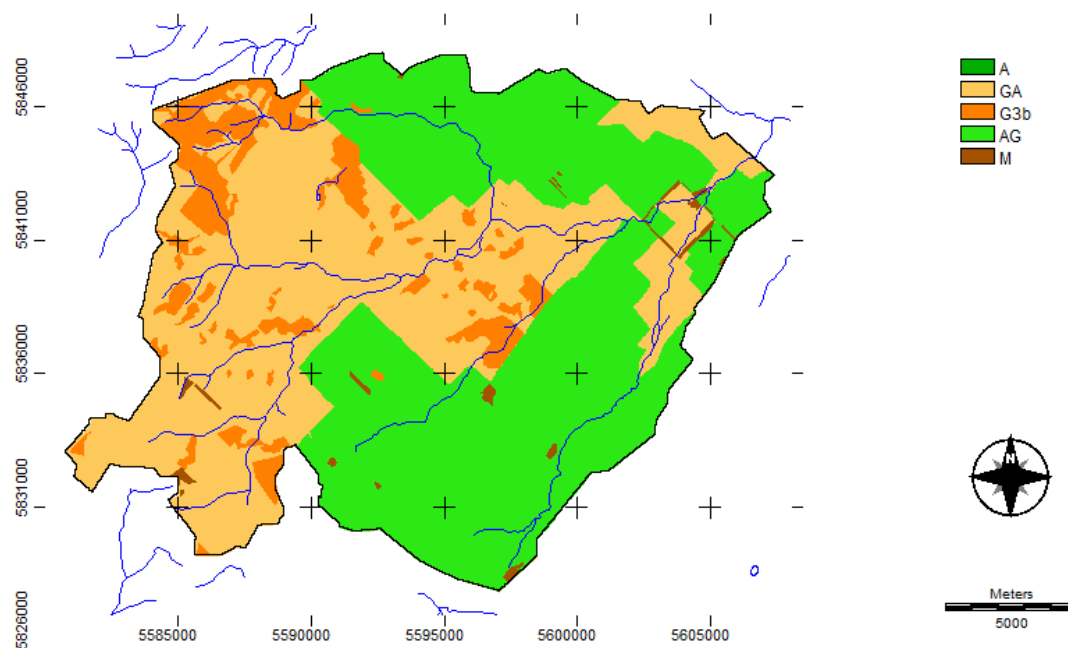


Figura 29. Uso del suelo 1996 (Fuente: Elaboración propia).

Siguiendo con la misma metodología se definió para el año 2011 la cobertura y uso del suelo, reconociendo la incorporación del uso agrícola (A) (Figura 30). Se destaca que para esta fecha, se realizó una clasificación supervisada de la imagen a partir del relevamiento de campo, como se muestra en el Anexo “Informes de viajes”.

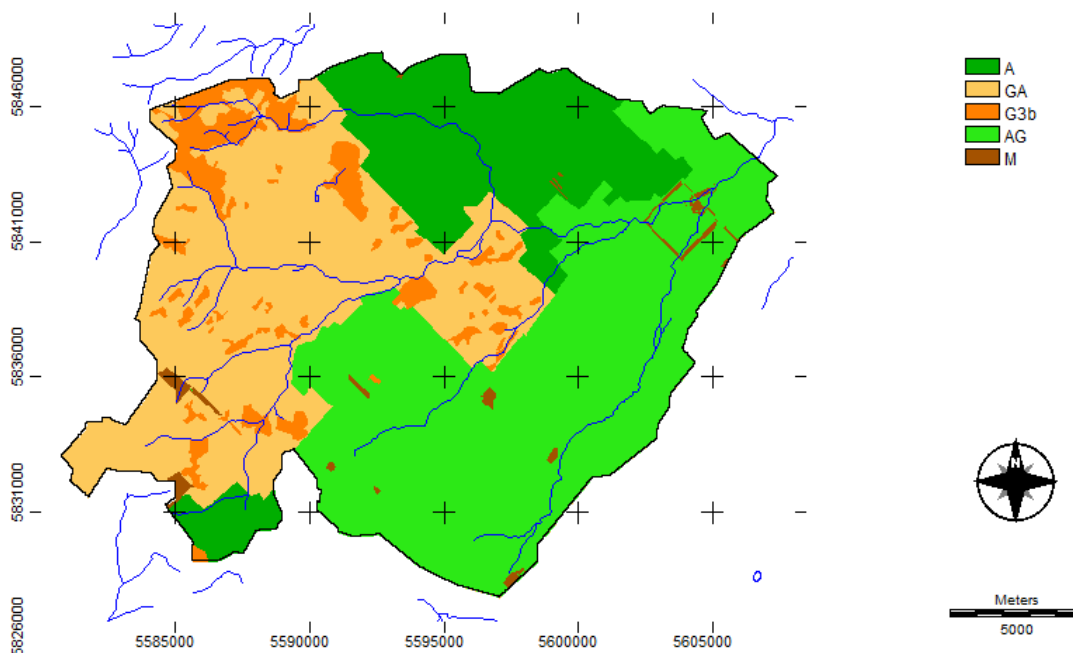


Figura 30. Uso del suelo 2011 (Fuente: Elaboración propia).

Analizando los mapas en conjunto, se observa en la Figura 31, el cambio de la distribución del uso del suelo en los años analizados. El uso ganadero - agrícola y el ganadero disminuyeron, mostrando una tendencia hacia el uso agrícola. Existen montes que han manifestado un discreto aumento de la superficie ocupada. En general son montes de reparo y cortinas forestales, compuestas principalmente por especies de los géneros *Eucalyptus* y *Pinus*.

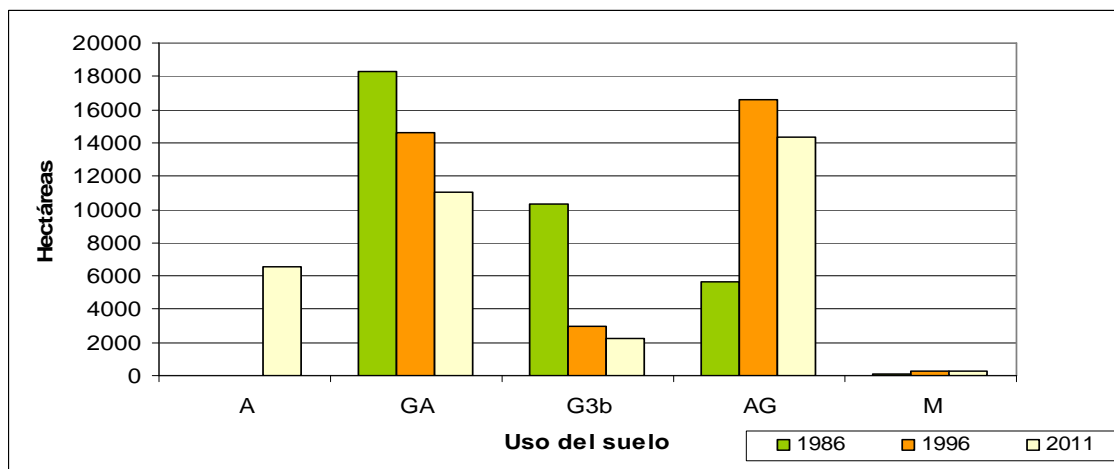


Figura 31. Superficie de ocupación del uso del suelo en los años estudiados (Fuente: Elaboración propia).

5. Análisis de la tasa de cambio de uso del suelo

El uso del suelo en la cuenca del Arroyo Napaleofú ha experimentado cambios en el período estudiado, como se demostró en la cartografía presentada en el punto Evaluación espacial y temporal de uso del suelo.

Para comprender en mayor detalle la dinámica de cambio espacio- temporal del uso del suelo, se determinó la tasa de cambio anual, la cual se desglosó en dos períodos: el primero está comprendido entre los años 1986 y 1996 y el segundo entre los años 1996 y 2011 (Tabla 5).

Tabla 5. Tasa de cambio de uso del suelo (1986-2011) (Fuente: Elaboración propia).

	Ocupación por Usos						Tasa de cambio anual (%)	
	1986		1996		2011		1986-1996	1996-2011
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)		
A	0	0	0	0	6520,51	19	0	89,25
GA	18272,95	53,2	14591,84	42,5	11057,38	32,1	-2,24	-1,85
G3b	10343,25	30,1	2988,61	8,7	2219,46	6,5	-12,41	-1,98
AG	5632,65	16,4	16565,59	48	14336,95	41,4	10,78	-0,96
M	125,77	0,4	228,58	0,8	240,32	1,1	5,97	0,33
Total	34374,62	100	34374,62	100	34374,62	100		

Como se observa en la Tabla 5, la mayor tasa de cambio anual se produjo en el período 1986-1996, en el que la ganadería perdió 12,41% de superficie, el uso GA el 2,24%, mientras que ganaron superficie el uso AG en un 10,78% y el uso monte en un 5,97%.

En el período 1996-2011, la tasa de cambio de uso del suelo fue menor a la del período anterior, siendo negativas para los usos GA, G3b y AG, ganando superficie los usos M y A. El uso A ocupó 6520,51 has de la cuenca, concordando con lo expresado por Vázquez y Zulaica (2011), para el partido de Tandil, en cuanto al aumento de las superficies dedicadas a la agricultura, producto de la agriculturización que se presentó en toda la región pampeana.

6. Modelización del escurrimiento superficial.

La cuantificación y zonificación del escurrimiento superficial se confeccionó a partir del procesamiento geoespacial de los mapas para aplicar el modelo GeoQ. El cálculo de la esorrentía a través de GeoQ, requirió de tres archivos vectoriales de

tipo polígono: límite de cuenca hidrográfica, zonificación del suelo según grupos hidrológicos y la distribución de la vegetación y uso del suelo y un archivo de atributos de valor con el dato de la tormenta a modelar.

La tormenta modal utilizada para el año 1986 fue de 73 mm/día, 75 mm/día para el 1996 y 58 mm/día para 2011. Estas tormentas fueron definidas considerando los registros de la estación meteorológica ubicada en Tandil (SMN)

Las categorías de vegetación y uso del suelo fueron las definidas por INTA (1986), como: Agrícola (A), Ganadero-agrícola (GA), Agrícola-ganadero (AG), Ganadero (G3b) y Monte (M).

Para el análisis detallado de la zonificación de los suelos, en la cuenca se identificaron 18 complejos de suelos definidos a partir del mapa de suelos elaborado por el INTA. (Escala 1:50.000) (Figura 32). La descripción de cada complejo permitió establecer los Grupos Hidrológicos presentes en la cuenca en estudio.

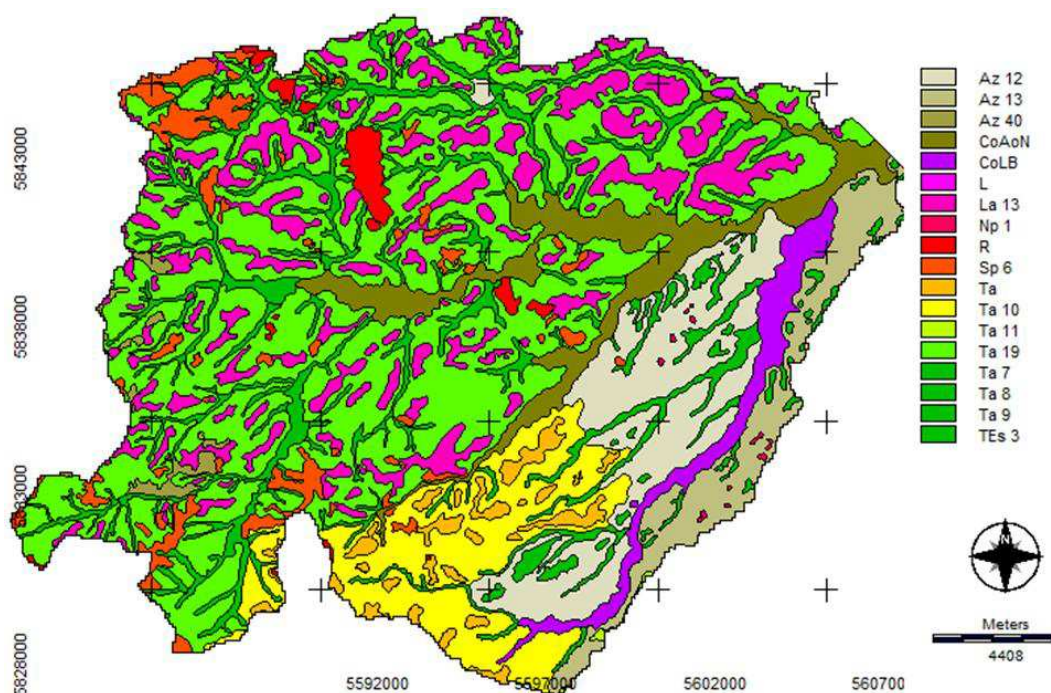


Figura 32. Zonificación de los suelos de la cuenca alta del arroyo Napaleofú, escala 1:50.000 (Adaptado del mapa de suelos del INTA).

En la Tabla 6 se presenta la descripción de los suelos que componen cada complejo, la textura y composición granulométrica y permeabilidad.

Tabla 6. Complejos de suelos presentes en la Cuenca alta del Arroyo Napaleofú. (Escala 1:50.000. Consultado en la Carta de suelos de GeolINTA, en Marzo de 2012).

Complejo suelo	Denominación del suelos	Composición (%)	Tipo de textura	Arcilla	Limo	Arena	Permeabilidad
AZ12	Azul	80	franco arcilloso	30,3	34,7	35	moderada
	Tandil	20	franco arcilloso	29,4	41,8	28,8	moderada
AZ13	Azul	40	franco arcilloso	30,3	34,7	35	moderada
	Tandil	40	franco arcilloso	29,4	41,8	28,8	moderada
	Tres Esquinas	10	franco arcillo limoso	30,7	49,9	19,4	Moderadamente lenta
	Napaleofú	10	franco arcilloso	33,6	52,4	14	lenta
AZ40	Azul	50	franco arcilloso	30,3	34,7	35	moderada
	Sierra de los Padres	30	franco arcilloso	32,8	33,8	33,4	moderadamente lenta
	Cinco Cerros	20	franco arcilloso	30,7	30,9	38,4	moderadamente lenta
CoAoN	Complejo A° Napaleofú	100	franco	22,2	45,9	31,8	moderada
CoLB	Complejo hidrohalomórfico La Ballenera	100	franco	22,2	45,9	31,8	moderada
L	Laguna	100	-	-	-	-	-
La13	La Alianza	30	franco	26,9	29,7	43,4	Moderadamente lenta a moderada
	Cinco Cerros	30	franco arcilloso	30,7	30,9	38,4	moderadamente lenta
	Azul	20	franco arcilloso	30,3	34,7	35	moderada
	Tandil	20	franco arcilloso	29,4	41,8	28,8	moderada
Np1	Napaleofú	60	franco arcilloso	33,6	52,4	14	lenta
	Tres Esquinas	40	franco arcillo limoso	30,7	49,9	19,4	Moderadamente lenta
R	Afloramiento rocoso	100					
Sp6	Sierra de los Padres	35	franco arcilloso	32,8	33,8	33,4	moderadamente lenta
	Azul	20	franco arcilloso	30,3	34,7	35	moderada
	Cinco Cerros	15	franco arcilloso	30,7	30,9	38,4	moderadamente lenta
	Afloramiento rocoso	30					

Complejo suelo	Denominación del suelos	composición (%)	Tipo de textura	Arcilla	Limo	Arena	Permeabilidad
Ta	Tandil	90	franco arcilloso	29,4	41,8	28,8	moderada
	Azul	10	franco arcilloso	30,3	34,7	35	moderada
Ta10	Tandil	100	franco arcilloso	29,4	41,8	28,8	Moderada
Ta11	Tandil	100	franco arcilloso	29,4	41,8	28,8	Moderada
Ta19	Tandil	70	franco arcilloso	29,4	41,8	28,8	Moderada
	Azul	30	franco arcilloso	30,3	34,7	35	Moderada
Ta7	Tandil	50	franco arcilloso	29,4	41,8	28,8	Moderada
	Tres Esquinas	50	franco Arcillo limoso	30,7	49,9	19,4	moderadamente lenta
Ta8	Tandil	60	franco arcilloso	29,4	41,8	28,8	Moderada
	Azul	20	franco arcilloso	30,3	34,7	35	Moderada
	Cinco Cerros	20	franco arcilloso	30,7	30,9	38,4	Moderadamente Lenta
Ta9	Tandil	70	franco arcilloso	29,4	41,8	28,8	Moderada
	Azul	30	franco arcilloso	30,3	34,7	35	Moderada
TeS3	Tres Esquinas	40	franco arcillo limoso	30,7	49,9	19,4	Moderadamente Lenta
	Tandil	30	franco arcilloso	29,4	41,8	28,8	Moderada
	Barker	30	franco arcilloso	29,6	37,6	32,8	Lenta

En función de las características texturales y de conductividad de los suelos de la cuenca se identificaron tres grupos hidrológicos: el Grupo B (suelos en su mayor parte arenosos, poco profundos) que constituye el 80,4% de la superficie de la cuenca; el Grupo C (suelos con abundante cantidad de arcilla y coloides) representa el 18,2% y el Grupo D (suelos con roca en superficie) con el 1,4% de la superficie (Tabla 7 y Figura 33).

Tabla 7. Complejos de suelos con su permeabilidad y Grupo Hidrológico determinado presentes en la Cuenca alta del Arroyo Napaleofú.

Complejo suelo	Grupo Hidrológico complejo
AZ12	B
AZ13	B
AZ40	B
CoAoN	C
CoLB	C
L	-

Tabla 7. Continuación.

Complejo suelo	Grupo Hidrológico complejo
La13	B
Np1	C
R	D
Sp6	B
Ta	B
Ta10	B
Ta11	B
Ta19	B
Ta7	B
Ta8	B
Ta9	B
TeS3	B

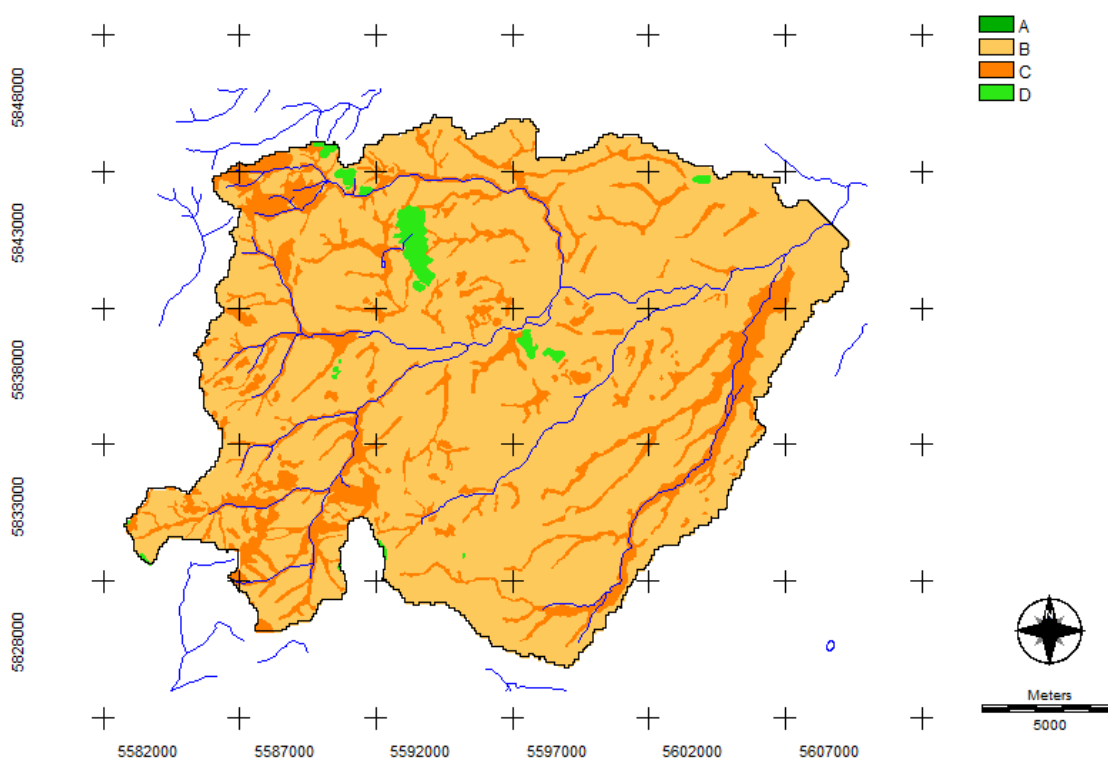


Figura 33. Grupos Hidrológicos de la cuenca alta del Arroyo Napaleofú (Fuente: Elaboración propia).

Una vez determinados la vegetación y uso del suelo y los grupos hidrológicos (GH) se establecieron los NC en la cuenca, expresados en la Tabla 8. En los casos donde se realiza agricultura se tuvo en cuenta, para la determinación del NC, el uso de prácticas de conservación de suelos, como son cultivos en curvas de nivel y fajas.

Tabla 8. Número de curva según Grupos Hidrológicos (GH) y vegetación y uso del suelo (Adaptada de Gaspari et al. 2009).

		Vegetación y uso del suelo				
		A	GA	G3b	AG	M
GH	B	75	59	69	74	65
	C	82	75	79	82	76
	D	85	83	84	85	82

A estas combinaciones se les asignó el código correspondiente para utilizar el modelo Geo Q.

