



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE ANDALUCÍA
SEDE IBEROAMERICANA SANTA MARÍA DE LA RÁBIDA
2007

TÍTULO

**PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN CUENCAS
SERRANAS DEGRADADAS UTILIZANDO SISTEMAS DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (S.I.G.)**

AUTORA

Fernanda Julia Gaspari

Director Tesis	Cámara Artigas, Rafael
Maestría	IV Maestría en Conservación y Gestión del Medio Natural
Módulo presencial	1999
ISBN	978-84-7993-132-2
ISBN 10	84-7993-132-9
©	Fernanda Julia Gaspari
©	Para esta edición, la Universidad Internacional de Andalucía



La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes limitaciones de uso:

- a) La difusión de esta tesis por medio del servidor de la UNIA ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia.
- b) No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servidor de la UNIA.
- c) Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos.
- d) En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE ANDALUCÍA
SEDE IBEROAMERICANA DE LA RÁBIDA.
HUELVA. ESPAÑA.

TESIS DE MAESTRÍA

PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL
EN CUENCAS SERRANAS DEGRADADAS
UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
(S.I.G.)

IV Maestría en Conservación y Gestión del Medio Natural.
Integración de Sistemas Naturales y Humano

Ingeniera Forestal **Fernanda Julia Gaspari.**

Director de Tesis: *Dr. Rafael Cámara Artigas.*

Buenos Aires, Junio de 2.000.

Dedico esta tesis a mi esposo e hijos.

ÍNDICE TEMÁTICO

Nº	TEMA
1	RESUMEN.
2	1. OBJETIVOS.
2	1.1. OBJETIVOS GENERALES.
2	1.2. OBJETIVOS PARTICULARES.
3	1.3. ENFOQUE TEÓRICO - PRÁCTICO.
3	2. IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.
4	2.1. INTRODUCCIÓN.
5	2.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.
6	2.3. GEOLOGÍA.
6	2.4. FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA.
9	2.5. CLIMA.
16	2.6. HIDROLOGÍA.
17	2.7. SUELOS.
28	2.8. VEGETACIÓN.
29	2.9. FAUNA.
30	2.10. USO DEL SUELO. ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y USO ACTUAL.
33	2.11. FENÓMENO DE EROSIÓN.
34	2.12. MARCO SOCIO-ECONÓMICO DEL ÁREA DE INFLUENCIA.
38	3. PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA.
40	4. METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN
40	4.1. INTRODUCCIÓN AL MANEJO DE ZONAS DEGRADADAS POR EROSIÓN HÍDRICA. DIAGNÓSTICO ESTRATÉGICO.
41	4.2. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA CUENCA.
41	4.2.1. DIAGNÓSTICO GENERAL.
42	4.2.2. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO.
43	4.3. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LA CUENCA.
43	4.3.1. ÍNDICE DE COMPACIDAD.
43	4.3.2. DENSIDAD DE DRENAJE.
44	4.3.3. PENDEINTE MEDIA DEL CAUCE.
45	4.4. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN CUALITATIVA DE LOS PERFILES TRANSVERSALES.
49	4.5. DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES HIDROLÓGICAS Y DEGRADACIÓN ESPECÍFICA.
49	4.5.1. CAUDALES LÍQUIDOS.
49	4.5.1.1. MODELO HIDROLÓGICO HYMO.
53	4.5.1.2. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE AGUACEROS.
54	4.5.2. CAUDALES SÓLIDOS.
54	4.5.2.1. Cálculo de <i>Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo</i> (USLE).
65	4.5.2.2. Cálculo de <i>Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Modificada</i> (MUSLE).
66	5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.
66	5.1. MAPAS TEMÁTICOS.
67	5.1.1. MAPAS TEMÁTICOS DE PRIMER ORDEN.

N°	TEMA
71	5.1.2. MAPAS TEMÁTICOS DE SEGUNDO ORDEN.
73	5.1.3. MAPAS TEMÁTICOS DE TERCER ORDEN.
75	5.2. DEGRADACIÓN ESPECÍFICA Y PÉRDIDA REAL DE SUELO.
76	5.3. RESULTADO DEL MODELO HYMO.
77	5.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.
77	5.4.1. TOLERANCIA EN LAS PÉRDIDAS DE SUELO.
80	6. PROPUESTA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL.
80	6.1. DEFINICIÓN DE PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL PARA LA CUENCA ALTA DEL ARROYO SAUCE CHICO.
80	6.2. MEDIDAS GENERALES DE MANEJO Y PLANIFICACIÓN DEL TERRITORIO.
82	6.3. FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL PARA LA CUENCA ALTA DEL ARROYO SAUCE CHICO.
83	6.4. PROPUESTA Y PROGRAMA GENERAL.
83	6.4.1. RACIONALIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD HUMANA.
86	6.4.2. CONTROL DE LA COBERTURA VEGETAL.
90	6.4.3. OBRAS DE CORRECCIÓN DE TORRENTES EN LA CUENCA DE RECEPCIÓN.
92	7. CONCLUSIONES.
94	8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.
97	9. ANEXOS.
97	1: Aplicación práctica de las Coordenadas Gauss-Kruger en la República Argentina.
98	2: Descripción analítica de suelos.
108	3: Determinación de Caudales Líquidos con el Modelo Hidrológico HYMO.
113	4: Listado y secuencia de elaboración de la cartografía temática confeccionada con el Sistema de Información Geográfica para la Cuenca Alta del Arroyo Sauce Chico.
116	5: Cartografía temática.

ÍNDICE DE FIGURAS

Nº	TEMA
11	Fig. 1: Diagrama climático de Walter para Tornquist.
53	Fig.2: Diagrama de Blocks para la Cuenca Alta del A°Sauce Chico.

ÍNDICE DE TABLAS

Nº	TEMA
10	Tabla 1: Datos climáticos de la Estación Tornquist.
45	Tabla 2: Ubicación de los Perfiles Transversales.
78	Tabla 3: Clasificación Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos.

ÍNDICE DE CUADROS

Nº	TEMA
51	Cuadro 1: Datos para el Modelo Hidrológico HYMO.
69	Cuadro 2: Rangos porcentuales de pendiente en la cuenca.
69	Cuadro 3: Relevamiento de la cobertura vegetal y uso del suelo y su ocupación territorial.
73	Cuadro 4: Identificación del Número Hidrológico por U.M.G..
76	Cuadro 5: Porcentaje de Pérdida Real por subcuenca.
77	Cuadro 6: Resultados de la aplicación del Modelo HYMO.
78	Cuadro 7: Comparación entre las pérdidas de suelo reales y las potenciales.

ÍNDICE DE GRÁFICOS

N°	TEMA
13	Gráfico 1: Representación gráfica de temperaturas anuales.
14	Gráfico 2: Representación de la variación pluviométrica y de H.R.M. anual.
15	Gráfico 3: Frecuencia Media de Dias con precipitación y/o heladas anual.
35	Gráfico 4: Evolución de la población del partido de Tornquist.
36	Gráfico 5: Evolución de la población según sexo del partido de Tornquist.
36	Gráfico 6: Evolución de la población según su condición del partido de Tornquist.
52	Gráfico 7: Grado de Erosionabilidad del aguacero considerado.
54	Gráfico 8: Representación de Probabilidad de ocurrencia de un aguacero.

ÍNDICE DE CARTOGRAFÍA TEMÁTICA. Anexo 5.

Nota Aclaratoria:

De los 37 mapas que componen el trabajo, solo se exponen 22, con el objeto de no interferir en la adecuada interpretación visual de los mismos.

N° Diapositiva	TEMA
1	Mapa de Ubicación dentro de la Provincia de Buenos Aires.
2	1. Mapa topográfico (v),
3	2. Mapa del sistema de drenaje (v),
4	5. Mapa del modelo digital de terreno tridimensional (D.T.M.) (r),
5	5. Mapa del modelo digital de terreno bidimensional (D.T.M.) (r),
6	6. Mapa ortogonal del terreno (r),
7	9. Mapa de rangos de porcentuales de pendiente (r),
8	14. Mapa de relevamiento de la cobertura vegetal y uso del suelo (v) (r),
9	16. Mapa edafológico (v) (r),

N° Diapositiva	TEMA
10	19. Mapa conteniendo la imagen satelital del área en estudio (r).
11	22. Mapa de R: índice de erosión pluvial (r),
12	23. Mapa de K: erosionabilidad del suelo (r),
13	24. Mapa de L: de longitud de pendiente (r),
14	25. Mapa de S: de pendiente (r),
15	27. Mapa de C: de ordenación de cultivos (r),
16	28. Mapa de P: de control de la erosión mediante prácticas de cultivo (r),
17	30. Mapa de pérdidas de suelo reales actuales A, según la U.S.L.E. (r),
18	31. Mapa de pérdidas potenciales (r),
19	33. Mapa de sedimentos emitidos por una tormenta aislada Y, según la M.U.S.L.E. (r),
20	35. Mapa de degradación específica D.E. según la F.A.O. (r),
21	36. Mapa de pérdida real de la cuenca P.R. (r),
22	37. Mapa de zonificación para el Plan de Ordenamiento Territorial para la conservación y Gestión del medio natural (r).

Plan de Ordenamiento Territorial en Cuencas Serranas Degradadas Utilizando Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.)

RESUMEN.

Toda cuenca hidrográfica, como sistema, constituye un conjunto de componentes que están conectados e interactúan formando una unidad. La estabilidad es una propiedad o forma de comportamiento del sistema, y su permanencia es la definición primera y quizás más general del concepto de estabilidad.

En la actualidad la presión del hombre sobre estos recursos naturales 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. La erosión, su periodicidad temporal y espacial e influencia directa sobre las cuencas hidrográficas, son factores que también contribuyen a la degradación ambiental, provocando la devastación de la cobertura vegetal, dejando el suelo desprotegido y bajo la acción directa de los fenómenos atmosféricos y antrópicos.

El presente estudio y consecuente planificación y gestión del desarrollo sostenible de una cuenca, forma parte de la base indispensable para la comprensión y aplicación del concepto de estabilidad en el buen uso y manejo de los recursos naturales y establecer una metodología para la elaboración de un Plan de Ordenamiento Territorial en cuencas serranas degradadas por erosión hídrica.

El manejo individual del terreno y el diagnóstico de las condiciones de cada sitio, es fundamental para determinar los factores que han incidido activamente sobre la producción del siniestro erosivo. Para ello, una herramienta que abarca en su totalidad el manejo de cuencas hidrográficas es el SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (S.I.G.). En este sistema se integra la información relevante para la planificación hidrológica con una aplicación que permite la consulta, análisis, enlace con modelos hidrológicos, actualización de la información y la emisión de listados, informes y planos, permitiendo la extrapolación de las conclusiones a otros sitios.

El estudio de la Cuenca Alta del A° Sauce Chico aspira obtener un diagnóstico cuali - cuantitativo de los conflictos que la erosión hídrica presentan en la zona de estudio, para luego implementar un plan de manejo integrado de la cuenca con fines de protección y producción aplicando el S.I.G..

1. OBJETIVOS.

1.1. GENERALES.

- * Confección de una base de datos numérica, vectorial y raster con información normalizada y homogénea, de los factores hidrológicos en las cuencas afectadas por erosión hídrica, con el fin de establecer un criterio universal para la determinación de la pérdida de suelo.
- * Especificar técnicas de aplicación del Sistemas de Información Geográfica IDRISI, para la identificación de la pérdida de suelo en sitios afectados por erosión hídrica y para enunciar su potencial de recuperación ecológica-natural.
- * Definir bases para la formulación de un Plan de Ordenamiento Territorial en cuencas hidrográficas, basado en las limitantes naturales existentes y diferenciando los distintos ambientes biológicos, geomórficos e hidrográficos.

1.2. PARTICULARES.

- * Confección de mapas temáticos por medio de cartas topográficas, cartas geológicas, cartas de suelo y la aplicación de sistemas de información geográfica.
- * Determinación cuanti-cualitativa del caudal sólido por medio de la U.S.L.E. (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo) para la erosión hídrica laminar, y confección de mapas temáticos que caractericen cada uno de los factores intervinientes en las fórmulas.
- * Identificar los efectos de diferentes tipos de erosión hídrica producidos sobre el medio ambiente, tales como la pérdida de suelo por movimientos de tierra en masa, regüeros, surcos y cárcavas; aplicando técnicas de reconocimiento a campo, con apoyo sobre fotografías aéreas e imagen satelital.

* Lograr una adecuada capacitación y especialización en el manejo de S.I.G. IDRISI, orientada específicamente al manejo de la erosión, en función de obtener información aplicada a la recuperación ecológica.