El mapa de número de curva (NC) de la cuenca para el año 1986 (Figura 33) fue obtenido automáticamente con el modelo GeoQ, generando 12 valores de NC, con un mínimo de 59 y un máximo de 85. Los valores con mayor grado de ocupación fueron de 59, 69 y 74 con un 45,1%; 20,3% y 14,6% respectivamente. El 20% de la superficie restante fue ocupada por los NC de 65, 75, 76, 79, 81, 82, 83, 84 y 85. El NC ponderado para la cuenca fue de 67.

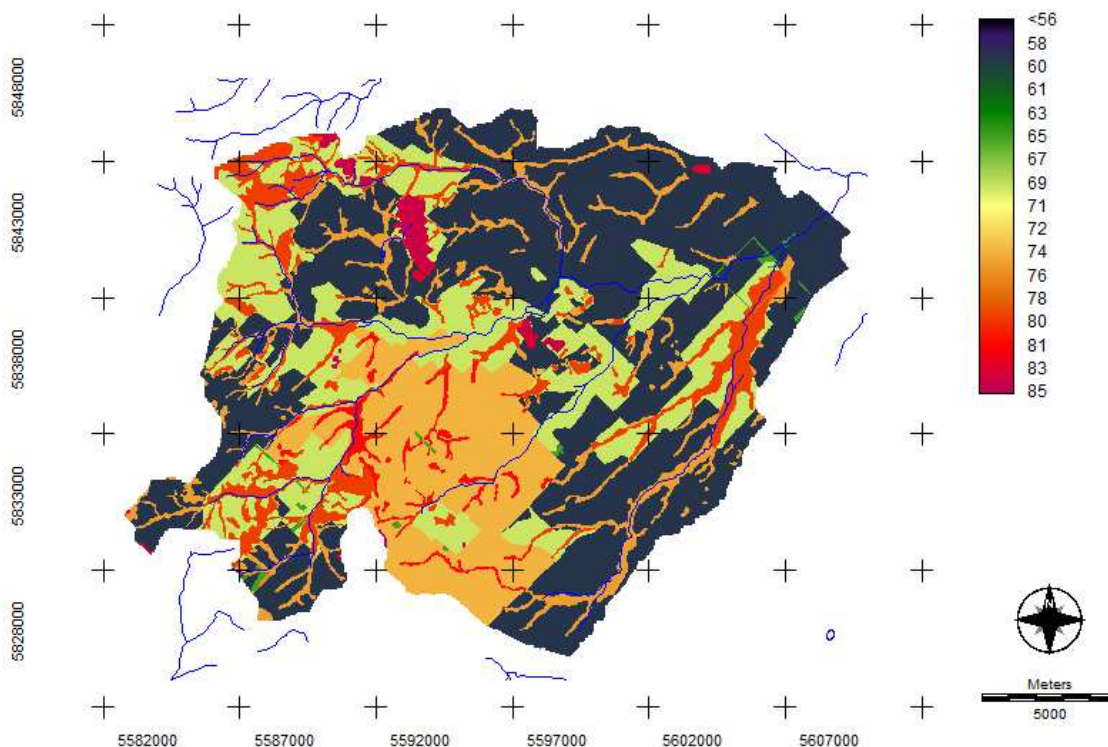


Figura 33. Distribución espacial del número de curva para el año 1986 (Fuente: Elaboración propia).

Para el año 1996 (Figura 34), el mapa de número de curva de la cuenca obtenido por el modelo, generó 11 valores, con un mínimo de 59 y un máximo de 85. El valor de NC 59 tuvo un grado de ocupación de 33,5% y el NC 74 un 41,7 %. El 25% de la superficie restante fue ocupada por los NC 65, 69, 75, 76, 79, 81, 83, 84 y 85. El NC ponderado para la cuenca fue de 70.

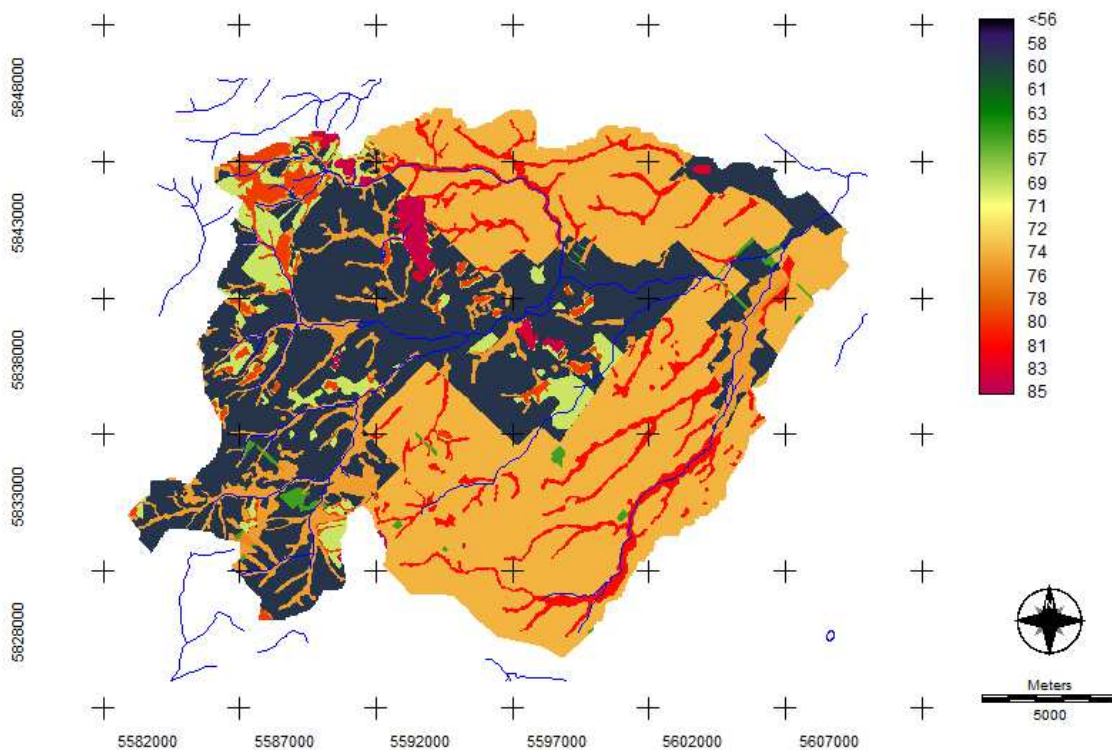


Figura 34. Distribución espacial del número de curva para el año 1996 (Fuente: Elaboración propia).

Para el año 2011, el mapa de número de curva de la cuenca (Figura 35) obtenido con GeoQ, generó 9 valores, con un mínimo de 65 y un máximo de 85. El NC 75 ocupó una superficie de 76,8% y el NC 83 el 14%. El 9,2% de la superficie restante fue ocupada por los NC 65, 69, 76, 79, 82, 84 y 85. El NC ponderado para la cuenca fue de 76.

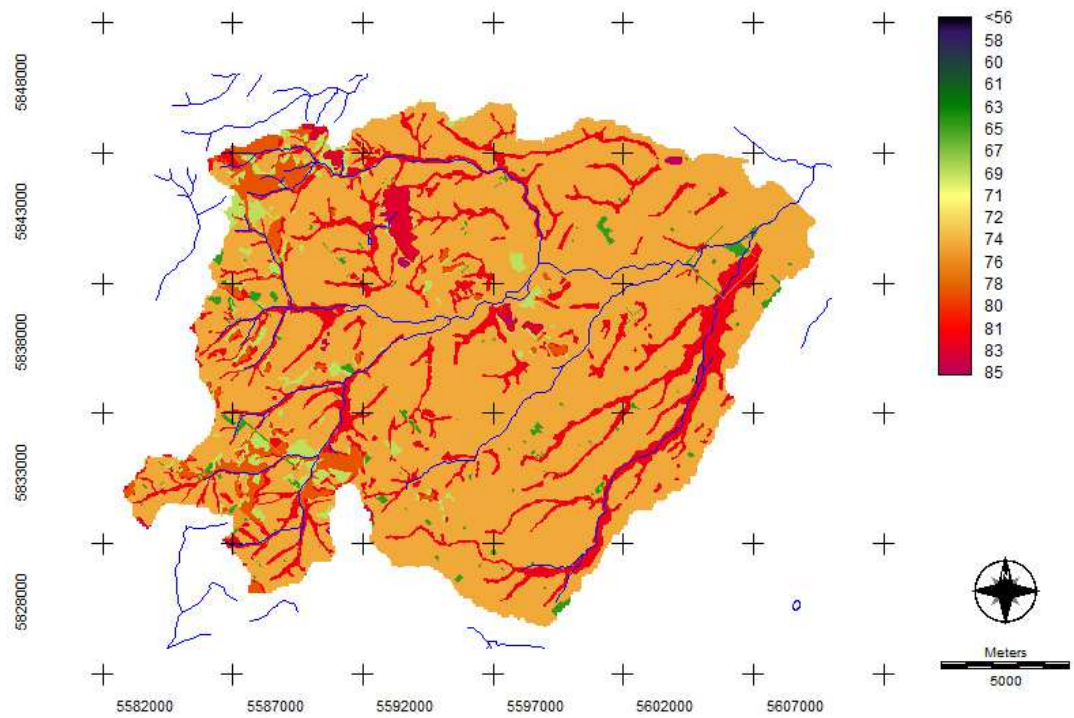


Figura 35. Distribución espacial del número de curva para el año 2011 (Fuente: Elaboración propia).

La zonificación de la lámina de escurrimiento con GeoQ en la cuenca alta del Arroyo Napaleofú, para los tres años estudiados se presenta en las Figura 36, 37 y 38.

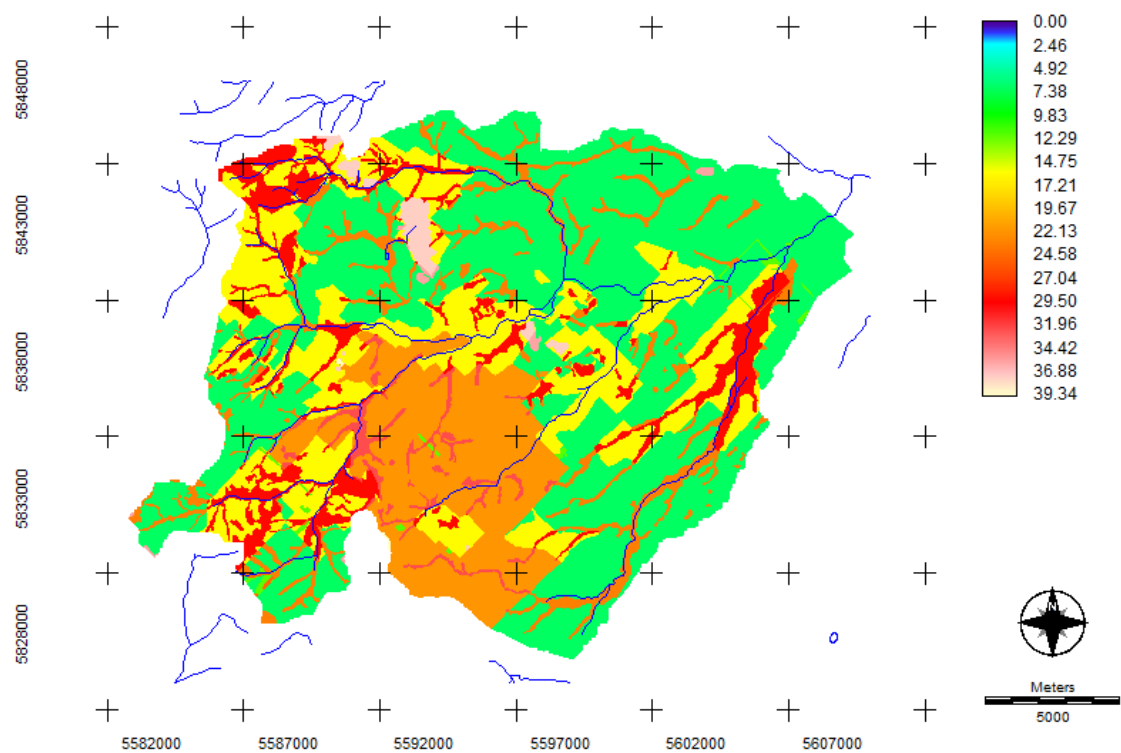


Figura 36. Lámina de escurrimiento para el año 1986 (Fuente: Elaboración propia).

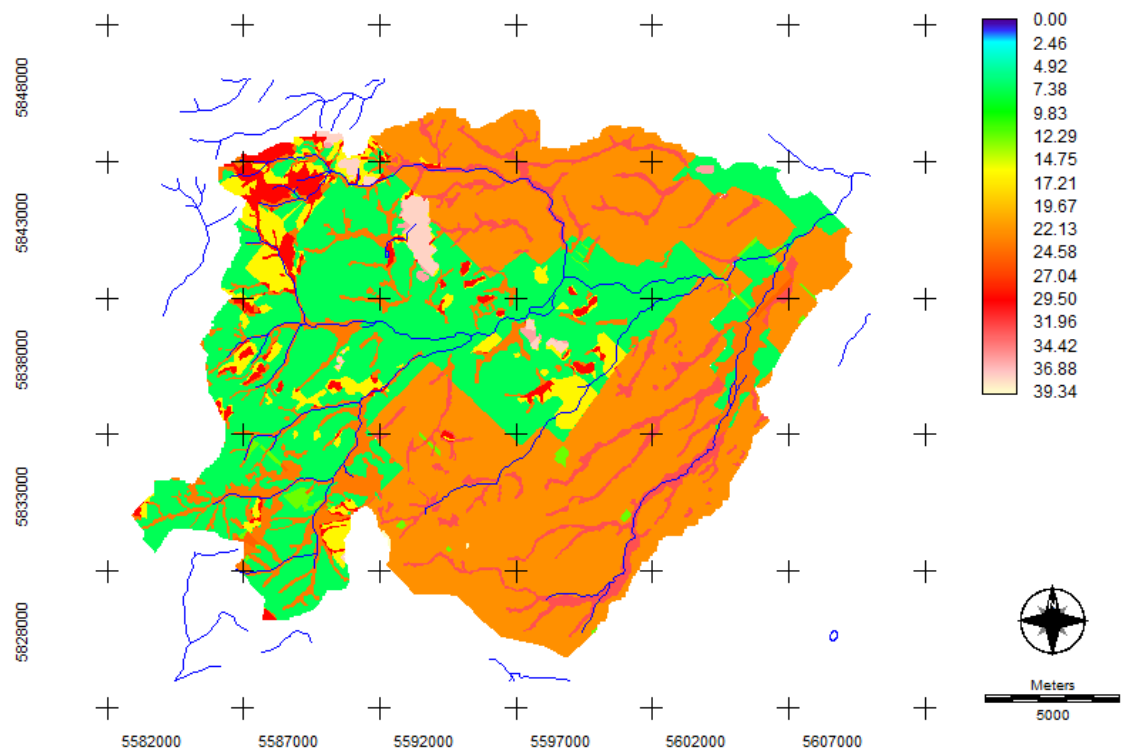


Figura 37 Lámina de escurrimiento para el año 1996 (Fuente: Elaboración propia).

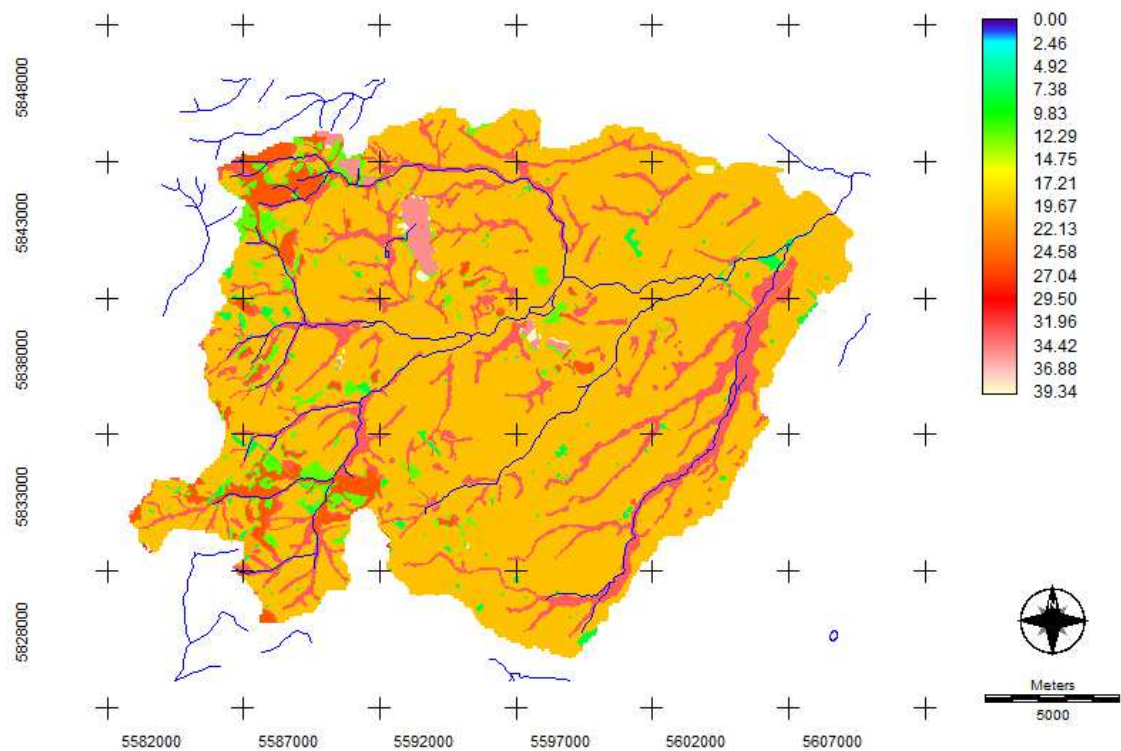


Figura 38. Lámina de escurrimiento para el año 2011 (Fuente: Elaboración propia).

El escurrimiento de la cuenca para los tres años analizados fue reclasificado en clases según Rodríguez Vagaría y Gaspari (2012). Las mismas expresaron diferentes valores ante el cambio de uso del suelo. Las respuestas de clases se representan en la Figura PPP y fueron:

- Los escurrimientos menores a 10 mm se consideran leves. En el año 1986 ocupaban el 45,1% de la superficie, en el año 1996 bajó al 33,5% y en el año 2011 disminuyó el porcentaje de ocupación a 4,2.
- Los escurrimientos entre 10 y 20 mm fueron considerados moderados, ocupando en 1986 el 20 %, en 1996 el 5,3 % y en 2011 el 81% de la superficie de la cuenca.
- Los escurrimientos mayores a 20 mm, considerados altos, se distribuyeron sobre una superficie de 34,2%, 61,2 % y 15,6% para los años 1986, 1996 y 2011 respectivamente.

En el Figura 39 se observa el porcentaje de ocupación de cada una de las clases de escurrimiento establecida para los diferentes años de estudio.

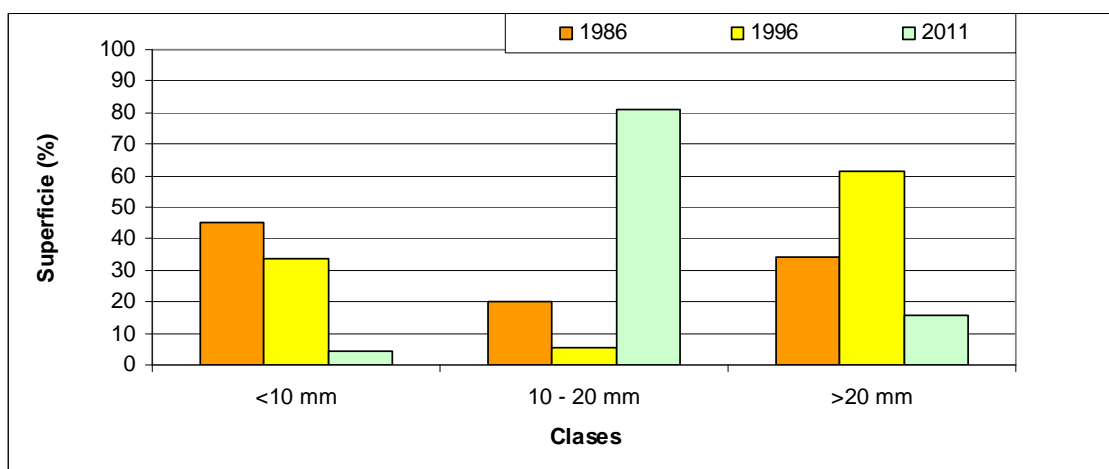


Figura 39. Clases de escurrimiento en la cuenca alta del Arroyo Napaleofú (Fuente: Elaboración propia).

Los escurrimientos menores a 10 mm presentaron una tendencia a la disminución en los años estudiados. Los escurrimientos medios ocuparon el 80% de la superficie en el año 2011, habiendo disminuido en el 1996 con respecto al año 1986. Los escurrimientos mayores a 20 mm predominaron en el año 1996 abarcando una superficie del 61,2% (Figura 39).

Analizando los coeficientes de escurrimiento obtenidos por subcuencas se observó que éstos variaron espacio temporalmente, en los años analizados (Figura 40).