* Establecer variables favorables post-erosión que coadyuden a la recuperación y mejoramiento sustancial del terreno en cuestión.

1.3. ENFOQUE TEÓRICO-PRÁCTICO.

* Enunciar prácticas de manejo de cuencas hidrográficas y S.I.G. para el control de la vegetación, el suelo y el agua en tareas de recuperación y rehabilitación de sitios erosionados.

2. IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El presente estudio pretende lograr cumplir con los objetivos anteriormente descriptos, considerando el área que abarca los cursos de agua que drenan sobre la cuenca Alta del Arroyo Sauce Chico. La misma ocupa una superficie de 37.123,97 hectáreas, y comprende como colector principal al Arroyo Sauce Chico, y sus afluentes primarios son el Arroyo Barril y Arroyo de la Ventana. Un afluente secundario es el Arroyo San Juan, que alimenta al Arroyo de la Ventana.

Se ha creado arbitrariamente el cierre de la cuenca alta en el sitio donde coincide la confluencia de los Arroyos Sauce Chico y de la Ventana.

Se ha creado arbitrariamente el límite Sur de la cuenca, que coincide con la intersección de los cursos A° Sauce Chico y A° Ventana, motivados en esta decisión debido a la especificidad del estudio a zonas serranas degradadas. La desembocadura del curso del arroyo es en dirección suroeste en la provincia de Buenos Aires, para volcar sus aguas al

Océano Atlántico. La finalidad del estudio permite esta arbitrariedad y no modifica las evaluaciones realizadas en el área detallada.

2.1. INTRODUCCIÓN.

Las cuencas hidrográficas son unidades físicas que sirven como marco práctico y objetivo para la planificación y gestión del desarrollo sostenible.

La erosión, su periodicidad temporal y espacial e influencia directa sobre las cuencas hidrográficas, son factores que contribuyen a la degradación ambiental de las mismas, provocando la devastación de la cobertura vegetal, dejando el suelo desprotegido y bajo la acción directa de los fenómenos atmosféricos.

El patrón de sucesión potencial del sitio erosionado, depende de una multiplicidad de variables, entre ellas se encuentran: el tipo y uso de la vegetación, topografía, condiciones climáticas reinantes, tipo de suelo y geología, tamaño y severidad del impacto erosivo y principalmente su acción sobre los procesos naturales. La influencia de la erosión sobre el potencial de recuperación de las sucesiones vegetales, está basada en la respuesta de las especies dominantes y en la sensibilidad y similitud de desarrollo en las sucesiones vegetales post-emergentes.

El manejo individual del terreno y el diagnóstico de las condiciones de cada sitio, es fundamental para determinar los factores que han incidido activamente sobre la producción del siniestro erosivo. Para ello es necesario saber reconocer cuales son las modificaciones ecológicas producidas, como por ejemplo:

- aumento de la escorrentía superficial por pérdida del mantillo de protección del suelo (el cual minimiza la pérdida de agua por transporte y regula su movimiento);
- traslado y acumulación del mantillo a sitios en la parte baja de la cuenca;
- pérdida de suelo superficial (por falta de protección al arrastre);
- erosión en forma laminar y/o en masa superficial o subterránea, provocando un mayor descubrimiento del suelo y dificultar la recuperación del terreno;
- formación de cárcavas, surcos y regüeros en suelos desprotegidos;
- aprovechamiento de establecimiento de especies vegetales invasoras por falta de

recuperación de la flora local;

- disminución de productividad tanto herbácea-arbórea e hídrica;
- posibilidad de aparición de enfermedades e insectos.

La hipótesis de investigación es establecer bases metodológicas para la elaboración de un Plan de Ordenamiento Territorial en cuencas serranas degradadas por erosión hídrica.

Para ello, una herramienta que abarca en su totalidad el manejo de cuencas hidrográficas es el SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (S.I.G.), cuya empleo es esencial en la Conservación y Gestión del Medio Natural, y el rol que cumple en la integración de Sistemas Naturales y Humano es de gran ayuda para la determinación de técnicas para la recuperación de cuencas serranas degradadas.

En este sistema se integra la información relevante para la planificación hidrológica con una aplicación que permite la consulta, análisis, enlace con modelos hidrológicos, actualización de la información y la emisión de listados, informes y planos. También nos permite la extrapolación de las conclusiones a nivel regional y otras cuencas hidrográficas. El estudio de la cabecera del A° Sauce Chico, pretende lograr un diagnóstico cuali - cuantitativo de los problemas de erosión hídrica que se presentan en la zona de estudio, para implementar un manejo integrado de la cuenca con fines de protección y producción.

2.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El partido de Tornquist se encuentra situado en la zona suroeste de la provincia de Buenos Aires, limitado con los partidos de Puán, Saavedra, Coronel Suárez, Coronel Pringlés, Bahía Blanca y Villarino (Anexo 5, Diapositiva 1).

La cuenca está ubicada entre los 62° 00' y 62° 15' de longitud oeste y 37° 53' y 38° 05' de latitud sur, enmarcado por las laderas orientales de las Sierras de Curamalal, del Sistema de Ventania, Sierras Australes Bonaerenses.

La divisoria de aguas del A° Sauce Chico se define por los Cerros La Sofía y Pan de Azúcar hasta el Abra del 27 de Diciembre al oeste; hacia el este con los C° Guanaco, C° La Providencia, C° Destierro Primero y C° Ventana. El límite sur queda definido por el C° Fundación Funke y el C° Tornquist como alturas dominantes de este cordón.

Sobre el sudoeste de la cuenca en estudio se encuentra la ciudad de Tornquist, al sur la Ruta Provincial 76, sobre el límite oeste se ubican las vías del ferrocarril F.C.G.R. T 1676 y la Ruta Nacional 33.

La ubicación geográfica - cartográfica se determinó a partir de la Carta Topográfica Tornquist, Hoja 3963-5-2, y Estancia Gran Chaco, Hoja 3763-35-4, realizada por I.G.M. (*Instituto Geográfico Militar*) a una escala de trabajo 1:50.000, de un relevamiento tomado en el año 1970. También se empleó el Plano Catastral Rural (1990), Hojas 3963-5-2 y 3763-35-4 de la Dirección Provincial de Catastro del Ministerio de Economía, escala 1:25.000.

2.3. GEOLOGÍA

Las sierras están constituidas por rocas precámbricas (*granito de Tornquist*), sobre los cuales se asienta un complejo sedimentario paleozoico que incluye areniscas, pizarras, cuarcitas y conglomerados glaciarios (Fidalgo et al, 1975)

Estas montañas sufrieron un plegamiento paralelo y disarmónico durante una de las fases de la era mesozoica. Las mismas presentan también pliegues primarios replegados en otros mucho menores.

La constitución de las rocas presentes en la zona de elevada resistencia, originó una fracturación y posterior formación de trincheras, corredores y gargantas. Posteriormente se desarrolló un largo proceso de erosión.

Hacia la finalización del período terciario de la era mesozoica hubo una nueva sedimentación, donde se destaca la acumulación de arcillas rojizas.

La etapa final de la orogenia andina originó un ascenso en masa con la consiguiente erosión y sedimentación (Bonorino - Teruggi, 1961). Los flancos de ríos y valles de sierras formados quedaron recubiertos de rodados y escombros de dichos movimientos (Harrington, 1946- 1947).

Dentro de la cuenca en estudio se evidencian rasgos de planicie aluvial, loess, rodados del pleistoceno, granito, formación del mioceno y los Grupos Curamalal y Ventana en la parte topográficamente alta.

2.4. FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA.

La Provincia de Buenos Aires es una amplia llanura formada por sedimentos inconsolidados de edad cuaternaria, dentro de la cual se destacan los sistemas serranos de Tandilia y Ventania en el centro y sur de la provincia respectivamente. El sistema de

Ventania ocupa gran parte de la superficie del partido de Tornquist.

Estas sierras forman un conjunto de elevaciones bien definidas. El conjunto, alargado en sentido noroeste sudeste, tiene unos 175 km de longitud y alcanza una anchura máxima de 50 km; pudiéndose distinguir en el mismo, dos regiones claramente diferenciables, una occidental que comprende a las sierras de Puán, Curamalal, Bravard y Ventana y otra oriental, formada por las sierras de Las Tunas y Pillahuinco.

Las sierras del grupo occidental forman cordones o alineaciones bien definidas, que constituyen altas crestas entalladas de tanto en tanto por valles transversales que reciben el nombre local de abras. Estas sierras alcanzan las máximas alturas de la provincia y su nivel de cumbres oscila entre los 900 y 1000 metros, culminando en el cerro Tres Picos del Sistema de Ventania con 1247 m.s.n.m.. Al menos seis cumbres sobrepasan los 1000 metros: los cerros Curamalal Grande, Gran Chaco, Guanaco, Ventana, Napostá y Tres Picos.

Estas sierras comienzan, por su extremo noroeste, en los alrededores de la ciudad de Puán, con una doble hilera de elevaciones subparalelas y de poco monto, esparcidas y separadas entre sí por los sedimentos modernos que envuelven su pie. Llegan así con rumbo Oeste-Este suavemente curvado hacia el Sur, hasta la Localidad de Pigüé. Desde allí hacia el Sudeste se acentúa la curvatura de los cordones, que describen un cuarto de círculo casi perfecto que termina a la latitud del pueblo de Dufaur. Al mismo tiempo los dos cordones paralelos se hacen coherentes, compactos y continuos y se hallan separados entre sí por un angosto y largo valle longitudinal relleno por sedimentos cenozoicos. El cordón occidental, recibe el nombre de Sierra de Curamalal (límite este de la Cuenca del Arroyo Sauce Chico) y el oriental se conoce con el nombre de Sierra de Bravard. Ambos cordones adquieren considerable altura en su parte central: el primero culmina en el cerro Curamalal Grande con 1040 m.s.n.m., mientras que el segundo lo hace en el Cerro

Guanaco con 980 m.s.n.m..

El relieve de ambos cordones es muy abrupto. Sus laderas empinadas se hallan surcadas por profundos y angostos valles transversales que provocan desniveles considerables en extensiones cortas. De cuando en cuando se hallan entallados mas profundamente por un abra que, en la Sierra de Bravard, atraviesa de lado a lado el cordón montañoso. Estas abras, tales como la del Arroyo Curamalal Chico, Curamalal Grande, Hinojo, 27 de Diciembre y Gran Chaco, tienen el significado especial de valles antecedentes, es decir de

valles preexistentes a la aparición de las sierras como relieve orográfico.

Si bien las alturas absolutas de estos cordones son considerables, su altura sobre el nivel de la llanura circundante es mucho menor, dado que esta asciende suavemente hasta los 450 m.s.n.m. con sus sedimentos modernos que envuelven el pie de la serranía. Sobre la llanura, pues las sierras se elevan apenas unos 600 m.s.n.m., pero lo abrupto del relieve exagera en el paisaje la altura de los cerros.

Los cordones de Curamalal y Bravard se continúan hacia el sud, tanto morfológica como estratigráfica y tectónicamente en las Sierras de Gran Chaco y Ventana, respectivamente.

El Cerro Gran Chaco es, en verdad, un macizo aislado entre sedimentos cenozoicos que constituyen la directa continuación de la Sierra de Curamalal. Se halla separado del resto de ella por una angosta abra transversal oblicua, el abra de la Sofía, dentro de la cuenca en estudio.

La Sierra de Bravard, en cambio se continúa directamente en la de La Ventana. El abra del Gran Chaco, una grande y profunda entalladura oblicua cuyo significado es similar al del abra de la Sofía, separa algo arbitrariamente ambas sierras que en realidad son una sola y misma unidad. La Sierra de la Ventana, a diferencia de lo que ocurre en la prolongación austral de la Curamalal, forma un cordón compacto, alto y bien definido, donde culmina altitudinalmente todo el conjunto de sierras australes. Esta sierra se halla entallada por dos abras de rumbo oblicuo y subparalelo, las abras de Ventana y de Rivera y el cordón termina hundiéndose debajo del manto de sedimento modernos, en la zona llamada abra de los vascos, algo al sur de la latitud del pueblo de Saldungaray.

En el flanco oriental de la mitad sur de la Sierra de Bravard y en todo el pie oriental de la Sierra de la Ventana, se extiende un relieve más suave, labrado en rocas paleozoicas, donde se distinguen distintos niveles de erosión. En esta zona las cumbres de los cerros,

más o menos redondeadas o aplanadas, se mantienen entre los 450 y 550 m s.n.m. y apenas unos 150 m sobre el de los amplios valles que las separan. Frente a la disposición predominantemente lineal del drenaje en los altos cordones occidentales, tenemos aquí una disposición dendrítica, y las vaguadas se insinúan digitalmente acompañadas de sedimentos modernos predominantemente eólicos, más o menos redepositados y redistribuidos por las aguas.

La zona extraserrana, puede distinguirse con el nombre de "llanura". Esta denominación, sin embargo dista mucho de ser exacta. La llanura que se extiende en derredor de las sierras, presenta desniveles más o menos notables que se evidencian ante todo, en las proximidades de los cursos de agua permanentes o temporarios que la surcan.

El paisaje característico de la cuenca del A° Sauce Chico queda definido por los campos de cultivo que se desarrollaron sobre los depósitos modernos de Loess, que ocupan los valles de todas las formaciones rocosas de Curamalal y Ventana, y los cerros que permanecen con sus pastizales naturales y afloramientos de roca en toda su extensión. Este marco determina usos bien definidos y distintos de las tierras.

La configuración del terreno es muy variable. En su parte baja es casi plana y se encuentra ubicada en la unión del camino vecinal con la ciudad de Tornquist, registrando una altura mínima de 294 m.s.n.m.. Desde dicha planicie, se eleva un cordón serrano hacia el NE hasta alcanzar una altitud de 1.200 m.s.n.m.. (I.G.M., 1970).

A continuación de la planicie (caracterizada con una pendiente del 3%) comienza la zona dominada por el macizo serrano, presentando dos pendientes bien diferenciadas, una menor 8% y otra hasta 48%, determinada a partir de las curvas topográficas equidistantes tomadas de la región. (Dirección Provincial de Catastro, 1990).

La divisoria de aguas de la cuenca alta del Arroyo Sauce Chico sobre las formaciones rocosas de Curamalal y Ventana, se define por los cerros La Sofía (959 m.s.n.m.), C° Pan de Azúcar (741 m.s.n.m.) al W; hasta el Abra del C° 27 de Diciembre y continúa al E con los C° Guanaco (929 m.s.n.m.), C° La Providencia (914 m.s.n.m.) , C° Destierro Primero (1172 m.s.n.m.) y C° de la Ventana (1134 m.s.n.m.), concluyendo en el Abra de la Ventana, donde nace el arroyo homónimo. El límite S queda definido por la divisoria que pasa por el C° Fundación Funke (678 m.s.n.m.) y C° Tornquist (591 m.s.n.m.) como alturas dominantes de este pequeño cordón.

Esta variedad de relieve evidencia la presencia de diversos rasgos de erosión hídrica, donde los más sobresalientes son surcos, regüeros, cárcavas y vagüadas, distribuidas en toda la cuenca.

2.5. CLIMA

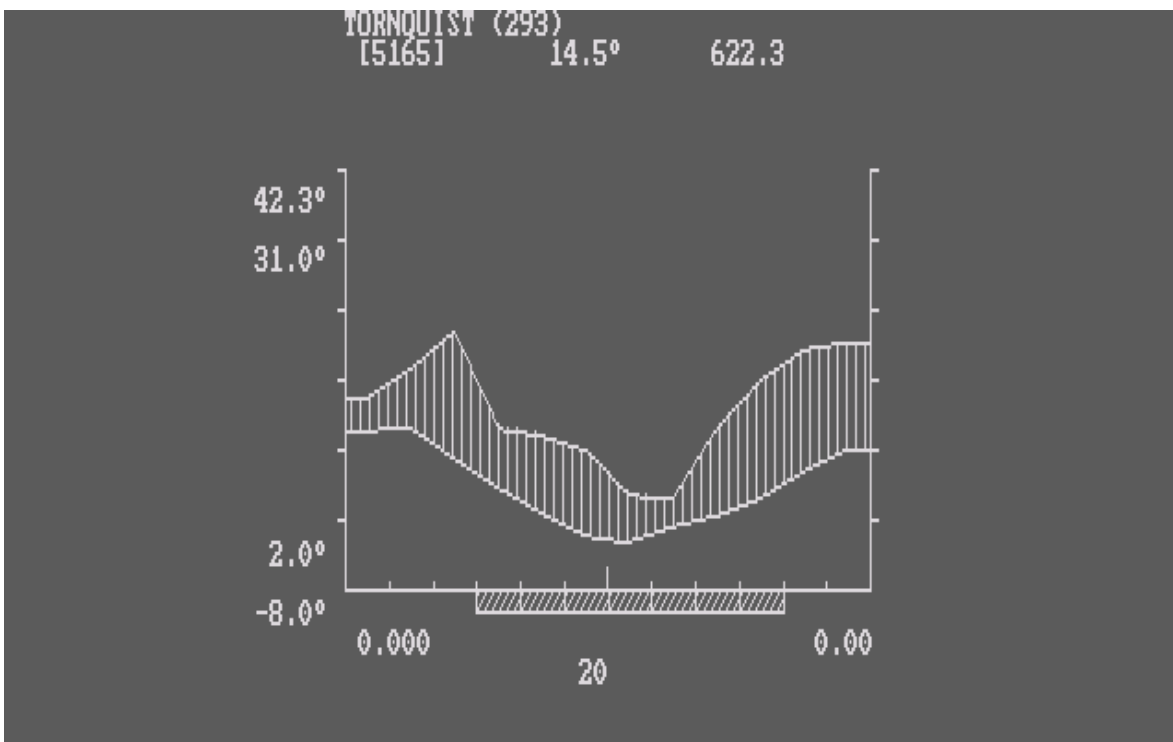
En la clasificación climática se utilizó la metodología de Thornwhite, encuadrando al mismo en templado y subhúmedo seco (Burgos, 1963). Los parámetros utilizados para dicha clasificación fueron: evapotranspiración real, precipitación y duración del día.

Estos datos fueron proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional, correspondiente a la Estación Meteorológica Tornquist (20) en la provincia de Buenos Aires (Ubicación geográfica: Lat: 38°05' S; Long: 62°13' W; Elevación: 293 mts s.n.m.), correspondiente al período que abarca entre los años 1951 - 1965 (15 años).

Tabla 1: Datos climáticos de la Estación Tornquist.

Meses	T°MAX ABS	T°MIN ABS	T°MAX MEDIA	T°MIN MEDIA	T°MEDIA	PPTACION MEDIA (mm)
1	42.3	5	30.7	15.1	22.8	54.7
2	40.8	3.5	31	15.9	23.2	63.6
3	40	2	27	12.4	19	73.9
4	31.3	-1.5	21.8	8.4	14.5	46.7
5	28.1	-4.5	17.1	6	10.9	44.5
6	25.1	-8	13.2	3.2	7.7	39.8
7	25	-7.1	12.4	2	6.7	27.3
8	28.8	-5.2	15.6	4.3	9.2	26.1
9	28.5	-2.8	17	4.9	10.4	46.3
10	33.3	-3	19.2	7.1	13	60
11	37.2	0.5	25.6	10.9	17	68.9
12	40.8	1.5	29.5	13.7	20	70.5

Fig. 1: Diagrama climático de Walter para Tornquist.



El diagrama climático de Walter (1966) (Walter, H. y S.W.Breckle, 1983), como el representado en la figura 1, es un gráfico de los valores secuenciales anuales del clima, con respecto a su actitud térmica y pluviométrica. Los datos de entrada para confeccionar dicho climodiagrama, son los detallados en la tabla 1.

El diagrama simboliza anualmente al clima ideal, detallándose sobre el eje horizontal a cada uno de los meses del año, comenzando con el mes de enero (López Cadenas de Llano, 1998).

Se recuerda que el eje izquierdo del gráfico simboliza las temperaturas (°C) y se representa a una escala cuya división es de 10 °C, y sobre el eje derecho se indica la pluviometría cuya escala de división es de 20 mm. de lluvia caída en el período mensual.

A continuación se detallan las variables taxonómicas que expresan el climodiagrama:

P	PE	TMF	T	TMC	TMMF	F	TMMC	C	HP
622.3	26.1	6.7	14.5	23.2	2.0	- 8.0	31.0	42.3	7

P: Precipitación total en el período.

PE: Precipitación mensual estival mínima.

TMF: Temperatura media mensual más baja.

T: Temperatura media anual.

TMC: Temperatura media mensual más alta.

TMMF: Temperatura media de las mínimas del mes de media más baja.

F: Temperatura mínima absoluta del período.

TMMC: Temperatura media de las máximas del mes de media más alta.

C: Temperatura máxima absoluta del período.

HP: Helada probable. Número entero de meses en los que las mínimas absolutas son ≤ 0 , siendo la media de las mínimas > 0 ($F_i \leq 0$, siendo $TMMF_i > 0$) (Bajo estos meses se grafica un rectángulo rayado).

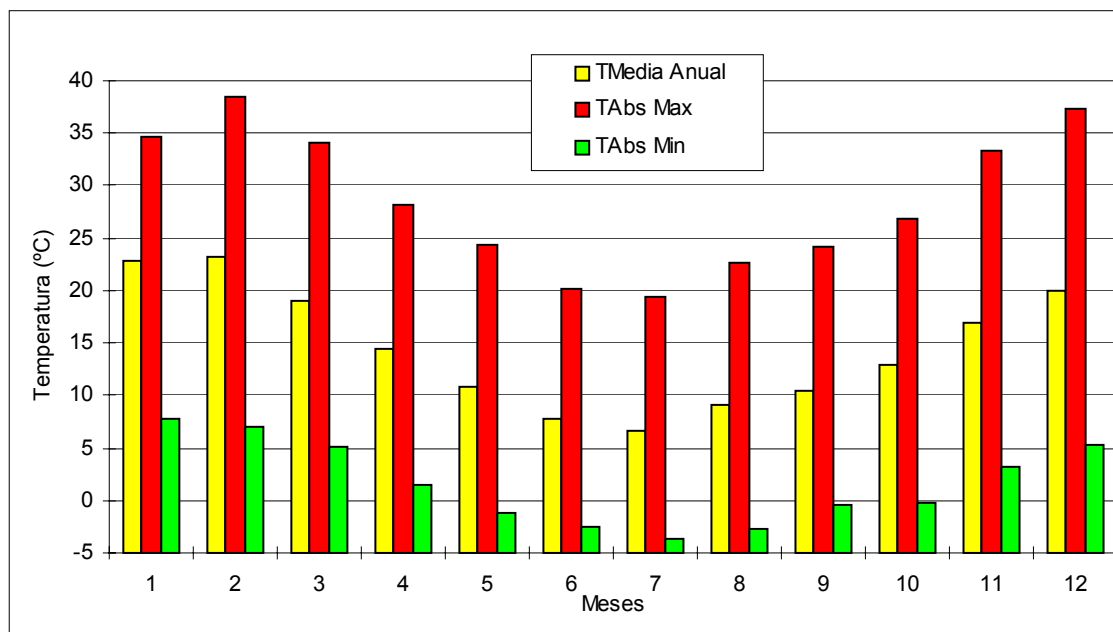
A partir de estos datos, se visualiza un intervalo de heladas probables en época invernal, cuyas temperaturas son con valores inferiores a los 0°C. El intervalo de período de actividad vegetativa con límite de 7,5°C, por el cual se pone de manifiesto un incremento de biomasa está representado fuera del límite anteriormente mencionado (López Cadenas de Llano, 1998).

Como conclusión de este climodiagrama, se observa que en el sitio estudiado, en todo momento hay agua disponible para proporcionar una normal y buena actividad vegetativa, es decir se considera que el clima regional cumple con la condición de saturado.

Para lograr mayor precisión climática dentro de la cuenca, se ha considerado una estación meteorológica ubicada dentro de la cuenca, en instalaciones particulares. En el Gráfico 1 se visualiza la evolución de la Temperatura Media Anual, la Absoluta Máxima y la Mínima en dicha estación meteorológica.

Los valores medio de temperatura están dentro del rango de 6,7°C y los 23,2 °C, teniendo una temperatura media anual de 14,5°C. La Absoluta Anual Máxima alcanza valores de 38,4 °C en el mes de febrero y la Mínima en el mes de julio es de - 3,7°C.

Gráfico 1: Representación gráfica de temperaturas anuales.



Régimen térmico: La zona de la cuenca en estudio se encuentra comprendida entre las isotermas de 14°C y 16 °C (temperatura media anual). El mes más caluroso es **Enero** con una temperatura media entre 21°C y 23°C con valores de máxima media entre 28°C y 30°C, mientras que la mínima media se encuentra entre los 13°C y 15°C. El mes más frío es **Julio** con una temperatura media que se encuentra entre los 5°C y 8°C con valores de

máxima media cercanos a los 10°C y mínima media a los 2°C. (F.A.A.-S.M.N. 1992).