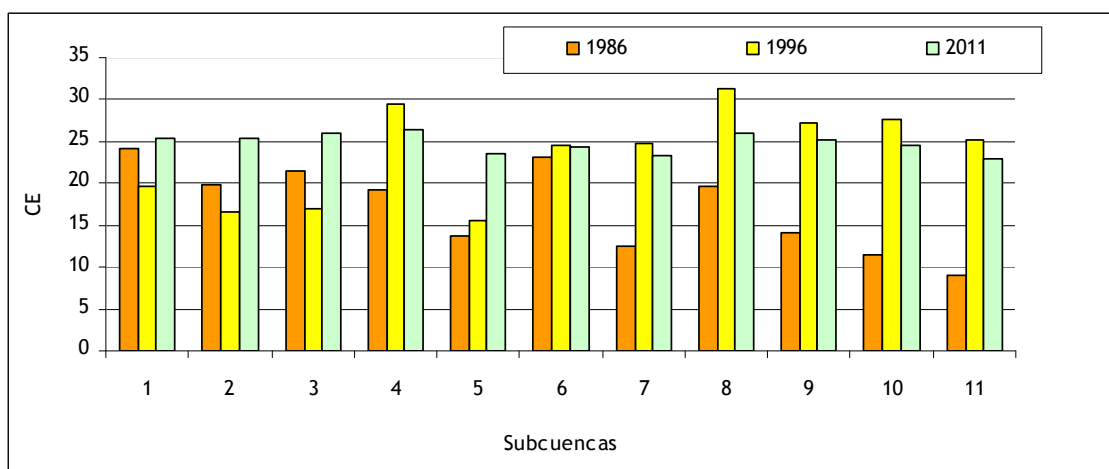


Figura 40. Coeficientes de escurrimiento por subcuenca para los años 1986, 1996 y 2011 (Fuente: Elaboración propia).

Del análisis particular del CE a nivel de subcuenca, se establece que:

- Las subcuencas 1, 2 y 3 han mantenido un comportamiento en cuanto a la generación de escurrimiento, presentando una leve disminución en el año 1996 y un aumento en el año 2011. Esta zona tiene predominio de rocas metamórficas con una geomorfología compuesta por sierras y cerros de rocas de basamento cristalino aflorando en superficie, el uso del suelo en esas áreas no ha manifestado cambios mayores.
- La subcuenca 4 aumentó el escurrimiento en el año 1996 y disminuyó levemente hacia 2011.
- La subcuenca 5 recibe el aporte de los escurrimientos de las subcuencas de la cabecera presentando un aumento del CE en el año 2011.
- La subcuenca 6 presentó coeficientes similares en los tres años analizados posiblemente asociado a la condición hidrológica del suelo favoreciendo la infiltración.
- En las cuencas restantes, situadas en la zona baja de la cuenca han tenido un aumento en el año 1996 y una pequeña disminución en el año 2011.

Los mapas dinámicos de la cuenca mostraron los cambios en la producción de escorrentía durante los años analizados. La zonificación de la diferencia del CE para los años 1986-1996 y 1996-2011 se presenta en las Figuras 41 y 42 respectivamente. En la Figura 43 se visualiza la zonificación como una síntesis de los cambios entre 1986-2011. Cabe mencionar, que el signo positivo o negativo en el CE se interpreta como una disminución o aumento en la producción de escorrentía, respectivamente.

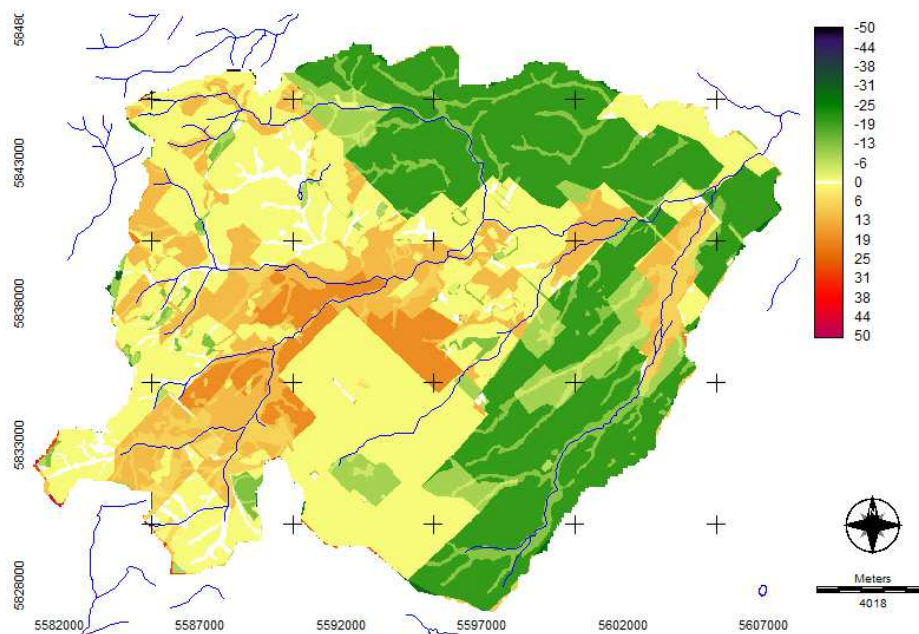


Figura 41. Diferencia del Coeficiente de escurrimiento 1986-1996 (Fuente: Elaboración propia).

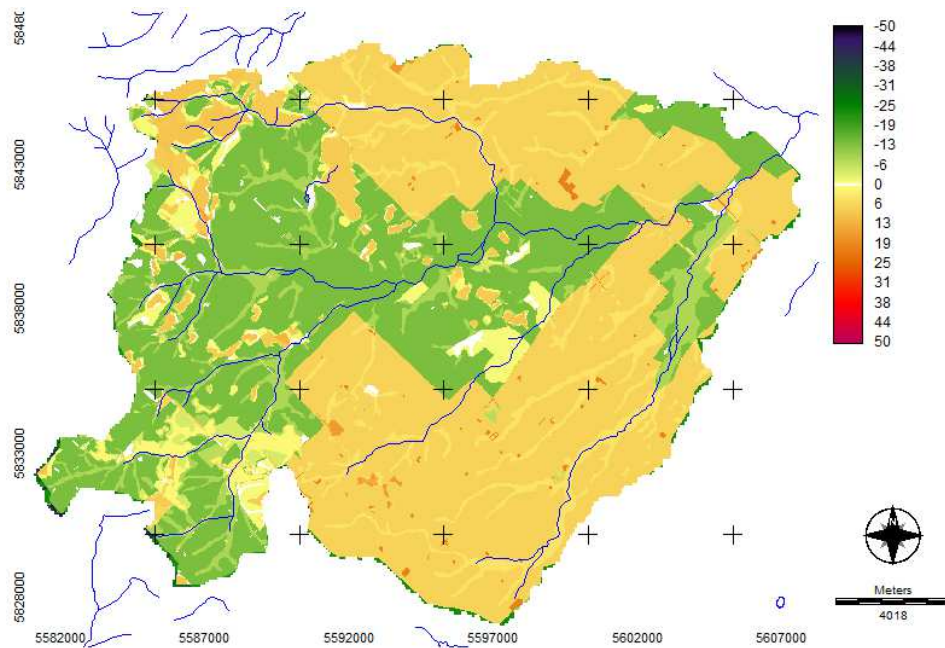


Figura 42. Diferencia del Coeficiente de escurrimiento 1996-2011 (Elaboración propia)

Los mapas dinámicos reflejan el comportamiento observado en la variación de los escurrimientos por subcuenca, de aumento del escurrimiento en la parte media y baja de la cuenca entre los años 1986 y 1996 y disminución de la escurrimiento en el período 1996-2011 en esa zona de la cuenca. Sin embargo, la tendencia general del escurrimiento entre los años 1986 y 2011 ha sido el aumento de la escurrimiento, como se observa en la Figura 43.

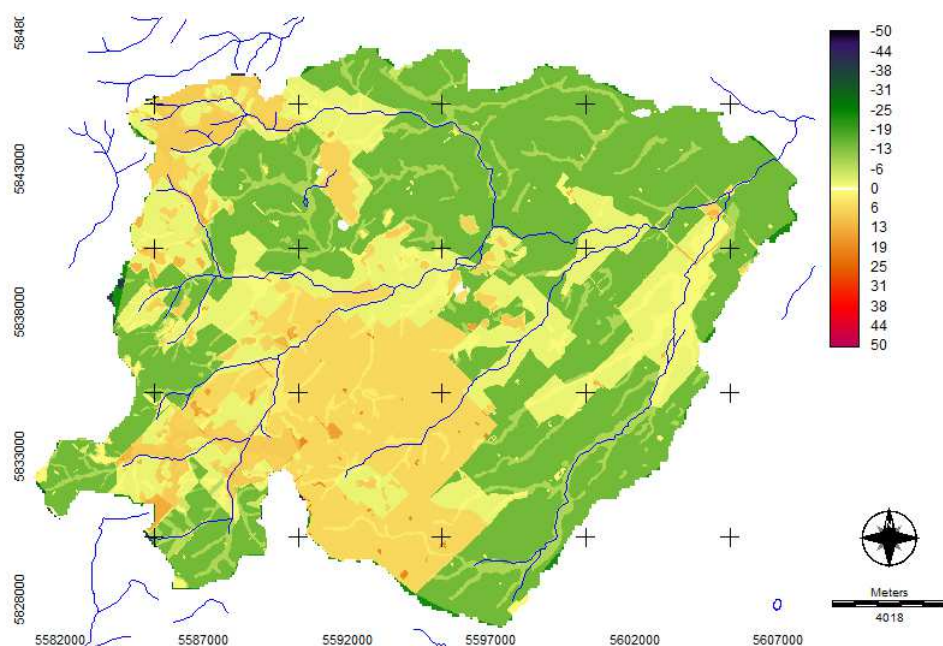


Figura 43. Diferencia del Coeficiente de escurrimiento 1986-2011 (Fuente: Elaboración propia).

A nivel país, a partir del año 1991 hasta la crisis de fines del 2001, el sector agropecuario experimentó una gran transformación. La cuenca del Arroyo Napaleofú no estuvo ajena a estos cambios, en los que el agro vivió un proceso que se caracterizó por una mayor eficiencia en el uso de los factores de producción (el uso de plantas transgénicas, la siembra directa, el uso de fertilizantes y agroquímicos asociados a los paquetes tecnológicos introducidos), acompañado por la adopción de cambios técnicos y por el desarrollo de nuevas formas de producción. En general, los productores del sector desarrollaron respuestas con la finalidad de adaptarse a los cambios instrumentados, mediante la tecnificación y la diversificación de la producción. Según el INTA, se hizo más eficiente el uso de los factores al aumentar la producción y disminuir los costos. Otro elemento relevante, fue la tendencia a la centralización productiva en unidades de mayor tamaño. La aptitud de las tierras del área ha permitido el cambio de uso del suelo tendiendo a la agriculturización. Estos procesos de cambio han impactado en el escurrimiento superficial.

7. Influencia del cambio de uso del suelo sobre el escurrimiento superficial.

El cambio de uso del suelo generó el aumento del escurrimiento superficial. Cuando se producen fuertes precipitaciones se originan desbordes de ríos y/o arroyos, inundaciones, erosión, difusión de contaminantes, entre otros efectos.

Cuando se produce la tala de especies arbóreas y/o vegetación natural se puede disminuir la evapotranspiración y la interceptación de las precipitaciones por parte del estrato vegetal e incrementar la sedimentación en los cursos de agua, como consecuencia de la mayor erosión de los suelos.

El aumento de la agricultura sobre los pastizales naturales también generó un aumento en el escurrimiento además de otros problemas asociados como ser la contaminación de las aguas por el uso de plaguicidas y el uso de labranza de suelo tradicional, que aumenta el riesgo de pérdida de suelo. El sobrepastoreo en zonas agrícolas y ganaderas aumentó la compactación de los mismo disminuyendo la infiltración y bajando el nivel los acuíferos. El aumento de la impermeabilidad reducirá el tiempo de concentración del escurrimiento superficial, incrementando el pico de descarga inmediatamente después de comenzar la lluvia en la cuenca.

La dinámica de cambios entre los diferentes usos de suelo durante el período de tiempo estudiado, mediante el LCM, se interpretó como un flujo de terrenos que pasaron de un uso a otro.

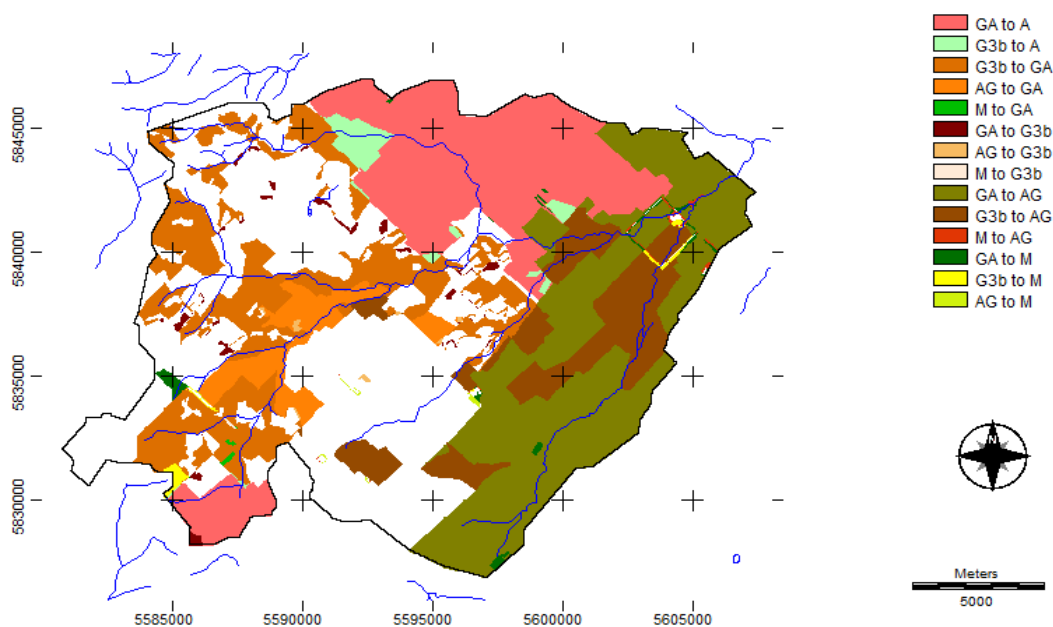


Figura 44. Zonificación de los cambios de uso del suelo en el período 1986-2011.

(Fuente: Elaboración propia).

En la Figura 44 se visualizan las transformaciones de los diferentes usos del suelo en el período 1986-2011.

En el año 1986 había mayoritariamente superficies dedicadas a actividades ganaderas y mixtas agrícolas - ganaderas. En el período de tiempo estudiado, los cambios más importantes se manifestaron en el uso GA a A y en el GA a AG. Estos cambios se ocasionaron, principalmente, en la conversión de los pastizales y de las actividades mixtas a actividades agrícolas y agrícolas ganaderas.

En la Figura 45, se pueden observar las hectáreas ganadas y perdidas en forma general por cada uno de los usos de suelo en el período de tiempo analizado (1986-2011).

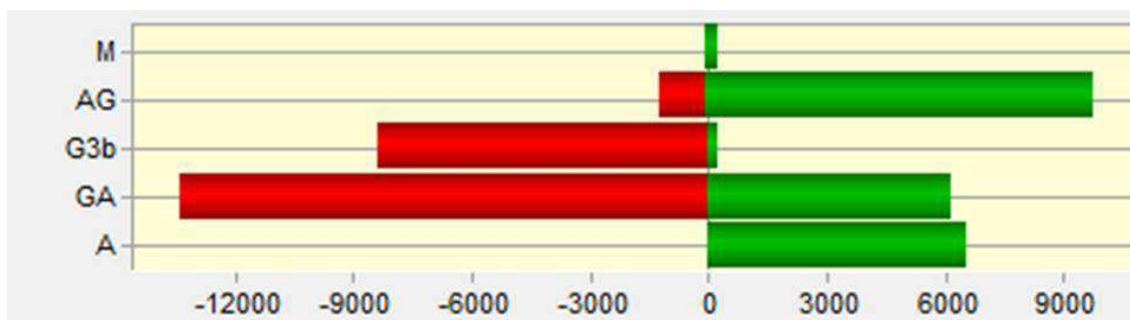


Figura 45. Ganancias y pérdidas en las categorías de uso del suelo en el período analizado (Fuente: elaboración propia).

Del análisis de los resultados obtenidos y como se representa en la Figura 46, las pérdidas netas se manifestaron en los usos Ganadería (8123,85 ha) y Ganadero agrícola (7229,9 ha). Las ganancias netas estuvieron dadas en los usos Agrícola (6520,51 ha), Agrícola ganadero (8593,4 ha) y Monte (239,84 ha).

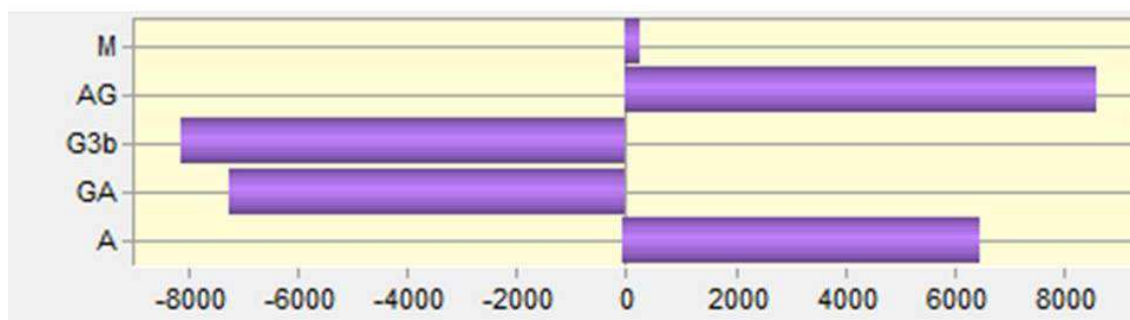


Figura 46. Ganancias y pérdidas netas de los usos del suelo (1986-2011) (Fuente: Elaboración propia).

Continuando con el análisis, se confeccionó la matriz de transición utilizada para la detección del cambio de uso del suelo en el período analizado. Esta matriz es una tabla simétrica de doble entrada, en cuyos ejes se presentan las coberturas de suelo y en cada celda, el porcentaje de la superficie de las áreas que experimentaron cambios entre los años estudiados. Las celdas situadas en la diagonal de la matriz expresan áreas sin cambios.

En la Tabla 9 se presenta la matriz de transición, de los diferentes usos del suelo, que cuantifica los porcentajes de superficie que se transformaron. Como se puede observar las coberturas que experimentaron los mayores cambios corresponden a los usos Agricultura y Ganadería. El uso ganadero se ha transformado mayormente en Agrícola debido a la implementación de tecnología que ha favorecido a aquellos suelos con aptitud agrícola que estaban subutilizados con ganadería.

Tabla 9. Matriz de detección de cambio del uso del suelo en la cuenca alta del Arroyo Napaleofú en el período 1986-2011 (Expresado en porcentaje de ocupación) (Fuente: Elaboración propia).

		Año 1986					Total 2011
		A	GA	G3b	AG	M	
Año 2011	A	0	17,65	1,32	0	0	18,97
	GA	0	14,22	14,48	3,37	0,05	32,13
	G3b	0	0,61	5,74	0,10	0,01	6,46
	AG	0	20,15	8,25	12,85	0,14	41,39
	M	0	0,54	0,30	0,06	0,17	1,06
	Total1986	0	53,16	30,09	16,39	0,37	100

La zonificación espacial de los cambios en cada uso del suelo de la cuenca, expresados como ganancias, pérdidas y persistencia para el período 1986 - 2011 se presentan en las Figuras 47 a 51 y en forma particular para cada uso del suelo, como se presenta a continuación:

USO AGRICOLA: En los años 1986 y 1996 no se registraron superficies con uso agrícola. En el año 2011 se transformaron a este uso 6520,51 ha de la superficie de la cuenca.

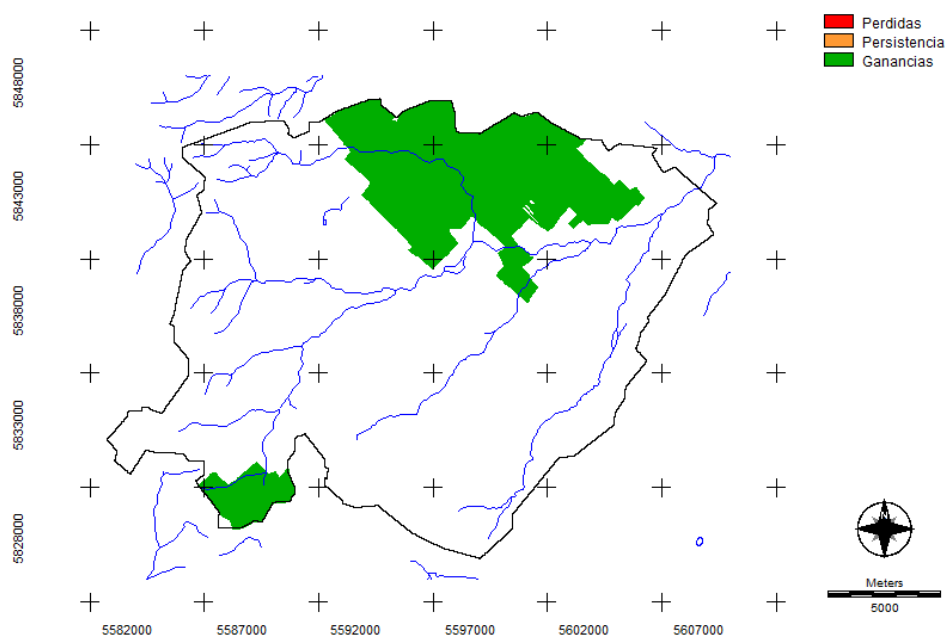


Figura 47. Cambios en el uso Agrícola (Fuente: Elaboración propia)

USO GANADERO AGRICOLA: El análisis de los datos de la matriz de transición y de la cartografía, se determinó que de las 18272,95 ha de uso Ganadero agrícola existentes en al año 1986, 6065,71 ha se transformaron a uso Agrícola, 209,46 ha a Ganadero, 6925,42 ha a Agrícola ganadero y 185,19 ha a Monte. Se mantuvieron en ese uso 4887,17 ha en el año 2011.

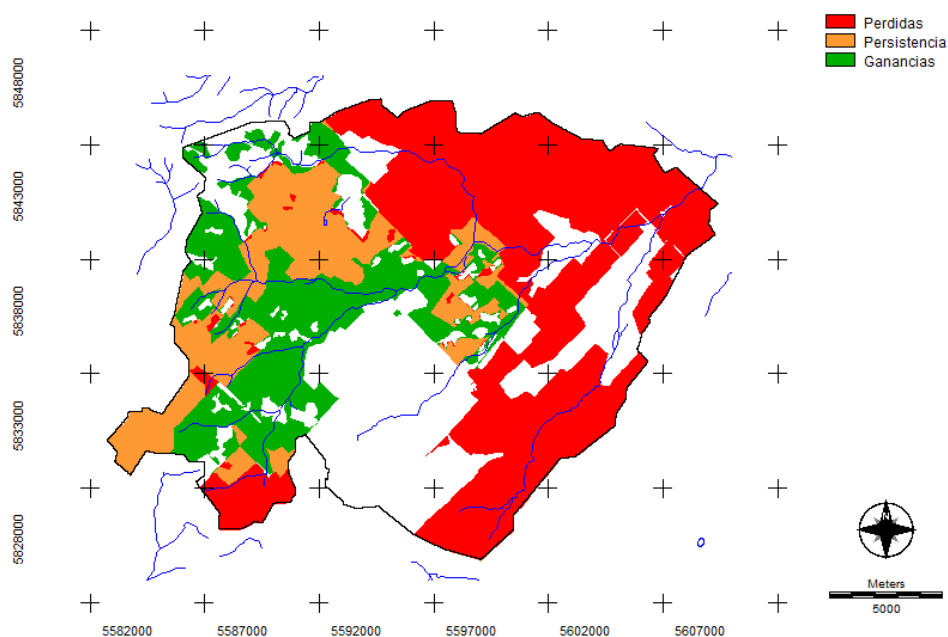


Figura 48. Cambios en el uso Ganadero agrícola (Fuente: Elaboración propia).

USO AGRICOLA GANADERO: En relación a las 5232,65 has de uso Agrícola ganadero existentes en el año 1986, 1159,88 ha se transformaron en Ganadero agrícola, 35,03 ha en Ganadero y 20,97 ha en Monte. Las hectáreas que persistieron en ese uso fueron 4416,77. En la figura 48 se observa la distribución espacial de estos cambios.

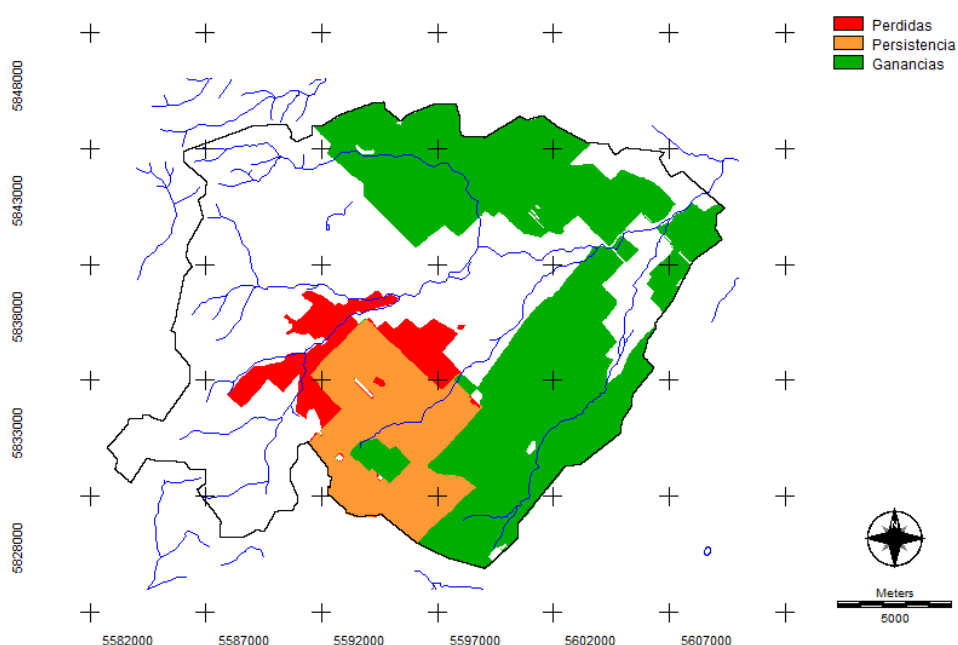


Figura 49. Cambios en el uso Agrícola ganadero (Fuente: Elaboración propia)

USO MONTE: En el año 1986 había 58,01 hectáreas con Monte. En el año 2011 se incrementaron a 365,61 has, debido al aporte de los otros usos, como se puede observar en la Figura 49.

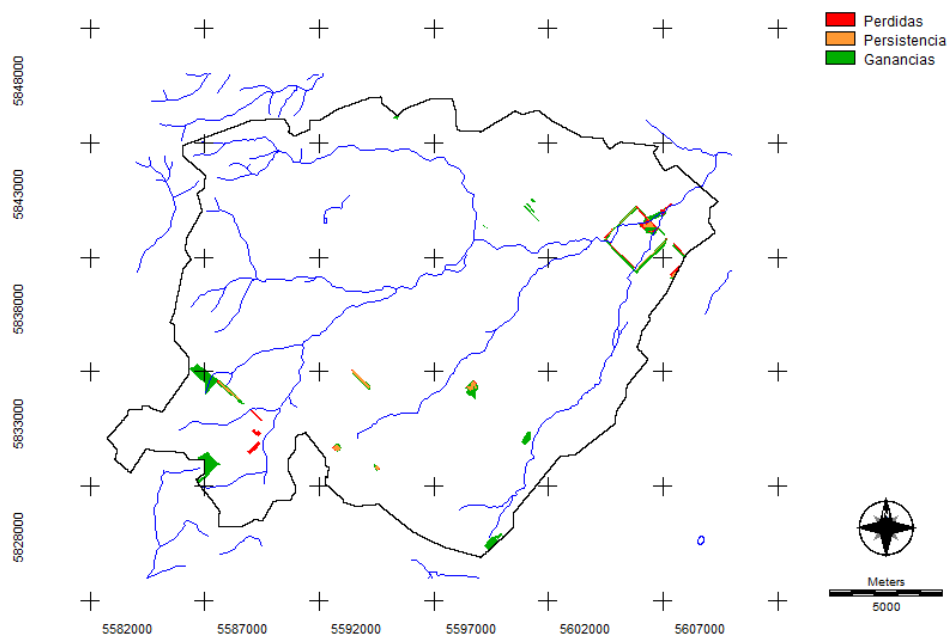


Figura 50. Cambios en el uso Monte (Fuente: Elaboración propia).

USO GANADERO: En el uso Ganadero, de las 10343,25 has existentes en el año 1986, se determinaron 2219,40 has en el año 2011. De las hectáreas perdidas, se transformaron a uso Ganadero agrícola, 4978,85 ha, a Agrícola ganadero 2836,63 ha, a Agrícola, 454,8 ha y a Monte 101,44 ha. Persistieron en ese uso 1971,83 ha.

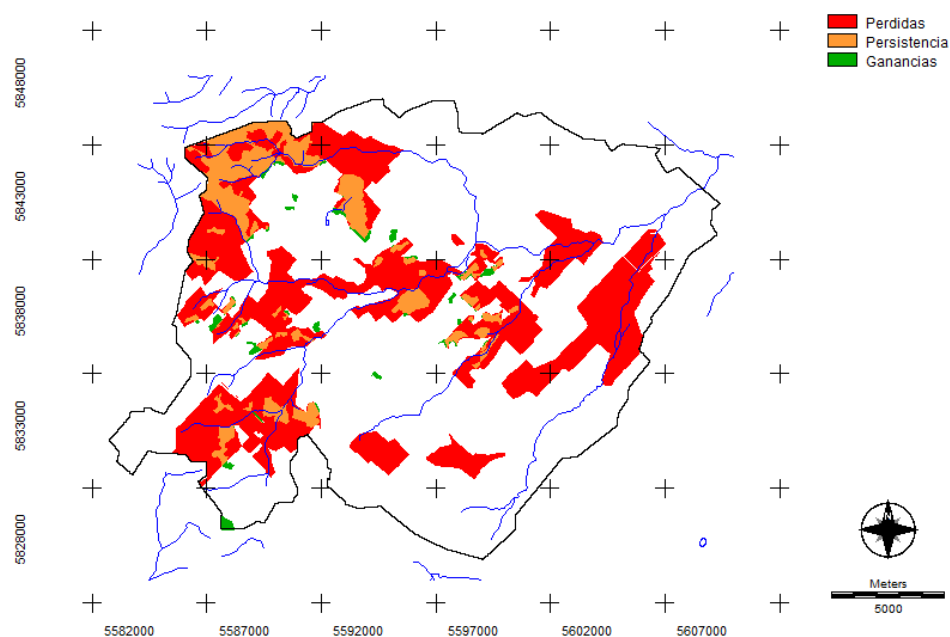


Figura 51. Cambios en el uso Ganadero (Fuente: Elaboración propia).

Los mapas generados para los períodos intermedios analizados (1986-1996 y 1996-2011) se adjuntan en el Anexo Ganancias y Pérdidas en los diferentes usos.

De la interpretación de los resultados alcanzados en el presente estudio fue verificada la influencia del cambio de uso del suelo sobre el escurrimiento.

Como se expresó en la Tabla 5 el uso GA ocupaba un 53,2% de la superficie de la cuenca; el uso G3b el 30,1%; el uso AG el 16,4% y el M el 0,4%. La agricultura estaba desarrollada en forma mixta. En este año el 45,1% de la superficie presentaba escurrimientos menores a 10 mm, entre 10 y 20 mm ocurrían en el 10% de la cuenca y láminas de escurrimiento mayores a 20 mm se manifestaron en el 34,2% de la superficie.

En el año 1996 los usos en la cuenca se distribuían en 42,5% dedicado a la GA, el 8,7% a G3b, el 48% al uso AG y el 0,8% a M. A su vez, los escurrimientos menores a 10 mm se presentaron en el 33,5% de la superficie, los comprendidos entre 10 y 20 mm en el 5,3% y los mayores a 20 mm en el 61,2% de la superficie de la cuenca.

El año 2011 se detectó el 19 % de la superficie uso A; el GA ocupó el 32%, el uso G3b el 6,5%, el AG el 41,4% y el M 1,1% de la superficie. En cuanto a los escurrimientos los menores a 10 mm se presentaron en el 4,2% de la superficie, los comprendidos entre 10 y 20 mm en el 81% y los mayores a 20 mm en el 15,6% de la superficie.

Estos resultados expresan que el cambio de uso del suelo repercute sobre el escurrimiento superficial. Para estimar el efecto de cambio de uso “aislado” (para una misma lluvia) se realizó el análisis para cada precipitación modal. En la Figura 52 se presentan los resultados alcanzados, donde se observó que para la precipitación de 73 mm correspondiente al año 1986, generaría un aumento del escurrimiento, al modificarse el uso del suelo. Iguales tendencias se obtuvieron con la precipitación de 75 mm, correspondiente al año 1996 y la de 58 mm (año 2011).

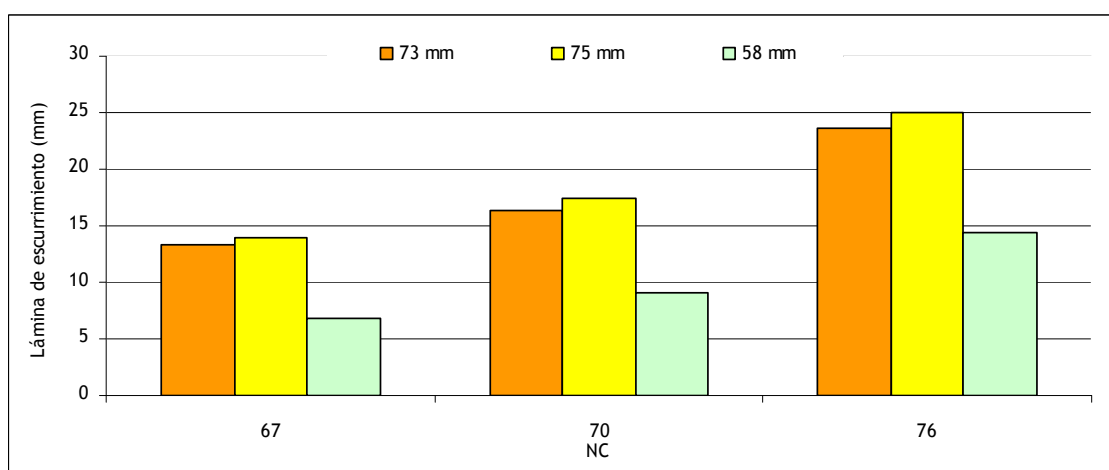


Figura 52. Lámina de escurrimiento para los diferentes NC por lluvia modal (Fuente: Elaboración propia).

8. Análisis del caudal de avenida y la Influencia del cambio de uso del suelo.

El análisis de la dinámica hídrica se completó con una recopilación de información de caudales de avenida en la Autoridad del Agua de la provincia de Buenos Aires. A partir de estos datos, que corresponden al período 1963-2010, se realizó un análisis estadístico para definir la variabilidad temporal de los caudales de avenida registrados en ese período.

El punto de aforo del Arroyo Napaleofú, se encuentra en su intersección con el cruce de la ruta nacional 226. Este aforador era monitoreado por personal del ADA (Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires). Se han obtenido datos diarios de caudal desde 1 de enero de 1990 hasta 26 de octubre de 2010. A partir del año 2010 no se registraron más mediciones. En la Figura 53 se presenta la distribución de los caudales medios diarios y de la precipitación media diaria.

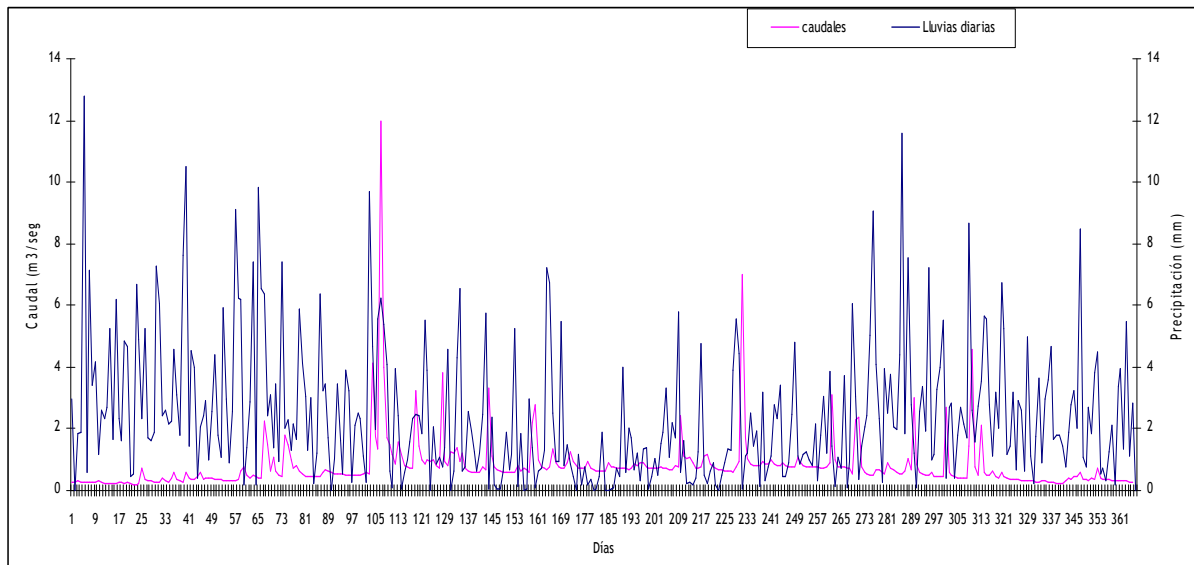


Figura 53. Distribución de los caudales medios diarios y de la precipitación media diaria (Elaboración propia a partir de datos del ADA).

Actualmente, desde la Cátedra de Manejo de Cuencas se está solicitando, a través de un acuerdo con la Autoridad del Agua, la colocación de un aforador automático para retomar las mediciones en forma continua en el aforo sobre la Ruta N° 226, que permitirá extender las investigaciones en el área serrana del Arroyo Napaleofú. (Figura 54).



Figura 54. Ubicación del aforo de la Autoridad del Agua.

Los datos de caudales medidos a la salida de la cuenca por la Autoridad del Agua fueron considerados en forma orientativa y no permiten hacer inferencias. Con

ellos, se confeccionó la Figura 55, en la que se visualiza una tendencia de los caudales en aumento hacia el año 2010. Los picos extremos y más importantes datan de los años 1985, 1993, 2001 y 2002, momentos históricos de inundaciones - crecidas locales.

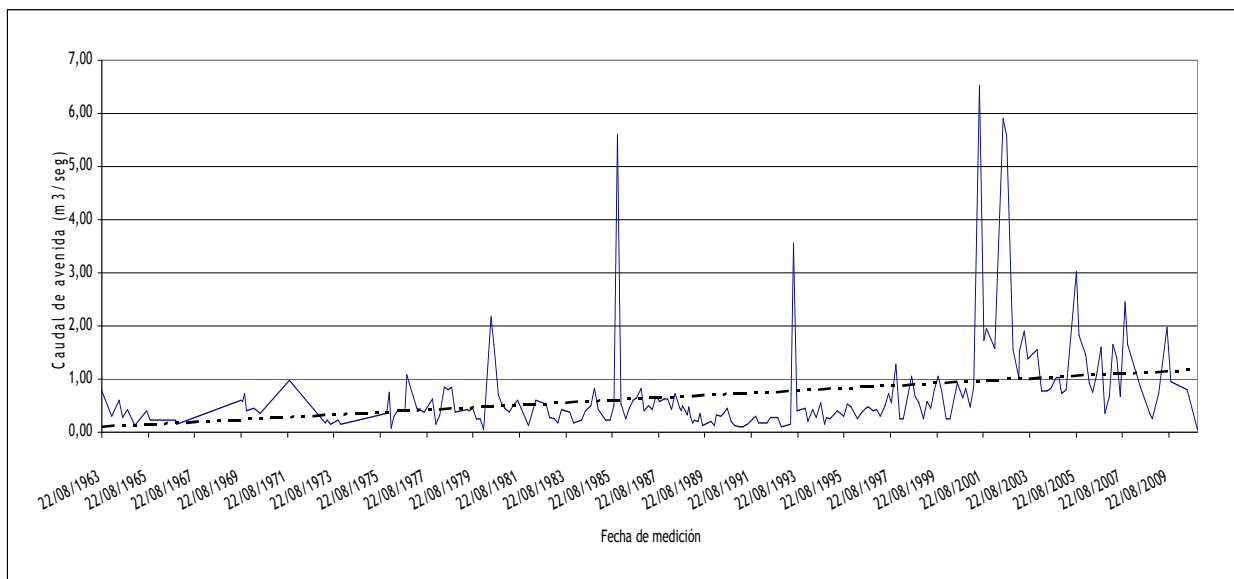


Figura 55. Caudales medidos a la salida de la cuenca (1963-2010) (Fuente: Elaboración propia, en base a datos medidos por el ADA).

El análisis estadístico de esta serie de datos, arrojó un caudal medio de 0,70 m³/seg, con un valor mínimo de 0,04 m³/seg (ocurrido el 08/02/1980) y un máximo de 6,52 m³/seg (ocurrido el 16/06/2001) (Figura 55). El desvío fue de 0,89 m³/seg. Se puede afirmar, con un 95% de confianza, que la media real se encuentra entre 0,58 - 0,82 m³/seg, mientras que la desviación típica real está entre 0,81 - 0,99 m³/seg. Ambos intervalos asumen que los datos presentan una distribución normal.

En la Figura 56 se observa que existen caudales pico importante que exceden los límites de la media, más menos uno, y dos desvíos estándares. Esos picos están relacionados con tormentas extraordinarias, medidas en la estación meteorológica de Tandil.