Régimen Pluviométrico: En cuanto a las lluvias se establece una media anual de 615 mm según datos estadísticos de 30 años acumulados por el Servicio Meteorológico Nacional, para el período comprendido entre los años 1921-1950 con respecto a la localidad de Tornquist. Sin embargo existe una amplia variabilidad, con valores máximos anuales registrados de 1056 mm y mínimos de 396 mm.

Existe una marcada estacionalidad en lo que a la distribución de las precipitaciones respecta, en el semestre estival (Octubre a Marzo) llueve el 63.7% del total, mientras que en el semestre invernal el 36.3%. Los meses de Marzo y Abril son los que registran los mayores valores de precipitación mensual.

El gráfico 2 indica la evolución mensual de la Precipitación Media Anual, indicando un aumento de precipitación entre los meses de noviembre y marzo, y donde es mas escasa en invierno entre julio y agosto. También se visualiza la variación anual de la humedad relativa ambiente. (F.A.A.- S.M.N. 1992).

Humedad Relativa: La humedad media anual es del 70%. El mes de menor porcentaje de humedad es Diciembre con 54%, registrándose años cuyo valor fue del 50%. El máximo valor corresponde al mes de Junio con 78% habiéndose alcanzado valores de 90%. Los valores de Humedad Relativa Media (H.R.M.) para el período ocupa un rango de valores entre 45 % y 68 %, siendo estos últimos predominantes en los meses de otoño hasta principio del verano. (F.A.A.- S.M.N. 1992).

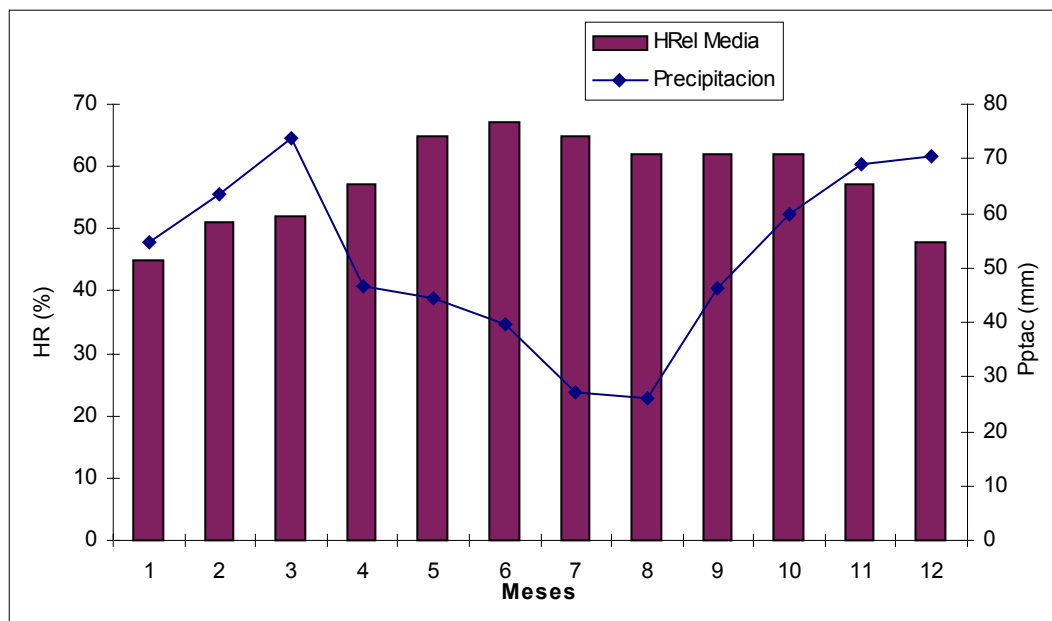


Gráfico 2: Representación de la variación pluviométrica y de H.R.M. anual.

Régimen de Heladas: En la zona las heladas son frecuentes entre los meses de Abril y Septiembre, registrándose la mayor ocurrencia en Junio, Julio y Agosto. Se cuenta con registros extremos de primera helada el 7/4/1942 y de última helada el 5/12/1940.

El gráfico 3 representa la Frecuencia Media de Dias (FMD) con presencia de Precipitaciones y Frecuencia Media de Dias con presencia de Heladas, en el cual se visualiza como las lluvias están distribuídas durante todo el año, disminuyendo entre los meses frios, y durante los cuales se acrecenta la cantidad de dias con presencia de heladas, siendo las mas fuertes durante el mes de agosto, y disminuyendo hacia fin de año.

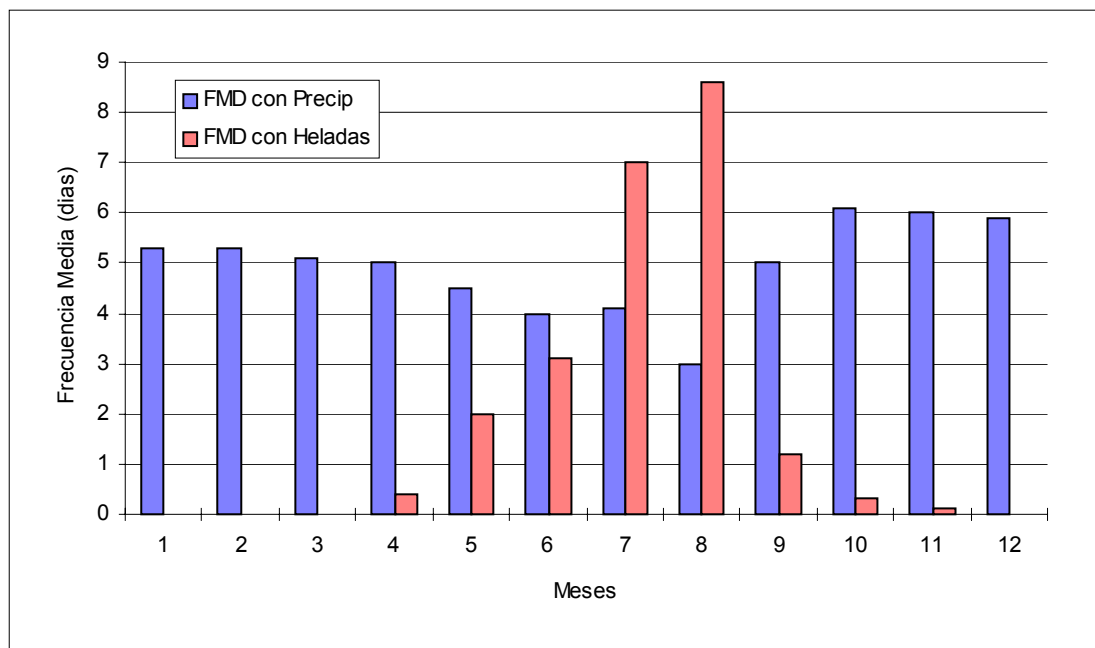


Gráfico 3: Frecuencia Media de Dias con precipitación y/o heladas anual.

Evapotranspiración: En ninguno de los meses la precipitación alcanza a saturar el suelo y solo en Julio, Agosto y Septiembre la humedad del suelo se halla entre el 75 y 100% de la capacidad de campo en ciertas áreas del partido. En cuanto a la evapotranspiración potencial, el valor es de 750 mm, lo que da un déficit anual de agua entre 100 y 200 mm. La Evapotranspiración Real Anual para esta estación es de 517 mm.

El exceso de escurrimiento superficial y la intensa evapotranspiración, hacen que en los meses de verano, los suelos solo mantengan un valor menor del 25% de capacidad de campo, con sequías de mayor o menor grado, mientras que en el semestre invernal la humedad del suelo se mantiene entre 25 y 50% de su capacidad de campo.

Heliofanía: Los valores de heliofanía teórica astronómica indican una duración máxima del día de 14.8 horas para el mes de Diciembre y una mínima de 9.6 horas para el mes de Junio. Los valores de heliofanía efectiva son de 9.1 y 4.5 horas para los meses de Enero y Julio respectivamente. (F.A.A.- S.M.N. 1992).

Nubosidad: La nubosidad media anual en octas es de 4.5 (cielo cubierto), la mínima corresponde al mes de Febrero con 3.3 octas y la máxima al mes de Julio con 6.1. De Mayo a Setiembre el cielo se muestra casi cubierto, mientras que el resto del año es seminublado. (F.A.A.- S.M.N. 1992).

Vientos: De la observación de los registros de estaciones agrometeorológicas de la región, se observa que el sector E es el que presenta la mayor proporción de días con calma (64% S^a. de La Ventana), la menor proporción se presenta al WNW (78% Bordenave), siendo intermedia al N (34% Pigüé) y al S (18% Bahía Blanca). En el S y el W la dirección predominante es del cuadrante NW. En el E y SE la dirección predominante es del NNW. No existe una marcada estacionalidad en la dirección y velocidad de los vientos predominantes. (F.A.A.- S.M.N. 1992).

2.6. HIDROLOGÍA

La dirección del drenaje sobre la sierra se verifica en sentido sudoeste, a través de cauces naturales, vaguadas y/o torrenteras; luego es desviado en sentido oeste, tomando como cauce principal el camino vecinal, que desemboca en la ciudad de Tornquist.

En el extremo de la cuenca y en general en el relleno sedimentario que se extiende al pie de las sierras, se encuentra un nivel acuífero a profundidad variable en función de la topografía. Su existencia está íntimamente vinculado a la geología, pues el tipo de roca sobre la que escurren los arroyos determinará el tipo de material que forma el cono aluvial y éste nos da la medida en que el agua pueda ser llevada a niveles subterráneos y allí almacenada.

Las masas sedimentarias han sido sometidas a una fracturación y posterior meteorización, permitiendo al manto rocoso de toda la sierra, hacerlo susceptible de recibir el agua. La misma percola a través del suelo, almacenándose en la parte baja de la cuenca, delimitando acuíferos de bajo o mediano caudal. Estos tienen propiedades de reservorios de agua y estarían conectados mediante algún tipo de comunicación subterránea aún desconocida, con otros de mayor magnitud alejado del área (Custodio y Llamas, 1976).

El tramo superior serrano y temporario de los arroyos se caracteriza por presentar piletas rocosas a veces profundas, que permanecen con agua durante la época seca. Algunos arroyos, se caracterizan por esporádicas crecientes que desplazan grandes bloques y rodados en el cauce.

En el área periserrana, los arroyos presentan barrancas abruptas, constituídas por mantos sedimentarios de espesor variable, a veces dispuestos sobre depósitos de rodados y otros con intercalaciones de tosca. Estos depósitos de tosca son actuales restos de canteras explotadas durante la construcción de caminos.

2.7. SUELOS

Las unidades cartográficas de la cuenca en estudio están clasificadas en los dominios edáficos 1, 2 y 3, según la Carta de Suelo de Sierra de la Ventana, Provincia de Buenos Aires (Esc. 1:500.000), descrita por el Atlas de Suelos del INTA (INTA-Castelar, 1989) y en el Plano Catastral Rural - Edafológico de la Dirección Provincial de Catastro del Ministerio de Economía (1990).

Las mismas están desarrolladas sobre material loésico que ha cubierto totalmente el faldeo de las sierras.

Este sedimento se encuentra generalmente apoyado sobre una costra calcárea de distribución regional, que oscila alrededor de los 100 cm. de espesor según los diferentes accidentes que presente su topografía.

La granulometría y naturaleza del sedimento loésico es muy homogénea en todo el ámbito del dominio, sin embargo, en unidades adyacentes a otras subregiones geomorfológicas, algunos suelos han evolucionado sobre sedimentos arenosos, también apoyado sobre tosca.

La inclinación de los terrenos y la costra calcárea subsuperficial son las dos características que definen estos dominios. Las ondulaciones más pronunciadas del pedemonte se registran en las cercanías de las partes cuspidales de las sierras.

Las pendientes y senos entre lomas están ocupadas por Argiudoles típicos inclinados, en las partes distales del pedemonte, donde el relieve se atenúa, se hallan Argiudoles típicos de familia fina, someros. En la parte superior de las lomas, donde la tosca está más cercana a la superficie, se desarrollan Hapludoles petrocálcicos.

En las vías de escurrimiento que nacen en los faldeos y luego ingresan en otras unidades geomorfológicas se hallan Haplustoles típico, éntico y lítico.

Las características generales de las unidades cartográficas según el Atlas de Suelos del INTA y correspondientes a la clasificación general de suelos de FAO (Esc.: 1:500.000) son:

1a - pertenecen a esta unidad las rocas intensamente plegadas del sistema de Ventania produciendo empinadas cuestas que dan una fisonomía escarpada al paisaje. El suelo asociado a esta unidad es un Hapludol lítico franco fino, que ocupa principalmente las pendientes. En la parte superior se observa roca aflorante.

1d - se desarrollan sobre valles interserranos angostos colmados por un espeso manto de loess. En corte transversal se observan pendientes opuestas empinadas que convergen en el sector plano central, de continua acumulación.