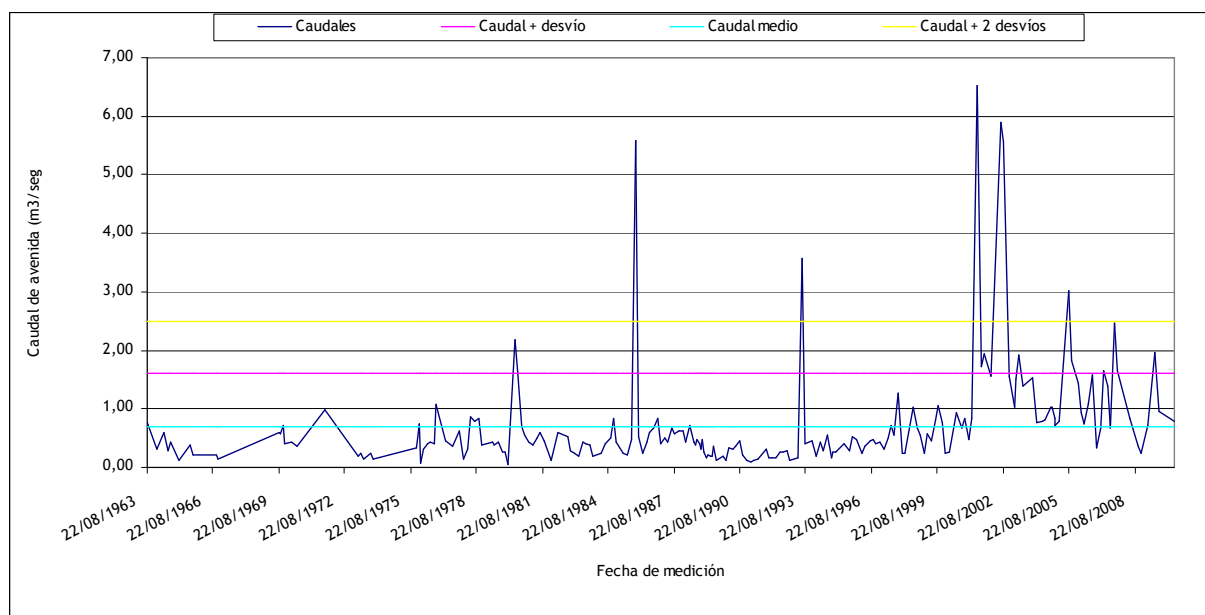


Figura 56. Distribución de caudales con su media y desvíos estándares (Fuente: Elaboración propia, en base a datos medido por el ADA).

A partir de la distribución de caudales medidos en el aforo del ADA, se desarrolló una integración entre la distribución de las subcuencas, su caracterización morfológica, y se estableció un esquema de circulación del flujo de agua, que indica una dinámica de fluido superficial con una dirección según se presenta en el diagrama de bloques (Figura 55).

Para realizar una modelización parcial de los caudales actuales, se realizaron durante las recorridas de campo, una serie de perfiles transversales en las áreas de traslado, identificados con estrellas en la Figura 55. En este gráfico también se presentan los valores de caudal medidos en las fechas expresadas en la Tabla 9.

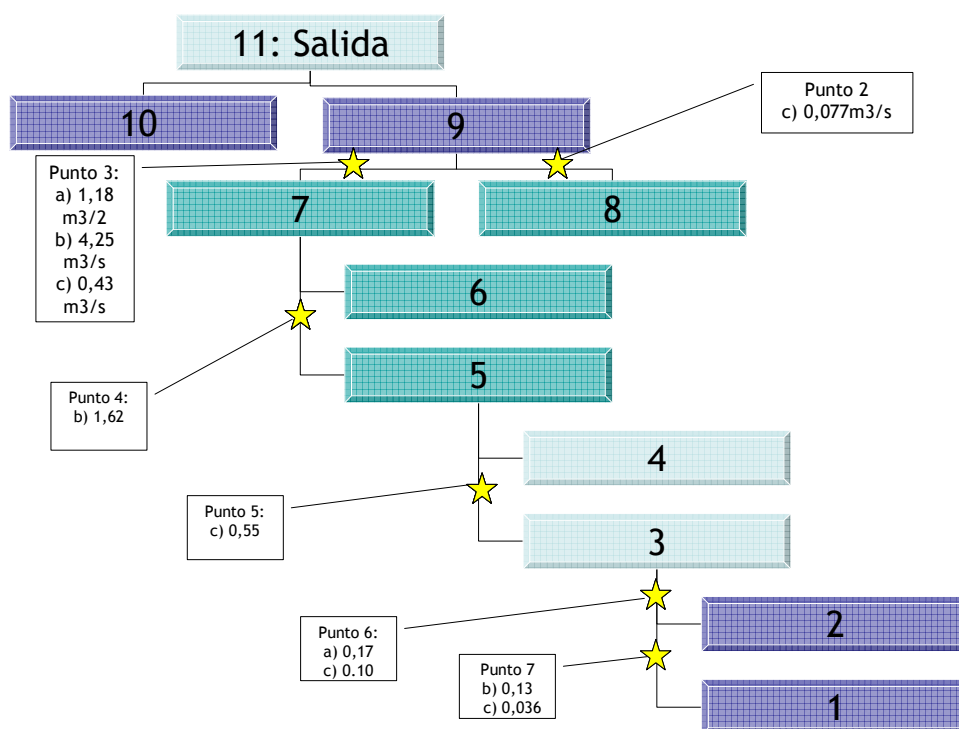


Figura 55. Diagrama de flujo de agua y caudales observados en la cuenca del Arroyo Napaleofú, según Tabla 9 (Fuente: Elaboración propia).

En la Tabla 10 se observan los valores de los caudales medidos en las recorridas por la cuenca del Arroyo Napaleofú. Las diferentes fechas se identificaron con una letra.

Tabla 10. Caudales de avenida medidos en diferentes fechas.

	Fecha	Muestras	Arroyo	Caudal (m³/seg)
a	03/05/2012	3	Napaleofú	1,18
a	03/05/2012	6	Pesquería	0,11
b	12/07/2012	3	Napaleofú	4,25
b	12/07/2012	4	Napaleofú	1,62
b	12/07/2012	7	Pesquería	0,13
c	15/04/2013	2	Ballenera	0,077
c	15/04/2013	3	Napaleofú	0,43
c	15/04/2013	5	Los Galpones	0,55
c	15/04/2013	6	Pesquería	0,17
c	15/04/2013	7	Pesquería	0,036

Los datos de caudales tomados a campo y los brindados por la ADA, se consideran como datos exploratorios y orientativos que brindan una concepción de la dinámica del agua en la cuenca. Igualmente expresan la reacción de la cuenca ante una precipitación, indicando variaciones instantáneas de hasta cuatro veces el caudal medio.

En los días previos a la recorrida de campo del 12 de julio de 2012, la cuenca recibió el aporte de precipitaciones importantes. En la Figura 56, se puede observar el material de arrastre, producto de la siembra directa, depositado en los alambrados por la tormenta de los días previos a la recorrida, lo que permitió inferir que el caudal del arroyo, alcanzó una altura aproximada de dos metros durante la crecida.



Figura 56. Vista de los arrastres de rastrojos producidos por la circulación de agua en un tributario del Arroyo Napaleofú.

En el Anexo Informes de Viajes, se presentan las observaciones realizadas en las recorridas a campo, que caracterizan cada uno de los perfiles realizados y de las planicies de inundación y de aporte al canal recolector.

A partir de los resultados alcanzados por la modelización hidrológica con SIG de lluvia-escurrimiento y de la base de datos espacio temporal de uso del suelo, se ha generado en este trabajo un laboratorio para probar el efecto de nuevas alternativas de manejo de uso de suelo.

Como mencionan Lambin et al. (2001), los cambios en el uso del suelo tienen consecuencias preocupantes, ya que cuando se agregan globalmente influyen

aspectos clave en el funcionamiento del sistema terrestre, con un efecto directo en la biodiversidad, en el cambio climático local y regional, en la degradación del suelo, y en los procesos hidrológicos de los ecosistemas; además disminuyen la habilidad de los sistemas biológicos para soportar las necesidades humanas (Miranda-Aragón, et al. 2009).

CONCLUSIONES

La relación existente entre los parámetros físicos de la cuenca y las variables hidrológicas otorgan una orientación cualitativa en cuanto a la respuesta hidrológica de la cuenca. Los parámetros morfométricos calculados de la cuenca del Arroyo Napaleofú, se determinaron sobre datos básicos procesados con SIG, elaborando en gabinete la base de datos digital morfológica de la cuenca, formando parte del procedimiento inicial para el diagnóstico de la dinámica espacio - temporal del escurrimiento superficial. La morfometría definida permitió inferir que la cuenca se encuentra en una zona de relieve bajo, en equilibrio dinámico del sistema según las características de relieve y geomorfológicas. La confección de la curva hipsométrica adimensional estableció que la cuenca presenta actividad sedimentaria con tendencia al equilibrio, desarrollando una fase de madurez. El relieve predominante es plano, suavemente ondulado, con escasa presencia de superficie entre accidentado a muy escarpado. Esta característica, en conjunción con los resultados de los parámetros de la red de drenaje, determinó que la cuenca presenta una baja complejidad con un sistema de drenaje asociado a áreas resistentes a la erosión, permeables y de bajo relieve.

La zonificación espacio - temporal de los cambios de cobertura y uso del suelo permitió analizar, para el período 1986-2011, la dinámica y distribución. Se observó que las coberturas que experimentaron los mayores cambios correspondieron a los usos Agricultura y Ganadería. Los usos ganadero - agrícola y ganadero disminuyeron, mostrando una tendencia hacia el uso agrícola. El 32,98% de la superficie mantuvo los usos respectivos durante los 25 años analizados. El mayor cambio se evidenció en el uso agrícola, el cual manifestó un incremento de alrededor del 20%.

El análisis de la tasa de cambio reflejó el cambio en el uso del suelo. Se observó que en el período 1986-1996 estas tasas fueron más altas que en el período 1996-2011. Esta situación se ha presentado debido a que en los años 1990 las transformaciones en la estructura productiva regional, derivadas de la introducción de tecnología y de la adquisición de capacidades técnicas de los productores agropecuarios, favoreció la sustentabilidad del ecosistema, permitiendo que la aptitud de los suelos no fuera subutilizada.

El cambio de uso del suelo generó aumento del escurrimiento superficial. En el año 1986 el 45,1% de la superficie presentaba escurrimientos menores a 10 mm, escurrimientos entre 10 y 20 mm ocurrían en el 10% de la cuenca y láminas de escurrimiento mayores a 20 mm se manifestaron en el 34,2% de la superficie. En el

año 1996 los escurrimientos menores a 10 mm se presentaron en el 33,5% de la superficie, los comprendidos entre 10 y 20 mm en el 5,3% y los mayores a 20 mm en el 61,2% de la superficie de la cuenca. El año 2011, los escurrimientos menores a 10 mm se presentaron en el 4,2% de la superficie, los comprendidos entre 10 y 20 mm en el 81% y los mayores a 20 mm en el 15,6% de la superficie. Esta metodología permitió analizar la influencia del cambio de uso del suelo sobre el escurrimiento superficial en la cuenca alta del Arroyo Napaleofú.

Los resultados alcanzados en esta tesis, expresan que la variabilidad espacial en los cambios manifestados en el uso del suelo establecidos por la modelización hidrológica, produce cambios en la generación de escorrentía (incremento o descenso) pudiendo extrapolar esta metodología a cuencas homólogas, de esta manera se corrobora la hipótesis planteada.

Teniendo en cuenta esta dinámica de cambios, es importante disponer de una cartografía dinámica que registre y actualice las transformaciones de usos y sus consecuencias en la producción de escorrentía diferenciando entre los sectores de generación de escorrentía y los sectores donde predomina el riesgo de inundación. Los SIG proporcionan herramientas de análisis muy importantes ya que permiten actualizar los cambios de uso y calcular su alcance en la producción de escorrentía, convalidando la segunda hipótesis.

A partir de los datos relevados durante el desarrollo de esta tesis y con los resultados alcanzados por la modelización hidrológica con SIG de lluvia-escurrimiento, para la base de datos espacio temporal de uso del suelo 1986-2011, se ha generado el punto de partida para las futuras investigaciones que permitirán monitorear diferentes alternativas de manejo de uso de suelo y dimensionar futuras obras que permitan amortiguar picos y ordenar escurrimientos.

BIBLIOGRAFÍA

Aguayo M., Pauchard, A., Azócar, G. y O. Parra. 2009. Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX. Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista Chilena de Historia Natural* 82: 361-374 p.

Barranquero, R. S., Varni, M., Ruiz de Galarreta, A. y R. Banda Noriega. 2012. Aporte de la hidroquímica al modelo conceptual del sistema hídrico subterráneo, Tandil. Argentina. *GEOACTA* 37(2): 130-146 (2012) ISSN 1852-7744. Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas.

Berlanga-Robles, C., Ruiz-Luna, A., Orlando Covarrubias-Legaspi, H. y R. Hernández-Guzmán. 2011. Patrones de escurrimiento en la Cuenca Lechuguilla-Ohuira-Navachiste, Sinaloa, asociados a cambios de uso del suelo: Una aproximación con el modelo del número de curva. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Vol. 63, n° 1. 39-52 p.

Bertoni, J.C. 1997. Hidrología de proyecto. Manual de control de la erosión hídrica. Córdoba. Argentina. Ed. Universidad Nacional de Córdoba, pp. 32-35.

Bonell, M. y D.A. Gilmour. 1978. The development of overland flow in a tropical rainforest catchment. *Journal of Hydrology* 39. 365-382.

Bruno, J. 2000. Manejo de Cuencas Hidrográficas, Análisis Conceptual. Magister Scientiae en Manejo de Cuencas Hidrográficas. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.

Cabrera, A.1971. Fitogeografía de la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. Vol XIV. N° 1 y 2.

Chow, V.T., Maidment, D. y L. Mays. 1994. Hidrología Aplicada. Ed. Mc Graw Hill Interamericana S.A., Bogotá, 2000. 584 pp.

Danilo C., J. 2002. Teledetección del bosque (en línea). In Guariguata, M.R. y Kattan, G.H. Ecología y conservación de bosques neotropicales. Eds. Los autores. Costa Rica, Editorial Tecnológica. p 625-645. Consultado nov. 2009. Disponible en <http://www.uprm.edu/biology/profs/chinea/lectesc/instrum/chineateledet.pdf>

Díaz, C., Mamado, K., Iturbe, A., Esteller, M. y F. Reyna. 1999. Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT: Caso el curso alto del río Lerma, estado de México. *Ciencia Ergo Sum* 6 (2): 124-134. Toluca. México.

- Eastman, J. R. 2006. Idrisi Andes Guide to GIS and Image Processing. Clark Labs, Clark University, USA.
- Echeverría, C., Coomes D., Salas J., Rey-Benayas, J. y A. Lara. 2006. Rapid Deforestation and fragmentation of Chilean temperate forest. *Biological conservation* 130: 481-494.
- FAO. 1988. Manejo integrado de cuencas hidrográficas en América Latina. Santiago de Chile. Pp 36.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1984. Metodología provisional para la evaluación y la representación cartográfica de la desertización. Roma, Italia
- Fernández, G., Valenzuela, S., R., Ricci, S., Dillon, A y A. Ramos. 2008. El patrimonio geológico-minero como recurso para crear rutasturísticas en el sistema de Tandilia, Argentina. *De Re Metallica*, 10-11, 2008 pp. 81-90© Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero ISSN: 1577-9033
- Gaspari, F.J., Rodríguez Vagaría, A., Senisterra, G.E.; Delgado, M.I. y S. Besteiro. 2013. Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. Editorial: Universidad Nacional de La Plata, 1a ed. 188 p.
- Gaspari, F.J., Senisterra, G.E., Delgado, M.I.; Rodríguez Vagaría, A. y S. Besteiro. 2009. Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. Primera Edición. La Plata. 321 pp.
- Gaspari, F.J., Senisterra, G.E. y R.M. Marlats. 2007. Relación precipitación-escurrimiento y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo aplicada a una cuenca modal del Sistema Serrano de la Ventana. Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. U.N.C.* Pág. 21-28 p. Tomo XXXIX. N° 1.
- Gaspari, F. J., Bruno J., Rickfelder R. M., Hauri B. A., Leonart M, Ohde Cornely I., Oroná C. y N.Cellini. 2006. Manejo Integral de las Cuencas Hidrográficas Serranas del Partido de Tornquist. Estudio de Prefactibilidad. Ediciones Universitarias de La Plata. 135 p.
- Gaspari, F. J. 2002. Ordenamiento territorial en cuencas serranas. Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.). Ediciones Cooperativas. 116 pp.
- Henaos, J. 1988. Introducción al manejo de cuencas hidrográficas. Universidad Santo Tomás. Centro de Enseñanza descolarizada, Bogotá. 399 pp.
- Herrera H. B. 1983. Elementos de fotogrametría, uso de los materiales aerofotográficos. Universidad Autónoma, Chapingo. Chapingo, México.

Instituto Nacional de Ecología (INE) 2004. Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del Parque de Tancitaro. Instituto Nacional de Ecología- Dirección General de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. México, D. F.

INTA, 1986. Aptitud y uso actual de las tierras argentinas. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Proyecto PNUD. Argentina 85/019 Área Edafología. 32 p.

INTA, 1995. Atlas de Suelos de la República Argentina. Escala 1:500.000. Versión Digital

INTA - SAGyP. 1989. Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires.

Lambin, E.F. y H.J Geist. 2007. Causes of land-use and land-cover change, in Cutler, J.C. (ed.), The Encyclopedia of Earth (en línea): Washington D.C., Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment, disponible en <http://www.eoearth.org/article/Causes_of_land-use_and_land-cover_change>

Lambin, E. F., B. L. Turner, H. Geist, S. B. Agbola, A. Angelsen, J., W. Bruce, O. T. Coomes, V. Dirzo, G. Fischer, C. Folke, P. S. George, K. Homewood, J. Imbernon, R. Leemans, X. Li, E. F. Moran, M. Mortimore, P. S. Ramakrishnan, J. F. Richards, H. Skanes, W. Steffen, G. D. Stone, U. Svedin, T. A. Veldkamp, C. Vogel, and J. Xu. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environ. Change* 11: 261-269.

Lauría, D.; Fuxman, C. y G. Díaz. 2000. Ventajas competitivas y oportunidades de Inversión. UNCPBA-Municipalidad de Tandil. www.unicen.edu.ar

Liniger H. y R. Weingartner. 2008. Montañas y recursos hídricos. Documento FAO. Italia. <http://www.fao.org/docrep/w9300s/w9300s08.htm>

Linsley, R.; Kohler, M. y J. Paulhus. 1993. Hidrología para ingenieros. Segunda edición. Editorial McGraw-Hill. 386 pp.

López Cadenas del Llano, F. 1998. Restauración hidrológica forestal y control de la erosión. Ingeniería Ambiental. Tragsa-Tragsatec, Ministerio del Medio Ambiente, Ediciones Mundiprensa, Madrid, España. 945 pp.

López Bidone, E. 2010. El capital intangible y el proceso de reorganización sectorial como génesis de la competitividad territorial. Tandil como caso de estudio. Observatorio de la Economía Latinoamericana N° 125.

<http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ar/>

Llamas, J. 1993. Hidrología general: principios y aplicaciones. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. Bilbao, España. 635 p.

Mark, A. y P.E. Marek. 2009. Hydraulic Design Manual, by Texas Department of Transportation (TxDOT). Published by the Design Division (DES). (http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/hyd/manual_notice.htm)

Milano, F.A. y E.A.Caselli. 2000. Desarrollo agropecuario sustentable en la región pampeana. Área de Recursos Naturales y Sustentabilidad Facultad de Ciencias Veterinarias Universidad Nacional del Centro

Miller, V. C. 1953. A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. Office of Naval Research, Geography Branch, Project NR 389-042. Technical Report, 3. Columbia University.

Mintegui Aguirre, J. A. y F. López Unzú. 1990. La ordenación agrohidrológica en la planificación. I parte. Servicio central de publicaciones del Gobierno Vasco. 172 pp.

Miranda-Aragon, L.; Ibañez-Castillo, L.; Valdez-Lazalde, J. y P. Hernández-De La Rosa. 2009. Modelación hidrológica empírica del gasto de 100 años de período de retorno del Río Grande, Tlalchapa, Guerrero, en dos escenarios de uso del suelo. *Agrociencia* [online]. Vol.43, n.4 [citado 2014-04-03], pp. 333-344. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952009000400001&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1405-3195.

Montico, S. 2004. Estudios sobre Sociedad, Naturaleza y Desarrollo. Revista Theomai. Número extra 1. <http://www.revista-theomai.unq.edu.ar/>

Ortiz, J. 2004. Evaluación hidrológica. Revista Hierro Red. Red Latinoamericana de Micro Hidroenergía. Lima Perú. Vol (2): 2-10

Pritchett W. L. 1991. Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. Ed, Limusa, S. A. Mexico. DF. 634 p.

Racca, J. M. 2007. Análisis hipsométrico, frecuencia altimétrica y pendientes medias a partir de modelos digitales del terreno. Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología. Rosario, Argentina: 77 (1-2): 31-38.

Ramos Reyes, R., Palma López, D., Ortiz Solorio, C., Ortiz García, C. y G. Díaz Padilla, 2004. Cambios de uso de suelo mediante técnicas de sistemas de información geográfica en una región cacaotera. *TERRA Latinoamericana*, Vol. 22, Núm. 3. 2004, 267-278 p. Universidad Autónoma Chapingo. México.

Rodríguez Vagaría, A.M. y F.J. Gaspari, 2012 GeoQ: Herramienta para la determinación del número de curva y Escorrentía bajo entorno SIG IDRISI Andes®. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica. Geo Focus N° 10. 11-26 p.