2c - ocupan las pendientes adyacentes a las Sierras de Ventania, presentan superficies onduladas e inclinaciones de hasta el 3%. Generalmente en las partes de las lomas se registran afloramientos de tosca. Los suelos de esta unidad son Argiudol típico franco fino inclinado, Argiudol típico somero inclinado y Hapludol petrocálcico.

2f - son planicies inclinadas muy suavemente onduladas. Sectores distales del pedemonte serrano con importantes afloramientos de tosca. La inclinación de la superficie es normalmente del 2%. Presenta suelos del tipo Argiudol típico franco fino, somero, Argiudol típico y Hapludol petrocálcico.

3a - presentan un paisaje colimado, con pendientes bien marcadas y antiguas vías de escurrimiento que forman una nítida y densa red de drenaje de diseño dendrítico.

La descripción analítica de los suelos se detalla en el Anexo 2.

Descripción de las unidades cartográfica 1a

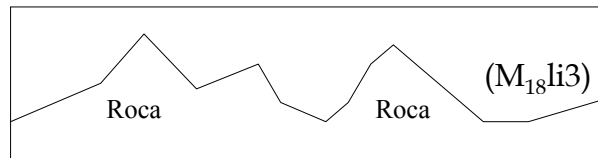
1a **R - M₁₈ li3**

Pr r

El paisaje de la zona en la unidad cartográfica **1a** está definido por rocas intensamente plegadas del Sistema Ventania que producen empinadas cuestas que, en general, dan una fisonomía escarpada al paisaje. Estas características son mucho más marcadas que en el Sistema Tandilia, donde las formas elaboradas sobre rocas graníticas, son más suaves y redondeadas.

En esta unidad predomina la Asociación de Hapludol lítico, franco fino, ocupando principalmente laderas en pendientes abruptas. Por encima de ellas, las partes altas son de roca aflorante, desprovista de suelo.

Solo cuando la cobertura eólica alcanza espesor suficiente, se encuentran Hapludoles típicos, someros.



Descripción de las unidades taxonómicas que corresponden a la unidad cartográfica 1a

HAPLUDOL LITICO, franco fino (M₁₈li3)

Se halla en los sectores adyacentes a los afloramientos rocosos, donde la cobertura loésica es muy delgada.

Profundidad muy somera (27 cm.). Sin desarrollo (A1- roca). Algo excesivamente drenado.

Sin alcalinidad. No salino.

Características del horizonte superficial A1

Espesor: 27 cm.

Materia orgánica: muy provisto (4,3%)

Textura: franco-arcillosa

Rasgos destacables: contiene fragmentos de roca y de tosca.

Observaciones: El espesor del horizonte A1 es muy variable, debido a que la superficie rocosa cubierta por loess es irregular. En algunos casos, sobre la roca existe un tapiz de tosca sumamente consolidada que, a los fines prácticos, puede ser considerada como roca.

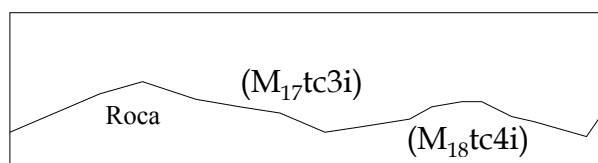
Descripción de las unidades cartográfica 1d

1d M₁₇tc3i - M₁₈tc4i

h

El paisaje de la zona en la unidad cartográfica **1d** está definido por valles interserranos angostos colmados por un espeso manto de loess. En un corte transversal se observan pendientes opuestas empinadas que convergen en un sector plano central, de continúa acumulación.

En esta unidad predomina la Asociación de Argiudol típico, franco fino inclinado, desarrollado preferentemente en el pie de las pendientes y el llano central de los valles; Hapludol típico, franco grueso, inclinado, en las pendientes propiamente dichas que forman los flancos del valle.



Descripción de las unidades taxonómicas que corresponden a la unidad cartográfica 1d

ARGIUDOL TIPICO, franco fino, inclinado (M₁₇tc3i)

Se halla en las pendientes laterales y en el llano central de los valles interserranos, colmados por loess.

Profundidad: profundo (120 cm.). Desarrollo fuerte (A1-B1-B2t-B3-C). Bien drenado. Sin alcalinidad. No salino.

Características del horizonte superficial A1

 Espesor: 25 cm.

 Materia orgánica: muy provisto (3,9%)

 Textura: franco-arcillosa a franca

Rasgos destacables: es de espesor variable. En algunos perfiles ha sido totalmente erosionado el horizonte A.

Características de los horizontes subsuperficiales: B1, horizonte de transición de 9 cm de espesor, textura franco-arcillosa y débilmente estructurado, con escasos barnices. El B2t (30 cm), es de textura franco-arcillosa y estructura prismática. El horizonte B3 (30 cm) pasa gradualmente a un horizonte C de textura franco-arcillo-arenosa y de reacción neutra.

Observaciones: Debido a que es un horizonte que se encuentra en diferentes posiciones del paisaje, se observan variaciones en el espesor del B2t. En las partes mas planas o centrales de valle, este horizonte tiene su mayor desarrollo, en tanto que en pendientes muchas veces no posee el contenido de arcilla necesario para ser denominado argílico.

HAPLUDOL TIPICO, franco grueso, inclinado (M₁₈tc4i)

Se encuentra en las partes altas de las pendientes laterales de los valles interserramnos.

Profundidad; profundo (130 cm.).Desarrollo débil (A1-B2-C1-C2ca). Bien drenado. Sin alcalinidad. No salino.

Características del horizonte superficial A1 (Ap-A12)

Espesor: 35 cm.

Materia orgánica: bien provisto (2,7%)

Textura: franco-arcillo-arenosa a franca

Características de los horizontes subsuperficiales: El horizonte B2, tiene un espesor de 15 cm, de textura: franco-arcillo-arenosa y de estructura es en bloques subangulares medios y débiles. Pasa gradualmente al horizonte B3 que tiene un espesor de 25 cm y de textura franco-arenosa. A los 75 cm tiene un horizonte C, subdividido en C1 y C2ca. Ambos son de textura franco-arenosa y están débilmente estructurados, caracterizándose el C2ca por ser de color mas claro y contener abundante carbonato de calcio, diseminado en masa y en forma de concreciones.

Descripción de las unidades cartográfica 2 c

2 c M₁₇tc3i - M₁₇tcsi - M₁₈pa

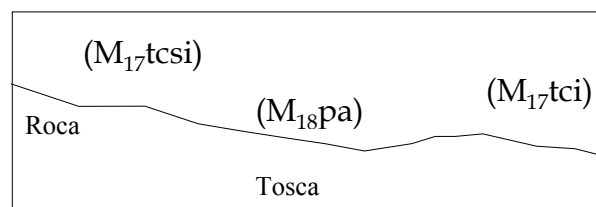
Pr **h**

El paisaje de esta unidad cartográfica **2c** está circunscrito por pendientes adyacentes a las sierras de la Ventana. Presentan superficie ondulada e inclinaciones hasta 3%. Generalmente las partes altas de las lomas presentan afloramiento de tosca.

En esta unidad predomina la Asociación de Argiudol típico, franco fino inclinado, con Argiudol típico, somero e inclinado y Hapludol petrocálcico.

El primero ocupa las pendientes donde el espesor sedimentario es mayor que en las lomas. El perfil está bien desarrollado y el horizonte A es susceptible a la erosión hídrica. El Argiudol típico, somero e inclinado se desarrolla en la pendiente alta con presencia de tosca a una profundidad de 50 a 100 cm. El Hapludol petrocálcico se ubica en las partes más elevadas, donde la tosca es casi superficial.

Presenta limitaciones como por ejemplo su profundidad y la susceptibilidad a la erosión hídrica.



Descripción de las unidades taxonómicas que corresponden a la unidad cartográfica 2 c.

ARGIUDOL TIPICO, franco fino, inclinado (M₁₇tc3i) y ARGIUDOL TIPICO, franco, somero inclinado (M₁₇tcsi)

Se ubican en las lomas y planicies suavemente onduladas.

Profundidad: profundo (135 cm.). Desarrollo fuerte (Ap-A12-B1-B21t-B22t-B3). Bien drenado. Sin alcalinidad. No salino.

Características del horizonte superficial A1

Espesor: 27 cm.

Materia orgánica: muy provisto (4%)

Textura: franco-arcillosa.

Características de los horizontes subsuperficiales: B1, horizonte de 13 cm de espesor, textura franco-arcillosa y estructura en bloques. El B2t es muy espeso (65 cm), dividido en tres subhorizontes, cuya textura pasa gradualmente de arcillosa a franco-arcillosa y

estructura prismática, con abundantes barnices. El horizonte B3, debajo de los 105 cm (30 cm) es de textura franco a franco-arcillosa, con escasos moteados ferromagnéticos.

Observaciones: En el Sistema de Ventania es común encontrar suelos de texturas gruesas, como por ejemplo el horizonte B2t que se encuentra en diferentes posiciones del paisaje, y donde se observan variaciones en su espesor.

HAPLUDOL PETROCÁLCICO, franco fino (M₁₈pa3)

Se encuentra en las áreas cuspidales de las lomas.

Profundidad muy somero (22 cm.). Sin desarrollo (A1-tosca). Moderadamente bien a bien drenado. Sin alcalinidad. No salino.

Características del horizonte superficial A1

Espesor: 22 cm.

Materia orgánica: muy provisto (7,7%)

Textura: franco-arcillosa

Rasgos destacables: presenta algunos fragmentos de tosca.

Observaciones: El espesor del horizonte A1 es muy variable, debido a las ondulaciones de la tosca subyacente. El contenido de materia orgánica es generalmente más alto que en los suelos profundos que son sometidos a labores culturales.

Descripción de las unidades cartográfica 2 f

2 f M₁₇tc3s - M₁₇tc - M₁₈pa

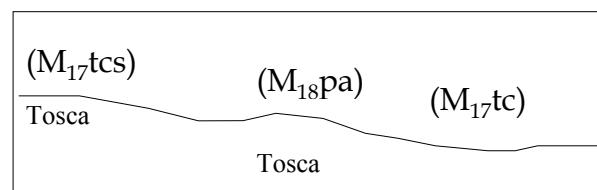
Pr Pe

El paisaje presenta planicies inclinadas, muy suavemente onduladas. Los sectores más distales del pedemonte serrano se caracterizan por la aparición de tosca. La inclinación de la superficie no alcanza al 2%.

En esta unidad predomina la Asociación de Argiudol típico, franco fino, somero, con Argiudol típico y Hapludol petrocálcico.

Las posiciones de los suelos son muy semejantes a las del 2c, solo varía en la inclinación del terreno. La tosca se encuentra a menor profundidad, siendo los suelos dominantes los someros.

Presenta limitaciones en su escasa profundidad de los suelos y en algunos sectores la pedregosidad superficial limita la labranza.



Descripción de las unidades taxonómicas que corresponden a la unidad cartográfica 2 f.

ARGIUDOL TIPICO, franco fino, somero (M₁₇tc3s) y ARGIUDOL TIPICO (M₁₇tc)

Se ubican en las lomas, pendientes y planicies.

Profundidad: muy profundo (140 cm.). Desarrollo fuerte (A1-B1-B2t-B3-C). Bien drenado.

Sin alcalinidad. No salino.

Características del horizonte superficial A1

 Espesor: 31 cm.

 Materia orgánica: muy provisto (7.1%)

 Textura: franco.

Características de los horizontes subsuperficiales: B1, horizonte de 8 cm de espesor, textura franco-arcillosa y estructura en bloques bien definidos y escasos barnices. Pasa gradualmente al B2t (26 cm de espesor), cuya textura es franco-arcillosa y estructura prismática y barnices comunes. El horizonte de transición B3 (38 cm) es de textura franco y débil estructura en bloques; el horizonte C tiene estructura franca.

Observaciones: En el Sistema de Ventania es común encontrar suelos de fase somera, en donde el perfil edáfico es interrumpido (entre los 50 y 100 cm. de profundidad) por un sustrato de tosca.

HAPLUDOL PETROCÁLCICO, franco fino (M₁₈pa3)

Se encuentra en las áreas cuspidales de las lomas.

Profundidad muy somero (22 cm.). Sin desarrollo (A1-tosca). Moderadamente bien a bien drenado. Sin alcalinidad. No salino.

Características del horizonte superficial A1

Espesor: 22 cm.

Materia orgánica: muy provisto (7,7%)

Textura: franco-arcillosa

Rasgos destacables: presenta algunos fragmentos de tosca.

Observaciones: El espesor del horizonte A1 es muy variable, debido a las ondulaciones de la tosca subyacente. El contenido de materia orgánica es generalmente más alto que en los suelos profundos que son sometidos a labores culturales.

Descripción de las unidades cartográfica 3 a.

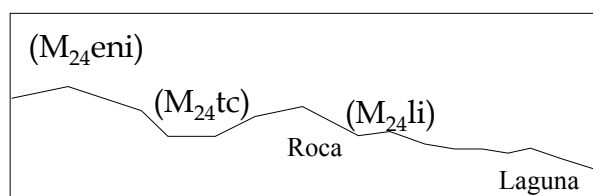
3a M₂₄tc2 - M₂₄eni - M₂₄li

Pr h'

El paisaje característico es colimado, con pendientes bien marcadas y antiguas vías de escurrimiento que forman una nítida y densa red de drenaje de diseño dendrítico.

En esta unidad predomina la Asociación de Haplustol típico, fino, ubicado en el fondo de los valles; Haplustol éntico, inclinado, en sus flancos y Haplustol lítico en los interfluvios.

Presenta limitaciones como su escasa profundidad en las posiciones altas y la susceptibilidad a la erosión hídrica actual en las pendientes.



Descripción de las unidades taxonómicas que corresponden a la unidad cartográfica 3 a.

HAPLUSTOL TIPICO, fino (M₂₄tc2)

Se encuentra en valles de la red de drenaje dendrítica.

Profundidad: profundo (105 cm.). Desarrollo débil (Ap-B21-B22-B3-C). Bien drenado. Sin alcalinidad. No salino.

Características del horizonte superficial Ap

 Espesor: 18 cm.

 Materia orgánica: muy provisto (4.8%)

 Textura: franco-arcillosa.

Características de los horizontes subsuperficiales: Debajo del horizonte superficial continúa un horizonte B2, de 41 cm de espesor, textura franco-arcillosa a arcillosa y estructura en bloques angulares y prismática débilmente expresada. Se observan escasos barnices de arcilla.

A los 59 cm. de profundidad pasa gradualmente al B3 (25 cm de espesor), cuya textura es franco-arcillosa y sin estructura. El horizonte C a los 84 de profundidad es de textura franco-arcillosa y carece de estructura.

Observaciones: En estos suelos se encuentra un elevado contenido de arcilla en todo su perfil, y se observa escasa diferencia textural en los primeros 100 cm. de profundidad.

HAPLUSTOL ÉNTICO, inclinado (M₂₄eni)

Se encuentra en pendientes bien definidas, entre las mesetas y vias de escurrimiento.

Profundidad: profundo (120 cm.). Desarrollo incipiente (A1-AC-C). Algo excesivamente drenado. Sin alcalinidad. No salino.

Características del horizonte superficial A1

Espesor: 40 cm.

Materia orgánica: moderadamente provisto (1.5%)

Textura: franco-arcillo-arenosa.

Características de los horizontes subsuperficiales: El horizonte AC tiene de 35 cm de espesor, textura franca y no presenta estructura. Contiene carbonato de calcio en concreciones y en forma pulverulenta.

A partir de los 75 cm. de profundidad comienza el horizonte C de textura es franca y sin estructura. También contiene abundante carbonato de calcio pulverulento y escasas concreciones calcáreas.

Observaciones: Presenta una inclinación de pendiente de 3-10%

HAPLUSTOL LITICO (M₂₄li)

Se encuentra en mesetas amplias y onduladas que presentan cubetas y depresiones pequeñas.

Profundidad: muy somero (18 cm.). Sin desarrollo (A1). Bien drenado. Sin alcalinidad. No salino.

Características del horizonte superficial A1

Espesor: 18 cm.

Materia orgánica: muy provisto (3.7%)

Textura: franca

Características del horizonte superficiales A1: Su color es muy oscuro y está estructurado en bloques subangulares. Tiene abundante carbonato pulverulento distribuido en masa y con escasas concreciones calcáreas. Presenta abundantes raíces.

2.8. VEGETACIÓN

El tipo de vegetación predominante es una estepa gramínea, cuya ubicación desde el punto de vista fitogeográfico, es la Región Neotropical, Dominio Chaqueño, Provincia Pampeana, Distrito Pampeano Austral (Frangi - Bottino, 1995).

La vegetación en la cuenca está representada por diferentes clases: Pastizal, Matorral, Forestación de ribera, Natural e implantada, Pasturas y Cultivo con/sin medidas de protección y conservación de suelos.

Con respecto a las clases Pastura y Cultivo con /sin protección es importante destacar que según el momento temporal (la época del año) en que transcurre la observación y toma de datos en el terreno. El uso actual del suelo fluctúa, debido a esto es conveniente conocer el marco socio económico de los propietarios del lugar donde se desarrolla la investigación.

A pesar de la gran cantidad de arroyos permanentes y riquísima capa de humus existente en los valles serranos y en la pampa, la vegetación se encuentra sobre diferentes sustratos orgánicos: uno medianamente profundo; más o menos profundo y pedregoso sobre base de roca y por último el sustrato orgánico rocoso.

En la zona de las lomadas suaves se presenta un tipo de vegetación esteparia constituida por hierbas perennes xerófilas. Aquí predominan diversas especies del género *Stipa*, como *S.brachychaeta*; *S.dusenii*; *S.trichotoma*, etc. Considerados como pastos duros, perennes y cespitosos, formados por matas de hasta un metro de altura. Entre estas matas prosperan plantas invasoras como abrepuño (*Centaurea calcitrapa*); cardo negro (*Cirsium vulgare*); cardo de Castilla (*Cynara calcitrapa*); gramíneas como *Convolvulus arvensis*; *Salpichroa origanifolia*; *Heliotropium amplexicaule*; algunas leguminosas *Medicago hispida*; *Medicago arabica*; *Trifolium repens*; etc.. Otras gramíneas en asociación son *Melica argirea*; *Briza brizoides*; *Bromus hordeus*; *Bromus brevis*; *Lolium multiflorum*; *Hordeum murinum*; *Avena barbata* y *A.sterilis* (Cabrera, 1968; Frangi - Bottino, 1995).

La vegetación arbustiva está representada por calafate (*Berberis ruscifolia*); brusquilla (*Discaria longispina*); y varias compuestas como por ejemplo *Eupatorium sp.*; *Bacharis sp.*; *Wedelia buthalmiflora*. Entre las rosáceas aparece la yerba de perdíz (*Margyricarpus pinnatus*); la zarzaparrilla (*Mimosa rocae*) y el guindo silvestre (*Prunus mahaleb*).

Sobre los cursos de agua desde sus nacientes se observa una vegetación más higrófila, quedando la zona de torrentes y manantiales representada por: *Cortadera dioica*; *Paspalum*

quadrifarium; Senecio bonaeriensis; Scirpus riparius; Juncus microcephalus; Melica macra; Polypogon elegantus; etc. (Cabrera, 1968).

Sobre las laderas de las sierras, la vegetación se empobrece, presentándose en manchones aislados, siendo causa de ello los numerosos y extensos afloramientos rocosos. En las laderas altas predominan las gramíneas como *Phalaris angusta; Melica brasiliana; Stipa pampeana* y *S.juncooides; Briza sp; Bromus hordaceus*; y en las laderas bajas las gramíneas se asocian con *Piptochaetium haeckeli* asociada con *P.lejopodum; Briza subaristata; Melica macra* y *Poa liguralis*, todas de interés forrajero. (Cabrera, 1968; Frangi - Bottino, 1995)

En las mesetas serranas de pendientes suaves prosperan praderas de césped bajo y denso de especies como *Festuca ventanicola, Hipericum sp., Arjona sp.* y *Grindelia sp.*.

La vegetación de las cimas de los cerros es muy pobre, de porte bajo como por ejemplo el *Plantago bismarckii*, raramente el *P.ventaniensis* y el líquen *Usnea hironymi*.

Dada la tradición regional de actividades agrícolas, la cual ha abarcado la totalidad de las tierras disponibles para cultivo, sumado al desconocimiento de la cualidad de los sistemas integrados de protección y producción en los cuales el árbol cobra un papel fundamental, no se registra en la zona el desarrollo de una actividad forestal con fines productivos, solo como apoyo a actividades tradicionales, como montes de abrigo para ganado, cortinas forestales de protección eólica frente a las residencias, montes ornamentales y una pequeña área de montes protectores. Los géneros que predominan bajo esta situación son: *Pinus; Cupresus; Cedrus; Juniperus; Thuja; Robinia; Ulmus; Populus; Salix; Eucalyptus; Celtis; Quercus; Tamarix*; entre otros. (Cabrera, 1968; Frangi - Bottino, 1995)

En la cuenca no se encuentran representantes arbóreos indígenas, aunque en los alrededores existen algunos relictos de bosquecillos de chañar (*Geoffroea decorticans*) asociados con molle (*Schinus molle*) y piquillín (*Condalia lineata*), generalmente aislados y en retracción. En las orillas del Sauce Chico se encuentran algunos ejemplares de Sauce criollo (*Salix humboltiana*).

2.9. FAUNA

Según la clasificación zoográfica de Ringuelet (1960), la cuenca estaría encuadrada dentro de la Región Neotropical, Dominio Chaqueño, Provincia Pampeana.

Es una zona relativamente rica en especies faunísticas, sobresaliendo entre los carnívoros los guanacos (*Lama guanicoe guanicos*), entre los felinos el único representante es el gato montés (*Felis geoffroyi geoffroyi*). Los cérvidos son los menos frecuentes, debido a la gran caza en el siglo pasado, pero se puede encontrar aún el gamo europeo (*Dama dama*). Otros carnívoros presentes son el zorrino chico (*Conepatus castaneus castaneus*), el zorro gris de la Pampa (*Dusicyon gymnocerus*), y muchos roedores como las ratas, ratones, tucu-tucu, liebre común, comadrejas y peludos.

Entre los reptiles más comunes y peligrosos tenemos la yarará ñata (*Bothrops ammodytoides*), la víbora de la cruz (*Bothrops alternata*) y la yarará de cola blanca (*Bothrops neuwiedii meridionalis*). Asimismo, abundan las culebras de coral y lagartijas.

La riqueza ictícola de los arroyos es pobre.

En cuanto a las aves, las más interesantes de destacar son la perdiz colorada (*Rhynchotus rufescens pallescens*), el tero (*Belonopterus cayannensis lampronotus*), la copetona (*Eudromia elegans elegans*) y otros como patos, palomas, águila de las sierras, lechuza de campo y otros.

2.10. USOS DEL SUELO.

➤ ANTECEDENTES HISTÓRICOS

En el año 1870 se inició la conquista del Desierto y comenzó la colonización de la región pampeana. La acción civilizadora comienza con la llegada del Ferrocarril General Roca. Las primeras colonias de agricultores alemanes, suizos e italianos se instalaron en 1886.

En 1905 se crea el Partido de la Sierra, que en 1910 toma el nombre definitivo de Ernesto Tornquist.

En aquellas épocas, el manejo inadecuado de las tierras cubiertas por grandes pastizales, por ejemplo prácticas indiscriminadas a favor de la pendiente (sin seguir las curvas de nivel), falta de rotaciones adecuadas, quema de vegetación espontánea, excesiva cantidad de animales por hectárea, indujeron a la aparición de los primeros síntomas de un proceso de erosión hídrica perjudicando la constitución de los suelos, reconociéndose cárcavas y regüeros sobre las laderas de la cuenca.

En febrero de 1915 se produjo una gran tormenta que ocasionó daños sobre sembrados, vías férreas, caminos, puentes, alcantarillas, etc.. En julio de 1919 y agosto de 1923 tormentas de características semejantes ocasionaron grandes pérdidas. En abril de 1933 las calles de la ciudad de Tornquist y Sierra de la Ventana se anegaron con un nivel de agua de 35 cm. dentro de las viviendas.

La avenida de mayor magnitud hasta el momento fué la acaecida en abril de 1944, que originó aluviones en los emisarios del Río Sauce Grande y Sauce Chico, desaparecieron numerosas personas, ganado, arrasó casas (con anegamientos de 1 metro) y daño cultivos (Lores, 1979).

➤ USO ACTUAL DEL SUELO

La zona se caracteriza por su aptitud agrícola-ganadera.

Los cultivos de especies forrajeras que se destacan son: *Bromus sp.*, *Festuca sp.*, *Trifolium sp.*, *Dactalis sp.*, (forrajeras generalmente en asociación), cereales como *Triticum aestivum* (trigo), *Avena sativa* (avena), *Zea mays* (maíz), *Helianthus annus* (girasol), *Hordeum distichum* (cebada cervecera) y *Secale cereale* (centeno), dependiendo de la ubicación del predio y de la actividad productiva final del propietario.