Ruiz de Galarreta, A y R. Banda Noriega, 2005. Geohidrología y evaluación de nitratos del Partido de Tandil, Buenos Aires, Argentina. IV Congreso Argentino de Hidrogeología y II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea. UNCR. Río Cuarto, Córdoba. 99-108.

Sánchez, R y M. V. Núñez (2004). El sistema de Tandilia: una aproximación a la definición de su espacialidad y compartimentación territorial, en Actas del segundo Congreso de la ciencia cartográfica - IX Semana nacional de cartografía, SEGEMAR-Centro Argentino de Cartografía, Buenos Aires.

Sánchez, R. y M. V. Verellén. 2007. Sierra del Tandil: un análisis y discusión de su relevancia geomórfica en el marco teórico de la ecología de paisajes. Contribuciones Científicas de la Sociedad Argentina de Estudios Geográficos. Vol. 19: 1-15.

Sandoval, V y V. Oyarzun. 2004. Modelamiento y prognosis espacial del cambio en el uso del suelo. Revista Quebracho 11: 9-21.

Scotta, E., Nani, L.A. y A.E Codromaz de Rojas. (1989): "Propuesta metodológica para el control de erosión hídrica". Manejo de Suelos y Aguas en llanuras argentinas. INTA-CONAPHI. Santa Fé, 31-42.

Senciales Gonzalez, J. M. 1998. El análisis morfológico de las cuencas fluviales aplicado al estudio hidrográfico. Norba Revista de Geografía. España. 10: 155-184.

Senisterra, G; Rodríguez Vagaría, A, Gaspari, F , M. G. Mazzucchelli. 2014. Aspectos morfométricos de la región serrana del arroyo Napaleofú, Buenos Aires-Argentina. Revista Geográfica Venezolana. En prensa.

Strahler, A. N. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basin and channel networks. Handbooks Applied Hydrology. In V. T. Chow(Ed.), Handbook of Applied Hydrology. (pp. 4, 39-4,76) New York: McGraw Hill.

Strahler, A. N. 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Bulletin of the Geological Society of America, USA. (63): 1117 - 1142.

Tchilinguirian, P; Tello, N.; Cavallaro, S. y C Fratalocchi. 2004. Boletín N° 341. Carta de Línea de Base Ambiental 3760-IV. Tandil. Servicio Geológico Minero

Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales Instituto de Geología y Recursos Minerales. Dirección de Geología Ambiental Aplicada. 115 p.

Urciuolo, A., Iturraspe, R., Rosanigo, B., Parson, A., Moyano, E. y M. Villarreal. 2007 Modelado de simulación hidrológica utilizando un enfoque de desarrollo basado en componentes IX. Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación. - Trelew - Chubut, Argentina. 5 pp.

Van Lynden, G.W.J. y L.R. Oldeman. 1997. The assessment of the human-induced soil degradation in South and Southeast Asia. International Soil Reference and Information Centre. Wageningen, The Netherlands.

Vázquez, P. y L. Zulaica. 2011 Cambios en el uso de la tierra del partido de Tandil y principales impactos ambientales. Revista Párrafos geográficos, Vol 10, N° 2. 242-267 ISSN 1853-9424.

Vázquez, P., M. Sacido y L. Zulaica. 2012 Técnicas de análisis para el ordenamiento territorial de cuencas agropecuarias: Aplicaciones en la Pampa Austral, Argentina. Scripta Nova, Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales, Universidad de Barcelona, v. 16, n. 392. (<http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-392.htm>).

Vázquez. P., Zulaica, L. y V. Ferreira. 2014. Expansión agrícola e impactos territoriales en la Cuenca Superior del Arroyo Langueyú (Partido de Tandil, Provincia de Buenos Aires, Argentina). Geografia em questão. Vol.07, N°1. 177-202 p.

Venacio, L. 2007 Globalización, Desarrollo Local y Sociedad Civil. Edición electrónica gratuita. Texto completo en: www.eumed.net/libros/2007a/222/

Viglizzo, E., Frank, F. y L. Carreño. 2006. "Situación ambiental en las ecorregiones Pampa y Campos y Malezas" p. 263-269. En Brown, Martínez Ortiz, Acerbi y corchera (Editores). La Situación Ambiental Argentina 2005. Fundación Vida Silvestre, Buenos Aires.

Viglizo E. y E. Jobbagy 2010. Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina y su impacto Ecológico-Ambiental. Ediciones INTA. Buenos. Aires. Argentina.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Fernanda Gaspari, mi directora, por sus consejos, orientaciones y mucha paciencia para trasmitirme sus conocimientos y experiencia, para lograr que las ideas generadas durante el desarrollo de este trabajo pudieran convertirse en esta tesis de Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas.

Al Dr. Gabriel Vázquez Amabile, Co-director de tesis, quien me ha apoyado en los trabajos de campo y sus conocimientos en modelos hidrológicos y sobre actividades agropecuarias, principalmente del área de estudio, fue fundamental para la concreción de este trabajo.

A mis compañeros Alfonso y María Isabel, quienes me alentaron y brindaron su incondicional apoyo.

A Gabriela, mi compañera de estudio en esta Maestría.

A mi esposo, Mario, mis padres e hijos, quienes siempre guiaron mis acciones y alentaron la tarea emprendida.

A la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP, y a la Secretaría de Educación Superior del Ministerio de Educación de la Nación, a través del Programa de Incentivos a la Docencia e Investigación.

ANEXOS

TABLAS

Tabla A. Número de curva para suelos con uso agrícola.

Uso Suelo	Tratamiento o Practica	Condición				
		Hidrológica	A	B	C	D
Rastrojo o Barbecho	desnudo	-----	77	86	91	94
	Cubierta residuo	Pobre	76	85	90	93
	de cosecha	Buena	74	83	88	90
Cultivo en hilera	Hileras rectas	Pobre	72	81	88	91
		Buena	67	78	85	89
	Hileras rectas c/ residuo	Pobre	71	80	87	90
		Buena	64	75	82	85
	En contorno	Pobre	70	79	84	88
		Buena	65	75	82	86
	En contorno c/ residuo	Pobre	69	78	83	87
		Buena	64	74	81	85
	Contorno y terrazas	Pobre	66	74	80	82
		Buena	62	71	78	81
	Contorno y terrazas, c/ residuo	Pobre	65	73	79	81
		Buena	61	70	77	80
Cultivos de invierno	Hileras rectas	Pobre	65	76	84	88
		Buena	63	75	83	87
	Hileras rectas c/ residuo	Pobre	64	75	83	86
		Buena	60	72	80	84
	En contorno	Pobre	63	74	82	85
		Buena	61	73	81	84
	En contorno c/ residuo	Pobre	62	73	81	84
		Buena	60	72	80	83
	Contorno y terrazas	Pobre	61	72	79	82
		Buena	59	70	78	81
	Contorno y terrazas, c/ residuo	Pobre	60	71	78	81
		Buena	58	69	77	80
Siembra de verdeos de gramíneas y Leguminosas	Hileras rectas	Pobre	66	77	85	89
		Buena	58	72	81	85
	En contorno	Pobre	64	75	83	85
		Buena	55	69	78	83
	Contorno y terrazas	Pobre	63	73	80	83
	Buena	51	67	76	80	

Tabla B. Número de curva para suelos con diferentes usos.

Uso Suelo	Tratamiento o Practica	Condición Hidrológica	A	B	C	D
Pastura, Pastizal o rango de forrajes continuo para pastoreo		Pobre	68	79	86	89
		Medio	49	69	79	84
		Bueno	39	61	74	80
Praderas naturales o cultivadas.	Curva nivel	Pobre	47	67	81	88
		Medio	25	59	75	83
		Bueno	6	35	70	79
Pradera, pasto continuo. reservado para pastoreo y cortado para heno		--	30	58	71	78
Pastizal, c/ broza, pasto mezclado con pajonal, con la mejor cobertura		Pobre	48	67	77	83
		Medio	35	56	70	77
		Bueno	30	48	65	73
Bosque, c/ mezcla de pastos, monte frutal o forestación		Pobre	57	73	82	86
		Medio	43	65	76	82
		Bueno	32	58	72	79
Bosque		Pobre	45	66	77	83
		Medio	36	60	73	79
		Bueno	30	55	70	77
Granjas, construcciones, caminos, lotes circundantes			59	74	82	86

ANEXO

GANANCIA Y PÉRDIDA EN LOS DIFERENTES USOS

En este anexo se adjuntan las figuras que muestran la zonificación de las ganancias, pérdidas y persistencia en los diferentes usos, para los períodos analizados (1986-1996 y 1996-2011)

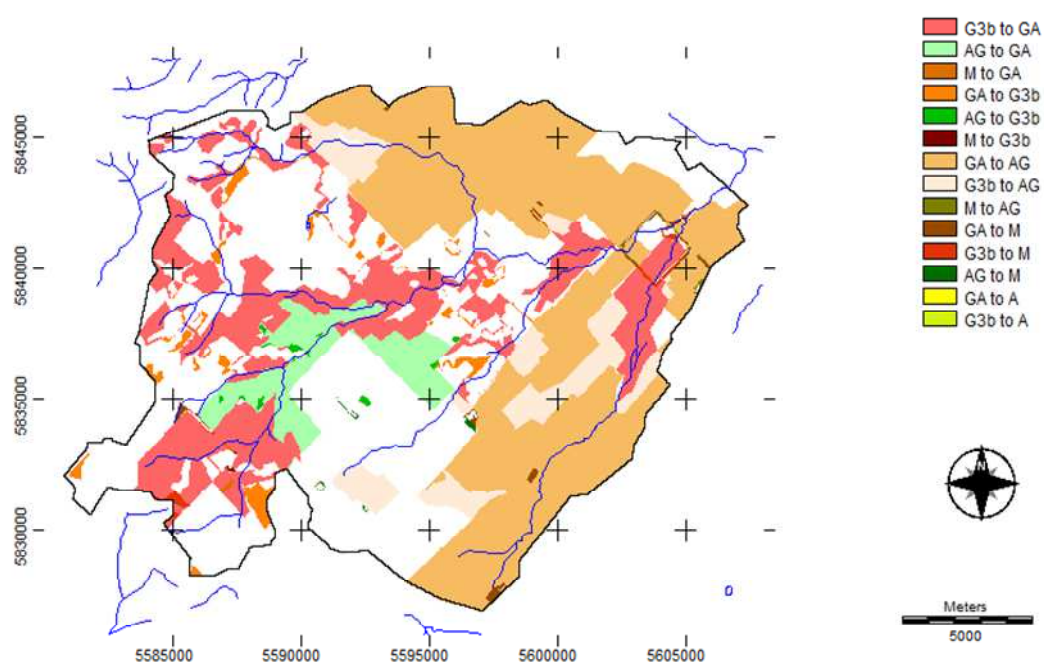
Período 1986 - 1996

Figura 1. Zonificación de los cambios de uso del suelo en el período 1986-1996.

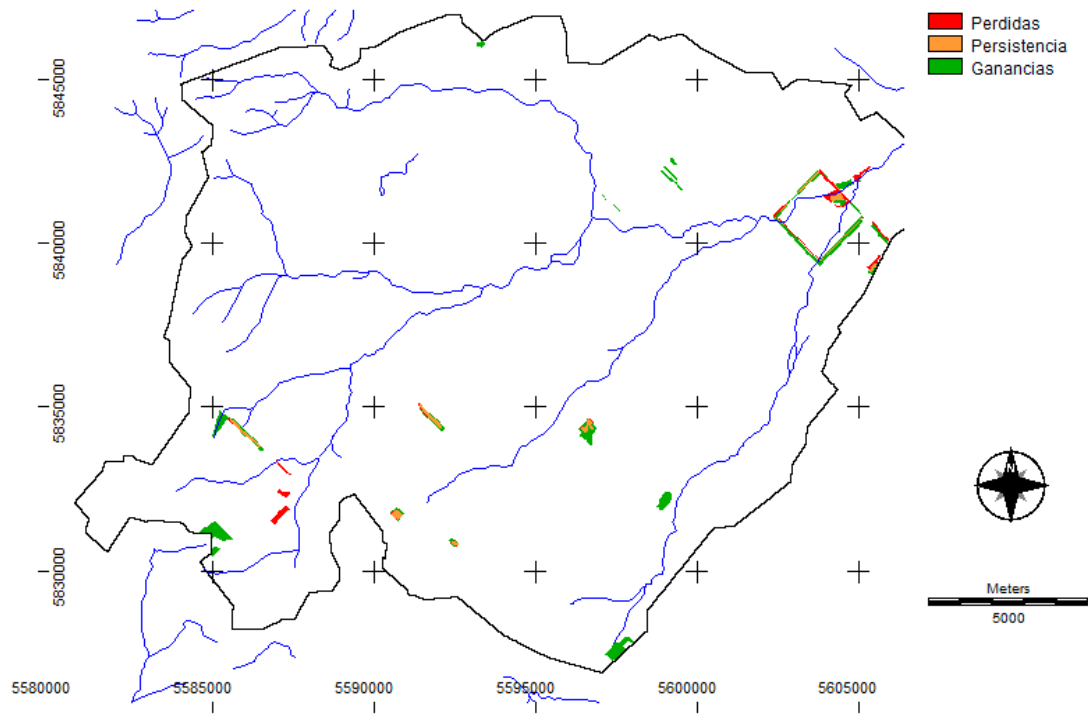


Figura 2. Ganancias y pérdidas en el uso monte.

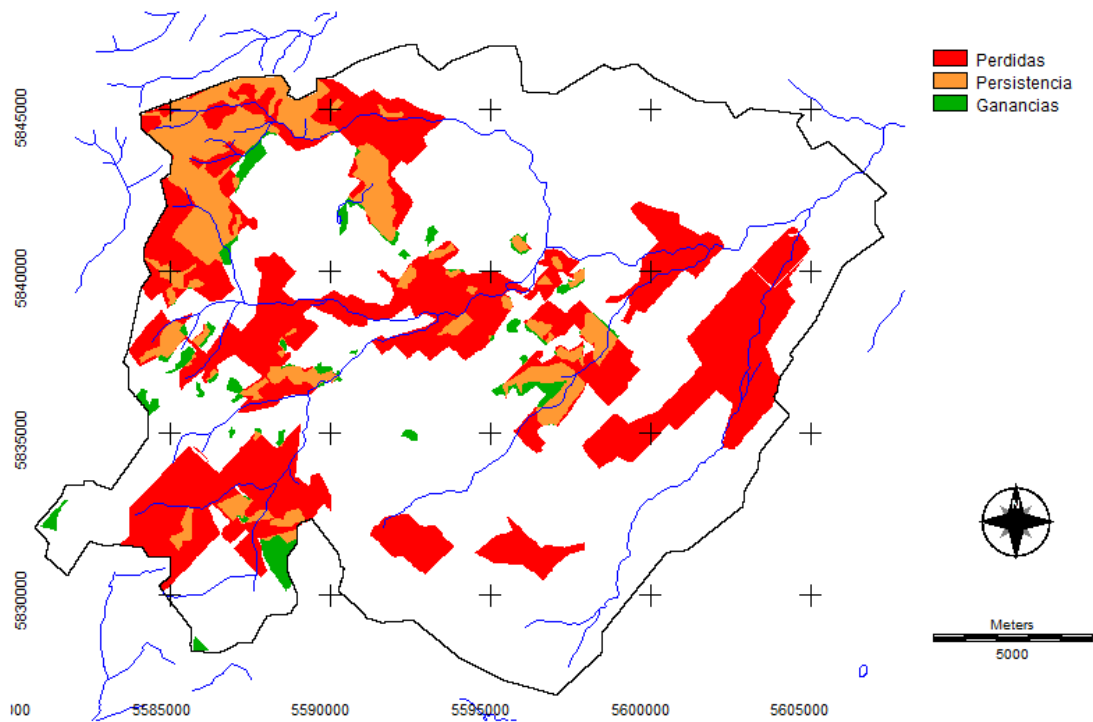


Figura 3. Ganancias y pérdidas en el uso ganadero.

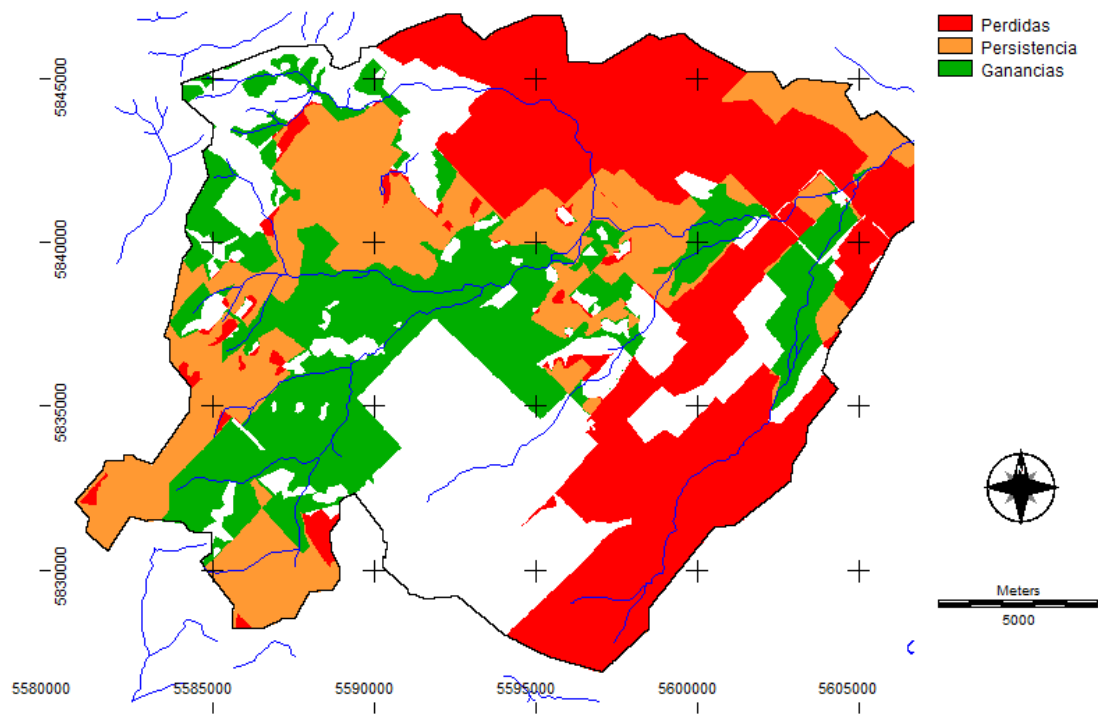


Figura 4. Ganancias y pérdidas en el uso ganadero agrícola.

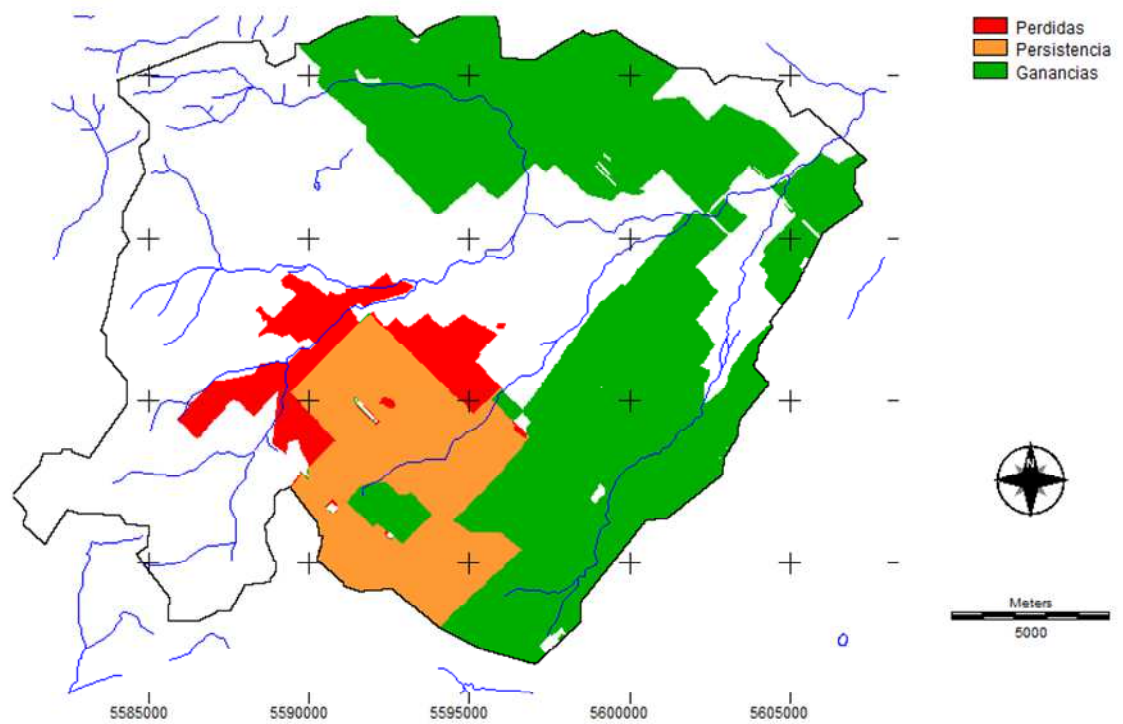


Figura 5. Ganancias y pérdidas en el uso agrícola ganadero.

Período 1996-2011

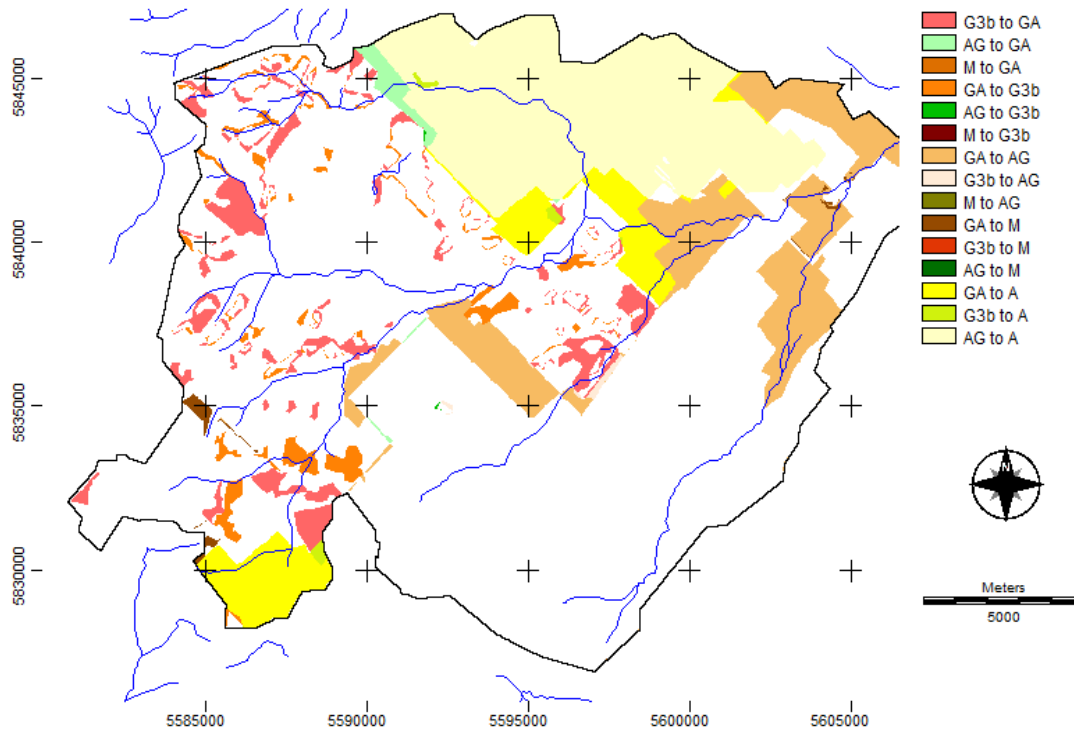


Figura 6. Zonificación de los cambios de uso del suelo en el período 1996-2011.

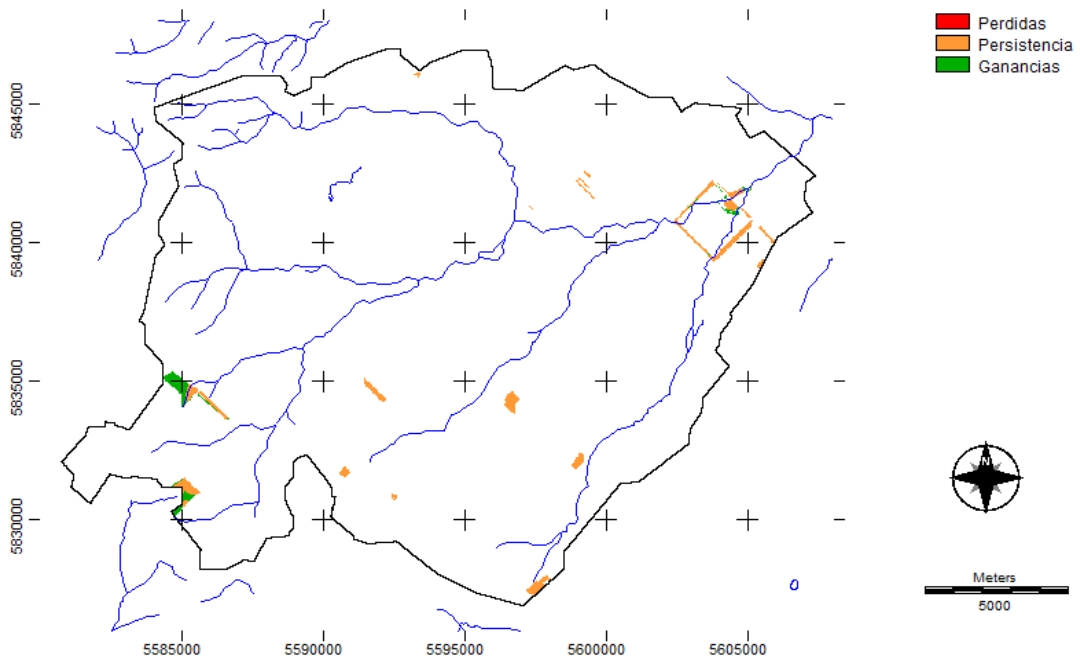


Figura 7. Ganancias y pérdidas en el uso monte.

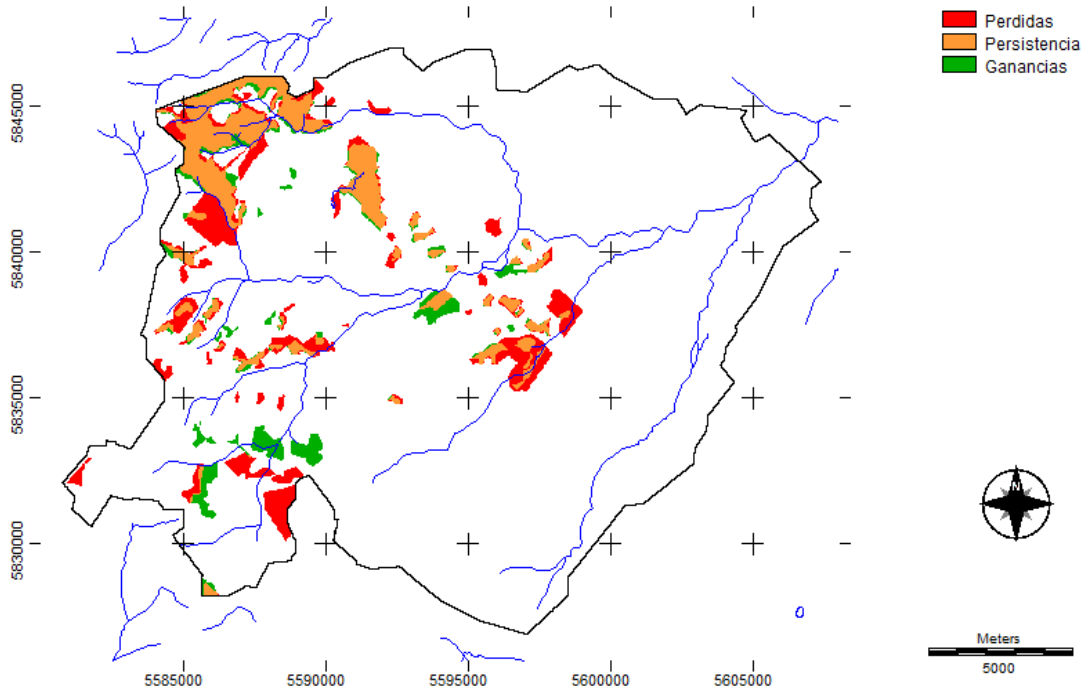


Figura 8. Ganancias y pérdidas en el uso ganadero

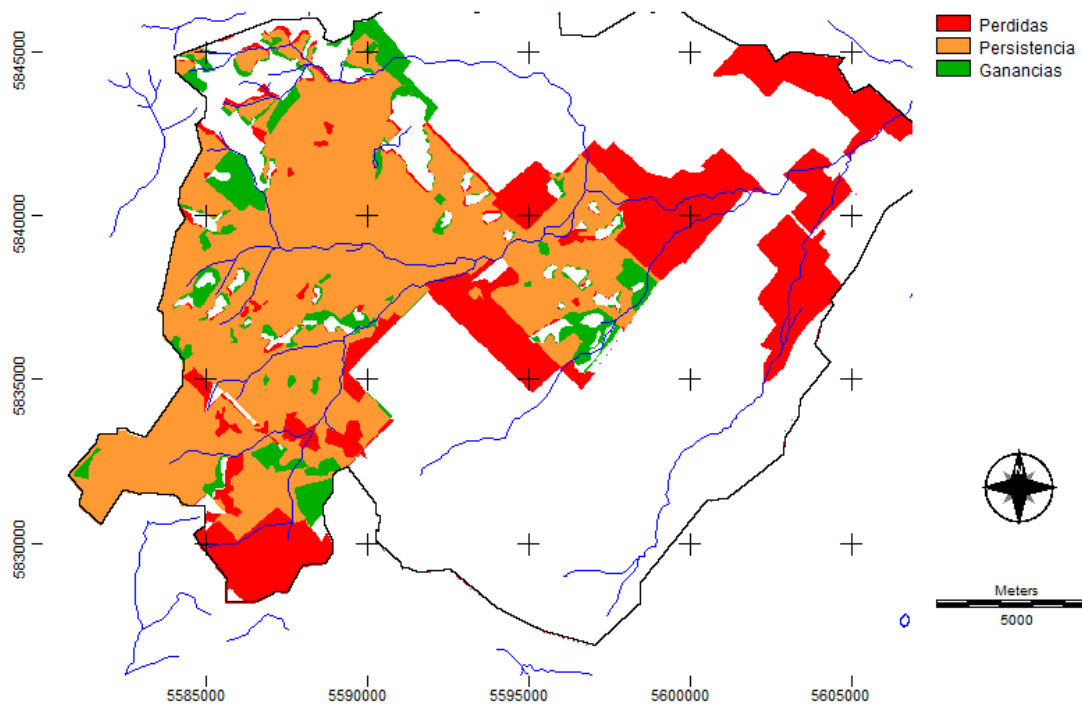


Figura 9. Ganancias y pérdidas en el uso ganadero agrícola

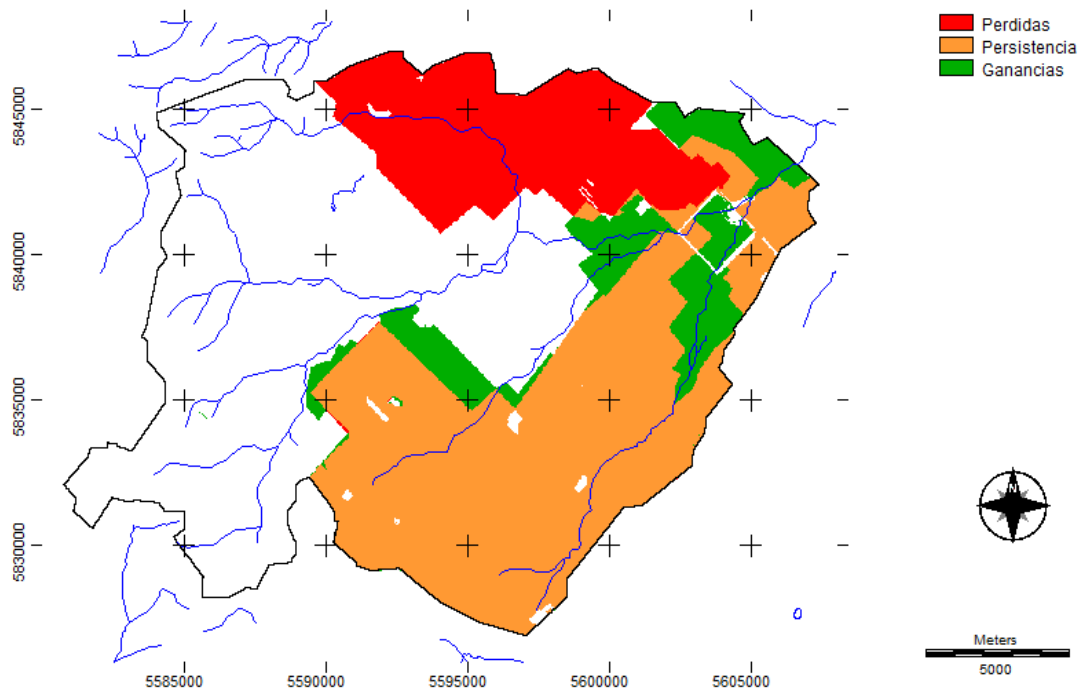


Figura10. Ganancias y pérdidas en el uso agrícola ganadero

ANEXO Informes de Viajes

Informe del primer viaje de reconocimiento a la cuenca del Arroyo Napaleofú

Fecha: 2 y 3 de mayo de 2012

Objetivo

Reconocimiento, relevamiento y toma de muestras en diferentes sitios representativos del área en estudio.

Sitios de muestreo

Se relevó el área correspondiente a las partes media y baja de la cuenca alta del Arroyo Napaleofú.

En la Figura 1 se muestran los sitios donde se realizó el diagnóstico de cobertura y uso de suelo, perfiles transversales del cauce y la toma de muestras para la determinación de parámetros de calidad de agua superficial in situ. La calidad del agua no forma parte de esta tesis, por eso no se informa en este escrito.

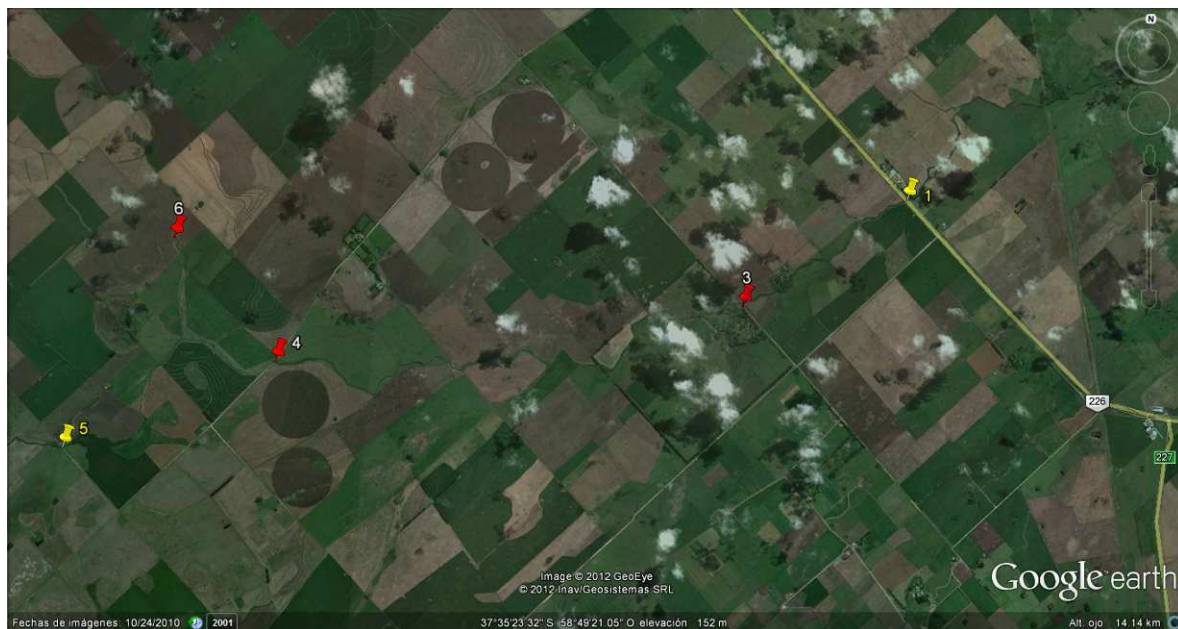


Figura 1. Imagen Google Earth del área de estudio con los puntos de muestreo.



Sitios con muestreo de agua superficial



Sitios con diagnóstico de cobertura, uso de suelo, perfil transversal del cauce y muestreo de agua superficial

Se observó que las principales actividades productivas que se desarrollan en el área en estudio son a cultivos agrícolas con medidas de conservación de suelos. Los cultivos se establecen por ambientes, en la loma se siembra soja y en los bajos maíz, aportando los mismos al suelo un alto contenidos de materia orgánica. Los cultivos se implantan con la metodología de siembra directa y en algunos casos se observaron en curvas de nivel y fajas.

Se observó la presencia de ganado bovino de raza Aberdeen Angus, para los cuales se siembran pasturas rotándolas con cultivos. En algunos campos, el sistema productivo implementado es el de engorde en corrales (Feedlot).

Punto 1: Arroyo Napaleofú, Ruta 226

Referencia geográfica: 37° 33.415' S 58° 47.462' O

Cota: 161.5 msnm.

Ubicación: Puente sobre Ruta 226, donde se encuentra el aforador de la Autoridad del agua (ADA), actualmente fuera de servicio, frente a Cerealera Granel Sur.

La distancia entre planicies de inundación es de 25 m.

La vista general del sitio sobre la ruta provincial N° 226 y una visión mas detallada aguas arriba y aguas abajo del sitio se observan en la Figura 2.



Figura 2. Vista general del arroyo Napaleofú aguas arriba (a) y aguas abajo, (b) en el sitio 1 (cierre de la cuenca alta).

Punto 3: Arroyo Napaleofú.

Referencia geográfica: 37° 34.307´S 58° 49.09´O

Cota: 163.4 msnm.

Ubicación: Puente sobre el arroyo cercano a la entrada de una estancia en la que se destaca actividad ganadera.

Se pueden observar las características aguas arriba y aguas abajo del sitio en la Figura 4.

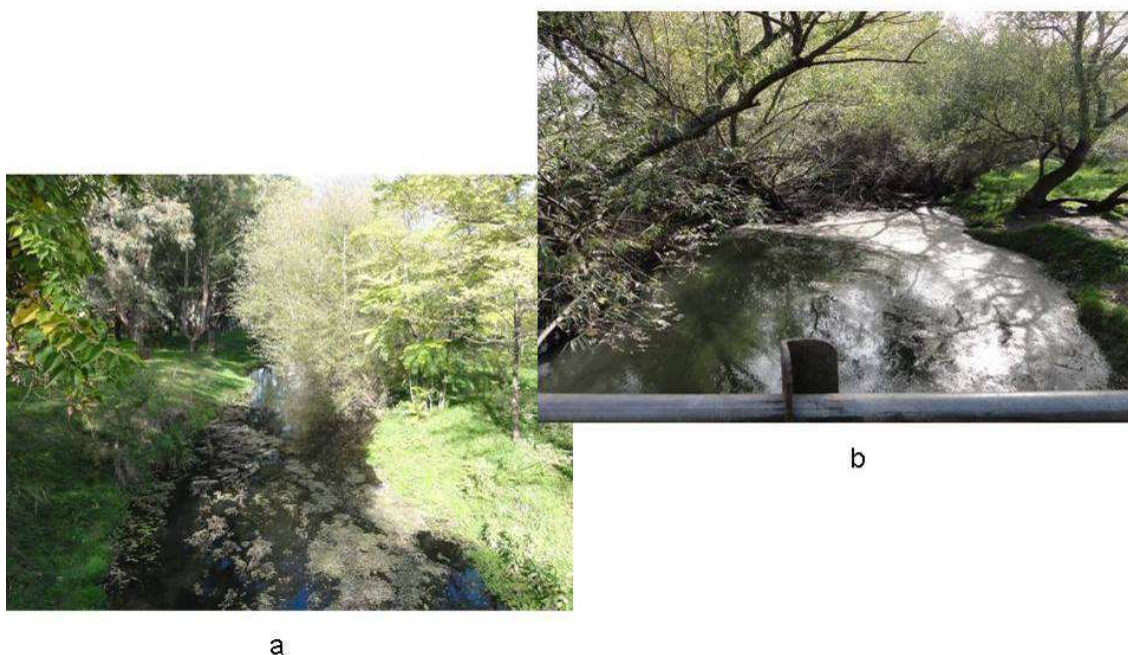


Figura 4. Vistas aguas arriba (a) y aguas abajo (b) en el sitio 3

Este sitio presenta vegetación arbórea con un 10 % de cobertura (*Eucaliptus* sp, *Salix* sp, *Celtis tala* y *Juglans* sp.), vegetación arbustiva abierta natural, con un 20% de cobertura y vegetación herbácea, con un 70% de cubrimiento.

El paisaje es levemente ondulado sobre pie de loma. La exposición de la ladera izquierda es Este y de la ladera derecha es Oeste.

El cauce presenta agua permanente con escurrimiento medio, con poco material de arrastre en suspensión de tipo leñoso (ramitas, hojas y raicillas).

El número de Manning en el cauce es de 0.03, en la planicie de inundación derecha es de 0.04 y en la planicie de inundación izquierda es de 0.3.

El caudal estimado fue de aproximadamente 1,18 m³/seg.

El perfil transversal resultante de las mediciones efectuadas se muestra en la Figura 5.