La ganadería característica que se desarrolla en la cuenca se basa en invernada y cría. En el período invernal, los productores aprovechan la vegetación natural de la parte alta de la sierra para la alimentación del ganado, provocando la denudación del suelo por la excesiva carga animal. Esta situación al inicio de la época de lluvias produce un aumento en el escurrimiento superficial del agua, ocasionando problemas erosivos en los predios e inundaciones repentinas en la zona. Se presentan también signos de erosión laminar, que "lava" el horizonte superficial, disminuyendo su calidad y, por consiguiente, los rendimientos de los cultivos.

Esta característica trae como consecuencia lo observado en la zona presencia de un manejo irracional de las tierras de cultivo y pastoreo, provocando la modificación del potencial productivo que va en desmedro, no solo de los intereses del productor, sino también de la población toda.

Las prácticas como el pastoreo en la parte alta de las sierras y labores agrícolas a favor de la pendiente, aumentan los riesgos por erosión hídrica, con la consiguiente formación de surcos y cárcavas.

Cabe mencionar la presencia de arroyos cuyos márgenes no presentan una adecuada protección con cobertura vegetal, favoreciendo la erosión lateral y como consecuencia, disminuyendo las áreas aptas para cultivo agrícola.

En cuanto a las medidas de protección que se observaron, pueden mencionarse las curvas de nivel, presente solo en algunos predios. Si bien esta práctica solo se hace eficaz cuando no existen pendientes muy pronunciadas, ya que de lo contrario pueden aparecer curvas muy próximas entre sí que provocan la interrupción de las labores impidiendo el paso de las herramientas.

También debe mencionarse prácticas de laboreo tradicionales (aradas, rastreadas, etc.) que indirectamente benefician a la erosión eólica. Es muy frecuente observar “voladuras” de campo, sobre todo cuando se realizan en épocas de sequía.

Debemos considerar que la situación económica que atraviesan los productores impide que puedan tomar medidas de prevención adecuadas, dada las inversiones (sin retorno aparente) que son necesarias. Esto no descarta que principios básicos de conservación de suelos no puedan ser practicados.

Como mencionábamos anteriormente existe un desconocimiento de los sistemas integrados de protección y producción, donde las especies forestales cobran un papel fundamental. No se han registrado zonas de desarrollo de actividades forestales con fines productivos, solo como apoyo de las actividades tradicionales (montes de abrigo, cortinas, etc) y como montes ornamentales y protectores, sobre todo en la región del C° de los Terneros y próximo al C° Gran Chaco. Estos fueron realizadas hace varias décadas y con una gran variedad de especies, que pueden usarse como referencias para estudios que analicen comportamientos y potencialidad productiva de ciertas especies.

También se observa la expansión de vegetación forestal ribereña con géneros forestales exóticos para la región, como por ejemplo el *Salix* y *Populus*, entre otras.

2.11. FENÓMENO DE EROSIÓN

En la naturaleza, los principales elementos que la componen (clima, relieve, agua, suelo, vegetación) se mantienen, sin la intervención del hombre, en un equilibrio dinámico. La ocupación y uso de la tierra por el hombre, alteran las condiciones en que se desenvuelven los procesos naturales.

Tanto el uso agrícola ganadero, como forestal, el desmonte irracional, el pastoreo excesivo, prácticas de labranzas del suelo, etc. contribuyen a su degradación de manera muchas veces irreversible con el consiguiente perjuicio para el desarrollo y progreso de las comunidades que tienen sobre él un asiento indispensable.

La **erosión de los suelos es un fenómeno natural** debido a causas geológicas, pero es necesario distinguir entre erosión natural o geológica y aquella que ocurre a partir de la acción del hombre, llamada erosión antrópica.

La **erosión geológica** es la principal modeladora de la superficie terrestre a través de procesos que por lo general son lentos; mientras que la **antrópica** generalmente es acelerada y trunca parte del perfil formado naturalmente.

Son muchas las causas que originan el fenómeno erosivo actuando en forma independiente y/o conjunta, como por ejemplo el sobrepastoreo, el desmonte, la quema de la vegetación o rastrojo, la labranza y toda acción que elimine radicalmente la vegetación y exponga el suelo desnudo a la lluvia y el viento. Estos agentes con su carga energética contribuyen a la disgregación, el transporte y la depositación de los materiales sólidos.

Así la erosión hídrica y eólica, anegamiento, inundación, salinización, alcalinización, degradación física, disminución de la fertilidad, degradación de la vegetación natural y cultivada, desertización son procesos que pueden ocurrir de manera interaccionada y gradualmente coadyudan al deterioro ambiental y al detrimento de la calidad de vida.

La estabilidad económica de nuestro país y principalmente de las comunidades rurales no solo deriva de suelos de alta calidad, sino de un destino y uso inteligente que no comprometa su integridad. El conocimiento profundo de los procesos naturales y su posible reacción ante la intervención del hombre, sin duda constituiría un valioso aporte en la preservación y adecuado uso del recurso suelo.

➤ EROSIÓN HÍDRICA EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES.

La erosión hídrica en la Provincia de Buenos Aires, afecta una superficie de 4.800.000 ha que representan algo más del 15% del total de la provincia. El partido de Tornquist presenta un 34,7% (145.000 has.) de la superficie total afectada por erosión hídrica visible.

Puede decirse que en la provincia de Bs.As. la erosión hídrica es un problema prioritario en la subregión Pampa Ondulada, en el área del sistema de Tandilia, en la Pampa Interserrana y en el pedemonte de la Sierra de la Ventana.

En general en esas regiones predomina el uso agrícola - ganadero.

El grado de erosión según la clasificación establecida por FAO es moderado, estimándose que la tasa anual promedio de pérdida de suelo es de 0.87 mm/año (I.N.E.S.- I.N.D.E.C., 1988).

➤ EROSIÓN EÓLICA EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES.

La erosión eólica afecta unas 3.753.000 ha, que representan el 12% de la superficie total de su superficie. Tornquist es un partido de bajo nivel de eólico, debido a que presenta un 29,9% (125.000 has.) de la superficie total afectada por erosión eólica, que este solo se representa en su topografía serrana.

La zona de las dunas costeras, la Pampa interserrana y en los partidos de Guaminí, Adolfo Alsina, Villegas, Rivadavia, Trenque Lauquen y Pellegrini constituyen el 72% de la superficie afectada por erosión eólica. Considerando a los partidos en forma individual, los más perjudicados son Adolfo Alsina, Guaminí, Salliqueló, Trenque Lauquen y Pellegrini que presentan desde el 50 al 100% de su superficie afectada (I.N.E.S.-I.N.D.E.C., 1988).

2.12. MARCO SOCIO ECONÓMICO DEL ÁREA DE INFLUENCIA.

La superficie del partido es de 4.149 km² , representando el 1,35% de la superficie bonaerense. (I.N.E.S.-I.N.D.E.C., 1988).

Los centros urbanos de mayor importancia son Tornquist (cabecera de partido), Saldungaray, Sierra de la Ventana y Villa Ventana.

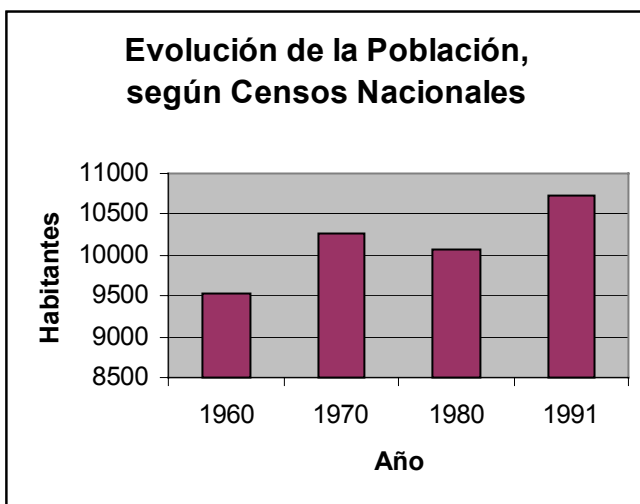
En cuanto a los accesos y medios de comunicación vial, a la cuenca se puede acceder a través de la Ruta Nacional 33 (que une Pigüé con Bahía Blanca), y desde Sierra de La Ventana por la Ruta Provincial 76 (que comunica Tornquist con Olavarría).

También hay dos líneas del ferrocarril General Roca que cruzan el partido convergiendo en Bahía Blanca, una junto a la Ruta 33 y otra pasando por Sierra de la Ventana.

➤ POBLACIÓN

Según los datos arrojados por el último Censo Nacional (D.G.E., 1991), el partido tiene una población total de 10.742 habitantes, con una densidad de población de 2,6 habitantes por kilómetro cuadrado. La ciudad de Tornquist, es la más cercana a la cuenca, y cuenta con 5672 habitantes (52.6 % del total del partido).

Gráfico 4: Evolución de la población del partido de Tornquist.



Algunas otras características cuali-cuantitativas que arrojan los datos censales se vuelcan en los gráficos a continuación, como por ejemplo la Población según sexo (considerando un valor estimado) y Población según condición para el Partido de Tornquist, en la provincia de Buenos Aires.

Los mismos fueron elaborados a partir de *Instituto Nacional de Estadística y Censo* (1988) cuyo Censo Nacional Agropecuario aporta información y resultados generales por partido bonaerense y del censo de Viviendas, hogares y población de 1991 de la *Dirección General de Estadística* (D.G.E., 1991), permitiendo la comparación evolutiva de la población en dicho entorno.

Gráfico 5: Evolución de la población según sexo del partido de Tornquist.

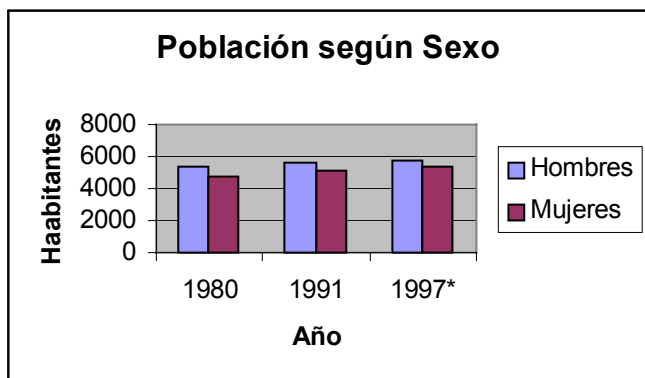
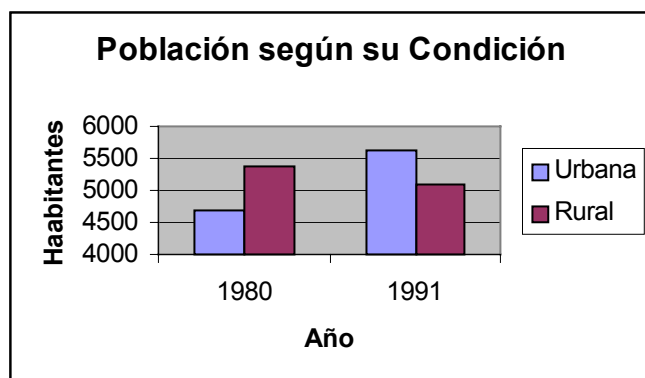


Gráfico 6: Evolución de la población según su condición del partido de Tornquist.



➤ ACTIVIDAD ECONÓMICA.

La principal actividad económica de la región se concentra en las tareas agrícolas ganaderas, donde predominan los cultivos de trigo y girasol, y la cría de ganado bovino y ovino. También es importante el turismo en torno a las sierras.

La actividad industrial es muy escasa. La explotación de canteras para la obtención de arena, canto rodado, etc., es otra actividad en forma permanente. (I.N.E.S.-I.N.D.E.C.,1988; D.G.E., 1991).

➤ SALUD Y EDUCACIÓN.

Según los datos del censo de 1989, existe un total de 6 centros asistenciales de diferente complejidad, dependientes de la municipalidad.

La asistencia a nivel primario (población entre 7 y 14 años de edad) es del 84,3%, la de nivel secundario (entre 13 y 19 años) es del 31,6%. Según el censo nacional de 1980, la población económicamente activa (mayores a 14 años) es del 75,2% y tiene una tendencia en aumento hacia principios de la década del 90. (D.G.E., 1991).

3. PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA.

La planificación hidrológica de una cuenca requiere la utilización conjunta de una serie de datos climáticos e hidrológicos procedentes de estaciones de observación situadas en puntos bien definidos y de información fisiográfica como por ejemplo la topografía, red de drenaje, vegetación, litología, suelos, etc., asociada al dominio de la cuenca. También es de utilidad información sobre las infraestructuras existentes en la zona (urbanizaciones, red de carreteras, ferrocarril).