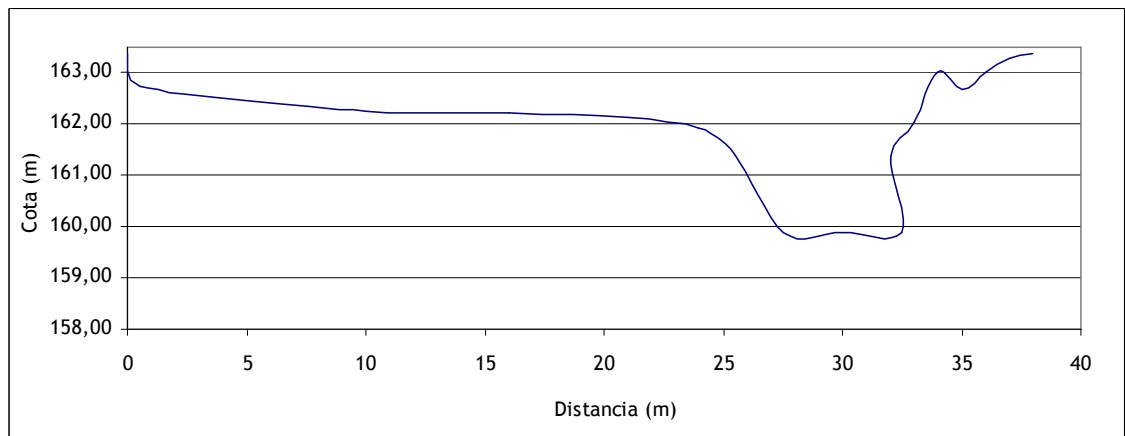


Figura 5. Perfil transversal del sitio 3.

Punto 4: Naciente Arroyo Napaleofú

Referencia geográfica: 37° 34.944´S 58° 53.425´O

Cota: 172.5 msnm.

Ubicación: Aguas debajo de la unión de los arroyos Pesquería y Los Galpones

En la Figura 6 se aprecia una vista general del paisaje que rodea al sitio y una vista aguas arriba y aguas abajo



Figura 6. Vista general, aguas arriba (a) y aguas abajo (b) del sitio 4

La vegetación dominante sobre las márgenes del cauce es de tipo pajonal, con una cobertura del 100 %.

El paisaje es levemente ondulado sobre pie de loma. La exposición de la ladera izquierda es Sur y de la ladera derecha es Norte.

Los cultivos que se encuentran en los alrededores, aproximadamente 2500 has, son de papa (*Solanum tuberosum*), obteniéndose rindes de 50000 - 100000 kg papa/año. Estos cultivos se rotan cada cuatro años, siendo éste el último año, según información de los dueños de la Estancia La Esperanza. Se riegan con pivotes y se realizan en terrazas circulares (Figura 7), para evitar la erosión del suelo, dado el tipo de cultivo. Las perforaciones son temporarias, sin encamisar, a 8 mts de profundidad aproximadamente con un caudal de 120-160 m³/seg.

a



b



Figura 7. Terrazas circulares de cultivo de papa (a) y pivotes de riego (b)

En este sitio se pudo observar un bajo con presencia de agua en superficie, el cual se fotografió y georreferenció a los fines de ubicarlo y dimensionarlo a partir de el modelo digital de elevación (Figura 8)



Figura 8. Planicie inundable en zona con cultivo de papa.

El cultivo de papa ocasiona perturbaciones importantes al suelo. En la Figura 9 se pueden observar el inicio de cárcavas en las tierras cultivadas con papa.



Figura 9. Cárcavas en cultivo de papa

El cauce presenta agua permanente con escurrimiento medio.

El número de Manning en el cauce es de 0.035, en la planicie de inundación derecha es de 0.04 y en la planicie de inundación izquierda es de 0.3.

El caudal estimado fue de aproximadamente $0.11 \text{ m}^3/\text{seg}$.

El perfil transversal resultante de las mediciones efectuadas se muestra en la Figura 10.

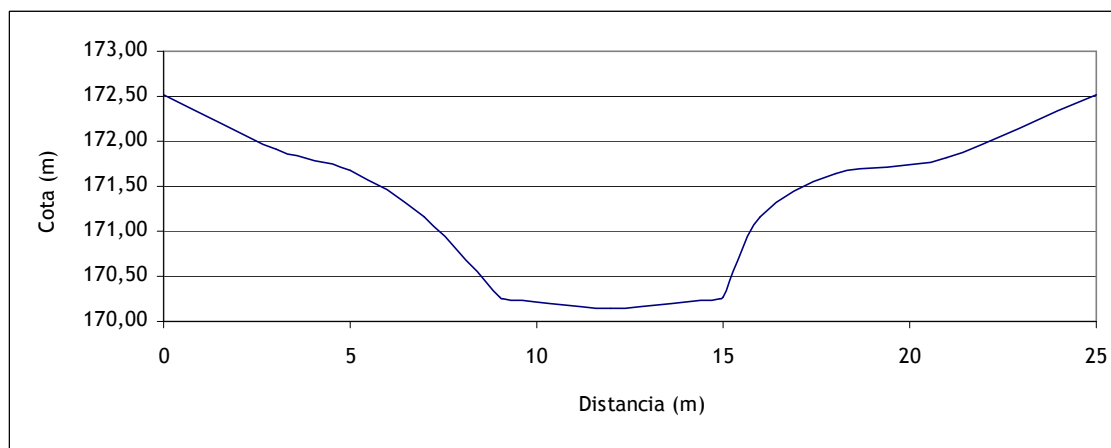


Figura 10. Perfil transversal del curso de agua en el sitio 4.

Punto 5: Arroyo Los Galpones

Referencia geográfica: 37° 35.673´S 58° 55.321´O

Ubicación: Sobre camino vecinal en un badén.

En la Figura 11 se observa el cruce del arroyo sobre el camino vecinal.



Figura 11. Vistas generales del sitio 5

Se percibió al momento del muestreo pisoteo de ganado. Es común que el ganado se acerque a los cursos de agua a abrevar. Esto provoca disturbios asociados a la degradación del suelo provocando una importante erosión del suelo.

El paisaje es colinado, con relieve de media loma y una pendiente menor al 5%. La exposición de la ladera izquierda es noroeste y la de la derecha es sureste. Existen afloramientos rocosos en la divisoria de aguas, quebrados, con infiltración media. (Figura 12).



Figura 12. Afloramientos rocosos.

El suelo presenta textura franco limosa, de color negro.

La vegetación está compuesta por pastizal natural, arbustal abierto bajo y la presencia de sauces de 3 a 5 m de altura sobre el cauce y en las riberas del mismo (Figura 13).



Figura 13. Sauces en el cauce y riberas.

El caudal es importante y presenta una velocidad estimada de 0,22 m/seg

Punto 6: Arroyo Pesquería

Referencia geográfica: 37° 34.075´S 58° 54.307´O

Cota: Aproximadamente 180.5 msnm

Ubicación: Sobre puente en camino interno de la estancia

Se pueden observar las características de los alrededores del sitio en la Figura 10, así como también aguas arriba y aguas abajo



Figura 10: Vistas generales del sitio 6.

El paisaje es levemente ondulado sobre pie de loma. La exposición de la ladera izquierda es Norte y de la ladera derecha es Sur.

La vegetación natural sobre las márgenes del curso de agua se considera de tipo pajonal, con una cobertura del 100 %.

Se observó cultivo agrícola en curvas de nivel en los alrededores del sitio de muestreo y se visualizó la presencia de ganado bovino. Los ejemplares presentes corresponden a unos 400 machos aproximadamente que se encuentran

temporalmente para engorde. Se realizan rotaciones entre cultivo y pastura, según información suministrada por los encargados de los campos.

El cauce presenta agua permanente con material de arrastre de tipo vegetal (pequeñas ramillas y hojas). En líneas generales el curso de agua se encuentra limpio

En la Figura 11 se representa el perfil medio al pelo de agua

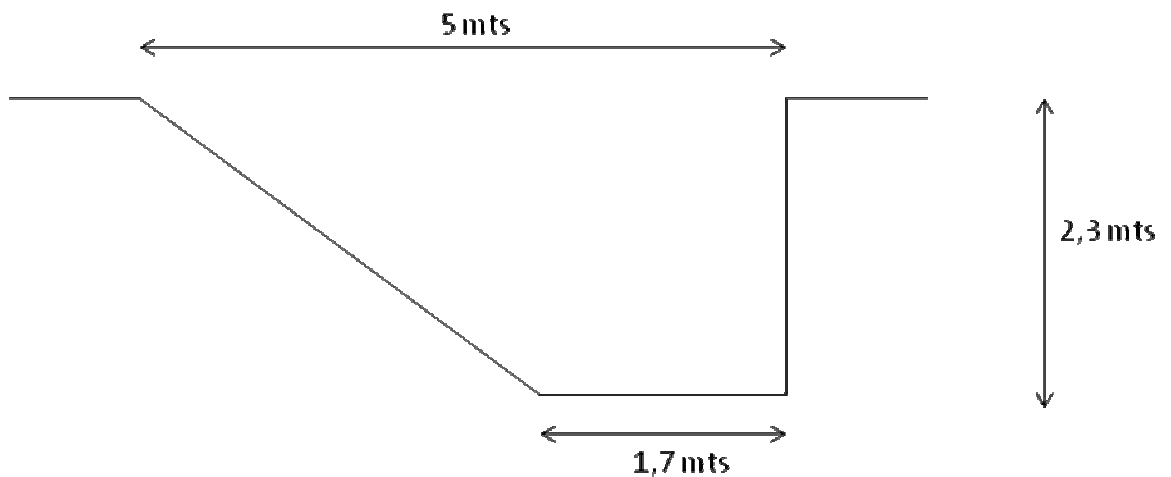


Figura 11. Perfil medio al pelo de agua

Camino al arroyo Pesquería, cercana a la estancia Dos Arroyos se observan pasturas implantadas en terracetos, cultivos de maíz en curvas de nivel y forestación.



Figura 14. Vistas del área cercana al arroyo Pesquería

Informe segundo viaje de reconocimiento a la cuenca del Arroyo Napaleofú

Fecha: 12 y 13 de septiembre de 2012

Objetivo

Reconocimiento de nuevos sitios y continuación del relevamiento y toma de muestras en diferentes sitios representativos del área en estudio.

Sitios de muestreo

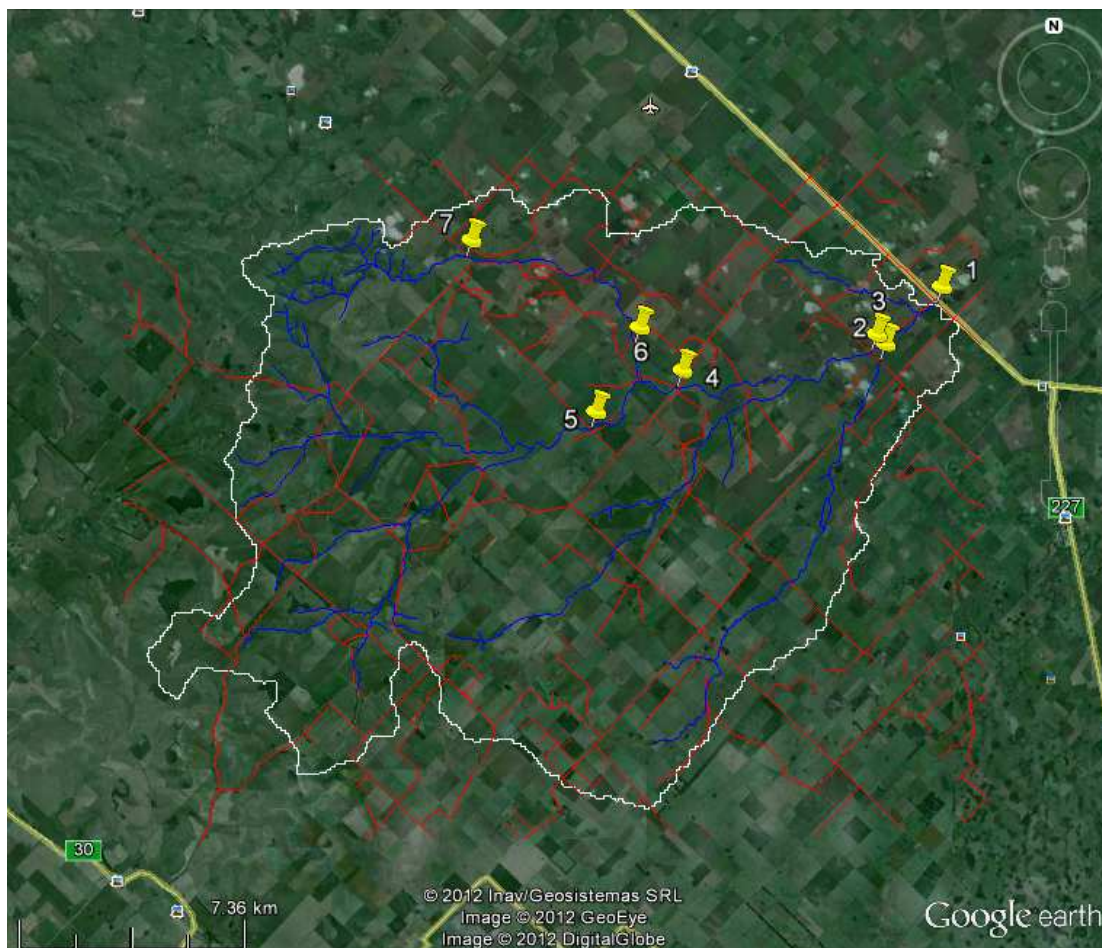
Se relevaron los arroyos Pesquería, Los Galpones y Napaleofú de la cuenca en estudio.

En los días previos a la recorrida de campo, la cuenca recibió el aporte de precipitaciones, las cuales produjeron un escurrimiento superficial de una masa de agua importante generando condiciones diferentes a las visualizadas en el viaje anterior. En la Tabla 1 se expresan las precipitaciones ocurridas en los meses previos a la visita.

Día	Julio	Agosto	Septiembre
1			
3			18
4			3
6			2
7		84	2
11		21	
14		19	
15			
16		34	
17		55	
18		15	
22		38	
23		59	
25			
30			
31	2		
Total	2	325	25

Tabla 1. Precipitación diaria (mm) registrada en la cuenca en los días previos a la visita

En esta oportunidad se incorporaron dos nuevos sitios de muestreo, denominados Sitio 2, sobre el arroyo Ballenera y Sitio 7, sobre el Arroyo Pesquería. En la Figura 1 se observan los sitios de muestreo en la imagen satelital.



 Sitios de muestreo

Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo

La ubicación geográfica, cota y metodología de muestreo de cada sitio fueron expresadas en el informe anterior. Se detallarán en este informe las mediciones realizadas en este relevamiento, principalmente en los nuevos sitios y en aquellos en los que se observaron diferencias respecto del viaje anterior.

Punto 2: Arroyo Ballenera

Referencia geográfica: $37^{\circ}34,446' S$; $58^{\circ}48,912' O$

Ubicación: Previo al cruce de caminos vecinales

El curso del arroyo presentaba agua, a pesar de ser un arroyo temporario. La vegetación predominante es la de pastizales naturales.

En la Figura 2 se puede observar una vista general del sitio



Figura 3. Vista general del sitio 2

En la Figura 3 se observa en forma esquemática el perfil medio del curso de agua del arroyo en el sitio 2

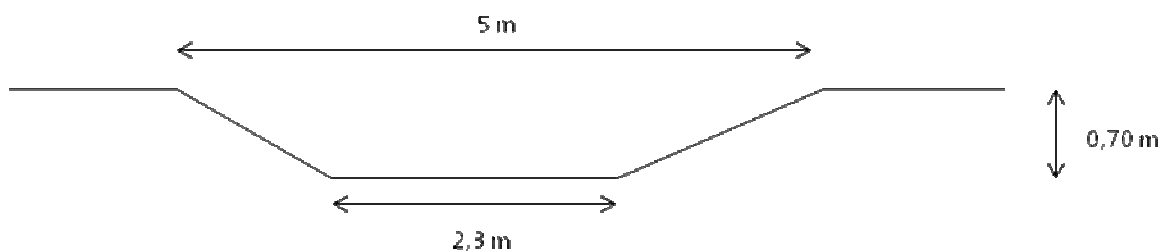


Figura 3. Perfil medio del curso de agua del arroyo Ballenera.

En este sitio el arroyo presenta, a diferencia de lo observado en mayo, un caudal con abundante material de arrastre. Se observó restos vegetales sobre los alambrados de los campos (Figura 4). Se pudo inferir que el caudal del arroyo, durante las precipitaciones del mes de agosto, alcanzó una altura aproximada de dos metros.



Figura 4. Arroyo Ballenera

La velocidad del agua medida ese día fue de 0.18 m/seg.

Sitio3. Arroyo Napaleofú.

Este sitio presenta características particulares pues está ubicado cerca de una estancia que realiza actividades mixtas, ganadería y agricultura.

En la Figura 5 se puede observar las características que presentó el arroyo en las dos visitas.



Figura 5. Imágenes del sitio 3 en las fechas de las visitas

Las condiciones de la vegetación fueron similares a las observadas en mayo

El cauce presentó agua permanente con escurrimiento alto, sin material de arrastre, de aspecto límpido.

La velocidad estimada fue de 0,22 m/seg y el caudal estimado fue de aproximadamente 4,25 m³/seg.

La profundidad promedio aproximada del agua fue de 2,10 m.

En los alrededores de este sitio se observó, en los alambrados, abundante material arrastrado por el caudal de escorrentía generado durante las abundantes precipitaciones del mes anterior (Figura 6)



Figura 6. Alrededores del sitio 3.

Continuando con el recorrido, unos 300 m antes del camino que conduce al sitio 4, se encuentra el arroyo transitorio Las Totoras (Figura 7), cuya cabecera se considera paralela al límite de la cuenca delimitada para este estudio. (Referencia geográfica: 37° 33,171" S; 58° 50,588 O).



Figura 7. Arroyo temporario Las Totoras.

También se observó en un campo cercano al arroyo antes mencionado, cultivo de papas (Figura 8).



Figura 8. Cultivo de papa

Punto 4. Naciente Arroyo Napaleofú

En este sitio, comparando ambas visitas, se observa actualmente mayor caudal (1,62 m³/seg), con abundante material vegetal depositado sobre los alambrados y el puente (Figura 9).



Figura 9. Vista general del sitio 4

La altura de las matas de pastos depositadas en los sauces es de aproximadamente 2,45 m, mientras que en el puente la altura al pelo de agua es de aproximadamente 4 m. (Figura 10).



Figura 10. Vista de restos vegetales en puente y sauces.

El cauce presenta un caudal con una velocidad aproximada de 0,33 m/seg, estimándose un caudal de 0,2 m³/seg

Punto 7. Cabecera del Arroyo Pesquería

Referencia geográfica: 37° 32,659´ S 58° 58.032´ O

Cota: 205 metros sobre el nivel del mar.

Ubicación: Puente sobre el arroyo cercano. Se ingresó desde la Ruta Provincial N° 226, km 135, almacén Tres Mojones.

Se pueden observar las características aguas arriba y aguas abajo del sitio en la Figura 15.



Figura 15. Sitio 7 aguas arriba (izquierda) y aguas abajo (derecha).

El paisaje es colinoso sobre loma alta. La exposición de la ladera izquierda es Oeste y de la ladera derecha es E.

La pendiente aproximada es del 5 % con el cauce muy encajonado.

A unos 100 metros del punto de muestreo existen sobre el curso de agua álamos de diferentes diámetros y a unos 300 metros el diámetro a la altura del pecho es de aproximadamente unos 60 cm.

La vegetación de los alrededores es de pasturas con presencia de ganado bovino y ovino.

Existen afloramientos rocosos y se puede considerar que el escurrimiento es medio.

Existen también parcelas con cultivos en terracetas.

El cauce presenta agua permanente sin material de arrastre. El curso de agua se encuentra limpio. La velocidad es de aproximadamente 0,19 m/seg, con un caudal aproximado de 0,13 m³/seg.

En la Figura 16 se representa el perfil del cauce de agua.

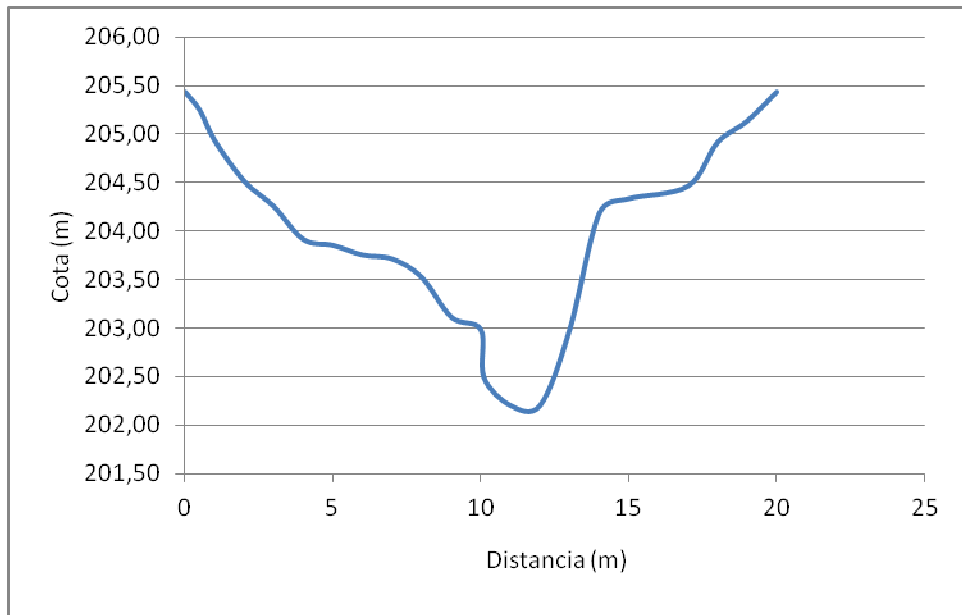


Figura 16. Perfil transversal del cauce del sitio 7.