Esta información de base, debe estar georreferenciada, y considerando el gran volumen de testimonios y complejidad de datos, se trata de simplificar de manera más rigurosa y completa mediante el uso del S.I.G..

El S.I.G. sirve como herramienta de trabajo para el proceso y representación de la información y para el enlace con el modelo hidrológico U.S.L.E. (Universal Soil Loss Equation) y M.U.S.L.E (Modified Universal Soil Loss Equation).

La secuencia de pasos para la Planificación Hidrológica fueron:

1) Recopilación y evaluación de la información básica disponible:

- Cartas topográficas.
- Cartas geológicas y geomorfológica.
- Cartografía básica y de estudios de suelos.
- Datos climáticos / meteorológicos.
- Fotografías aéreas.
- Imágenes satelitarias.
- Uso actual e histórico del suelo.
- Mapas catastrales y de propiedad de la tierra.
- Datos socio-económicos.
- Antecedentes sobre daños por inundaciones, erosión y sedimentación.
- Bibliografía.

2) Toma de datos a campo en sitios representativos, dentro de la variabilidad de la cuenca de estudio.

3) Confección de una base de datos cuali-cuantitativos de campo identificando situaciones de erosión hídrica en la cuenca.

4) Diseño y ampliación de la base de datos anteriormente mencionada, a partir de la distribución geográfica-cartográfica, caracterizando cada situación problema y cada uno de los factores que intervienen en la fórmula de la U.S.L.E..

5) Desarrollo de técnicas de digitalización de mapas base por medio de los software AUTOCAD, IDRISI y SURFER.

6) Confección de mapas que identifiquen a cada uno de los factores que intervienen en la U.S.L.E. y M.U.S.L.E..

7) Procesamiento de la información cartográfica en el S.I.G. IDRISI.

8) Determinación del caudal sólido, líquido y degradación específica emitidos por la cuenca por medio de la aplicación de la metodología correspondiente para cada caso y confección de la cartografía acorde.

9) Elaboración del mapa de zonificación de áreas de uso.

10) Definir bases para la formulación de un Plan de Ordenamiento Territorial de una cuenca hidrográfica degradada por erosión hídrica.

4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.

La investigación se basó, en primera instancia, en una recopilación y evaluación de toda la información antecedente relacionada con la cuenca problema y su región de influencia. Luego se diagramó el procesamiento y compatibilización de dicha información y la obtenida a través de muestreos de campo y en observaciones sistemáticas del sitio y de recurrencia y duración adecuada, a través de la confección de una base de datos.

Se establecieron Unidades de Manejo y Gestión hidrológico (U.M.G.) según sus características ambientales, topográfica y de drenaje, y luego identificándolas por su pérdidas de suelo, sirvió de base para la confección de mapas finales de ordenación territorial y uso de suelo.

Dicha tarea se contempló realizar mediante el procesamiento de la base de datos anteriormente confeccionada, y por medio de la aplicación del Sistema de Información Geográfica IDRISI. Ello permitió una aproximación al conocimiento de la representatividad de la cuenca seleccionada y a la posibilidad de extrapolación a otras regiones y alcance de los resultados.

El Sistema de Información Geográfica permitió contar con una fuente dinámica de inferencia de causas y efectos de modificaciones reales o simuladas en el marco regional, utilizando datos de diferente origen y configuración.

4.1. INTRODUCCIÓN AL MANEJO DE ZONAS DEGRADADAS POR EROSIÓN HÍDRICA. DIAGNÓSTICO ESTRATÉGICO.

La metodología planteada se basó en la identificación y diagnóstico de situaciones de erosión hídrica en Unidades de Manejo y Gestión (U.M.G.) para el desarrollo regional sustentable.

Dichas unidades fueron evaluadas por un relevamiento a campo de diferentes aspectos temáticos, como por ejemplo: drenaje, vegetación y uso del suelo, textura y estructura del suelo, geología, topografía, relieve, exposición, clima, e identificando sitios de erosión hídrica superficial, la explotación actual y aspectos socio-económicos en la cuenca.

La recuperación de los sitios atacados por erosión hídrica, implica reflexionar ante los factores físicos, bióticos, humanos y ambientales, con el propósito de aprovechar racionalmente todos los recursos disponibles, para obtener un rendimiento sostenido de ellos y el mejoramiento de las condiciones de vida del pastizal y del hombre.

El mejoramiento de la calidad de vida constituye, sin duda, dos fases: una en referencia a la lucha por la supervivencia de las especies vegetales y animales en sus sitios degradados por erosión, durante los primeros años de vida hasta su adaptación definitiva; y otra la posibilidad de uso de los recursos naturales por el hombre, en forma sostenida.

Para alcanzar tales objetivos el procedimiento consistió en detectar y estudiar los factores limitantes de la producción, caracterizando el ambiente, identificando las limitantes de carácter físico (geomorfológicas, edafológicas, hidrológicas, meteorológicas y biológicas) y las vinculadas al uso del suelo.

4.2. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA CUENCA

4.2.1. DIAGNÓSTICO GENERAL

A partir del marco que se describió anteriormente y con la cartografía desarrollada para obtener un mapa de Riesgo de Erosión Hídrica Laminar, se analiza la región con fines proteccionistas, productivos y de sustentabilidad. Pero debe resaltarse un factor muy importante que actúa sobre la modificación del paisaje: la acción antrópica.

En la cuenca en estudio existe un preponderante manejo irracional de las tierras de cultivo y pastoreo, lo cual induce a la transformación del potencial productivo del sitio, induciendo su desvalorización tanto ecológica como socio-económica.

La presencia de cursos de agua desprotegidos estimula al desarrollo de márgenes pobres de cobertura vegetal inadecuada. Además el sobreuso del suelo por la agricultura y por una mala práctica de manejo, es decir tierras laboreadas a favor de la pendiente que prácticamente lindan con los cursos de agua, favorecen una erosión lateral que disminuye las áreas de cultivo.

En cuanto a las medidas de protección que se observaron pueden mencionarse las prácticas conservacionistas con curvas de nivel, solo en algunos predios. Si bien esta

práctica solo se hace eficaz cuando no existen pendientes muy pronunciadas, ya que de lo contrario pueden aparecer curvas muy próximas entre sí que provocan la interrupción de las labores impidiendo el paso de las herramientas.

Considerando la difícil situación económica que atraviesan los productores de la región, para tomar la decisión de adquirir medidas de prevención adecuadas, es necesario que estas sean totalmente recomendadas por profesionales y estudios que convaliden ese esfuerzo económico, debido a que estas inversiones son consideradas por los campesinos sin retorno aparente.

4.2.2. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO

La metodología empleada se basó en realizar un diagnóstico de la situación actual de cada una de las subcuencas o U.M.G. (Unidades de Manejo y Gestión). Dichas unidades son evaluadas por un relevamiento a campo de diferentes aspectos temáticos, como por ejemplo: vegetación y uso del suelo, fauna, drenaje, suelo, estratos geológicos visibles, relieve, topografía y aspectos socioeconómicos.

Para ello se confeccionó una base de datos (Access, 1997), que permitió una mayor facilidad de comparación de antecedentes e interacción de datos.

Los parámetros considerados para la confección de la planilla de toma de datos a campo fueron: Código de identificación de la subcuenca, paisaje morfológico, desnivel dentro de cada unidad y topografía local, tipo cualitativa general de pendientes, gradiente general y orientación de las laderas, grado de erosión, tipo de escurrimiento, porcentaje de pedregosidad, tipo de protección vegetal, cultivo y uso del suelo, datos de presencia de estructuras geológicas, rasgos de inundación y aspectos socioeconómicos de los pobladores.

Todos estos datos son la base para la confección en gabinete de mapas temáticos primarios, que por un procesamiento vectorial y raster, y un consecuente procedimiento de superposición de los mismos, permitieron realizar mapas secundarios y confeccionar un mapa final con clases de erosión hídrica potencial (AutoCAD, 1997; IDRISI, 1997).

4.3. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LA CUENCA.

4.3.1. ÍNDICE DE COMPACIDAD.

El contorno define la forma y la superficie que abarca la cuenca vertiente. Es evidente que la forma tendrá influencia sobre los escurrimientos y sobre la marcha del hidrograma resultante de una precipitación dada. El tiempo de concentración también depende de la forma. (López Cadenas de Llano y Mintegui Aguirre, 1987) .

El Coeficiente de compacidad de Gravelius, es el índice que nos permite relacionar el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo de área equivalente al de la cuenca, y de esta manera representar esta característica.

$$K_c = P \times (2 \sqrt{\pi A})^{-1}$$

$$K_c = 167.94 \text{ km} \times (2 \sqrt{\pi 371.24 \text{ km}^2})^{-1}$$

$$K_c = 2.458 \text{ km} \times \text{km}^{-2}$$

P: Perímetro de la cuenca (km)

A: Área total de la cuenca (km²)

El valor de K_c nos indica que estamos en presencia de una cuenca con una forma irregular o mejor dicho oblonga - triangular, y al relacionarlo con su tiempo de concentración se puede llegar a la conclusión que el agua dentro de la cuenca escurre por cauces secundarios hasta llegar a uno principal donde su tiempo de concentración aumenta considerablemente. Esta forma significa que retarda la acumulación de las aguas al paso del río por su punto de desagüe. Este índice aumenta con la irregularidad de la forma de la cuenca. (Henaos, 1988; López Cadenas de Llano, 1998).

4.3.2. DENSIDAD DE DRENAJE.

Se llama red hidrográfica al drenaje natural, permanente o temporal, por el que fluyen las aguas de los escurrimientos superficiales. La densidad de drenaje esta definida para cada cuenca como la relación entre la suma de las longitudes de todos los cursos de agua que

drenan por la cuenca con respecto al área de la misma. (López Cadenas de Llano y Mintegui Aguirre, 1987; López Cadenas de Llano, 1998) .

Esta fue establecida por Horton según la siguiente fórmula:

$$Dd = Ln \times A^{-1}$$

$$Dd = 218.8643 \text{ km} \times (371.24 \text{ km}^2)^{-1}$$

$$Dd = 0.5895 \text{ km} \times \text{km}^{-2}$$

Ln: Sumatoria de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca (km).

A: Área total de la cuenca (km²)

Se considera que la densidad de drenaje caracteriza cuantitativamente la red hidrográfica de la cuenca, además aclara el grado de relación entre el tipo de red y la clase de material predominante, los cuales permiten el escurrimiento y nos pone de manifiesto que tipo de manejo se debe aplicar sobre esta cuenca, para evitar el deterioro de los cauces. (Henaos, 1988; López Cadenas de Llano, 1998).

En la cuenca Alta del Sauce Chico la densidad de drenaje es muy baja, determinando que por unidad de superficie hay un número insuficiente de elementos de drenaje, es decir por unidad de superficie hay 0.5895 km de cursos de agua.

4.3.3. PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE.

La pendiente media del cauce se deduce a partir del desnivel topográfico sobre el cauce principal y la longitud del mismo. (López Cadenas de Llano y Mintegui Aguirre, 1987; López Cadenas de Llano, 1998).

En este caso se ha considerado al curso del Arroyo Sauce Chico desde su inicio en la cuenca de recepción (alta montaña) hasta el cierre de la cuenca (llanura), el cual recorre las subcuencas 1 y 6, con una longitud total de 39.8093 km..

$$J = (H \text{ máx} - H \text{ mín}) \times (1000 L)^{-1}$$

$$J = (999.82 - 200.58) \times (1000 \times 39.8093)^{-1} = 0.02 \text{ mts} \times \text{mts}^{-1}$$

J= 2%

Hmáx: Cota máxima sobre el curso de agua (metros)

Hmín: Cota mínima sobre el curso de agua (metros)

L: Longitud del río más largo (km.)

4.4. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN CUALITATIVA DE LOS PERFILES TRANSVERSALES SOBRE LOS CURSOS DE AGUA Y SITIOS ALEDAÑOS.

Durante la tareas desarrolladas a campo, y mediante observaciones y toma de datos cuali-cuantitativos, hemos realizado una descripción más detallada de la cuenca.

Para tal fin se ha subdividido la cuenca Alta del A°Sauce Chico en seis subcuencas que coinciden con los límites de cada U.M.G., mencionadas anteriormente, y dentro de las mismas se han obtenido 17 sitios considerados representativos (Tabla 2).

Tabla 2: Ubicación de los Perfiles Transversales.

Nº DE PERFIL	SUBCUENCA	NOMBRE DE LA SUBCUENCA
5	1	A° Naciente del Sauce Chico.
4 - 6 - 7 - 8	2	A° del Barril.
9 - 11	3	A° San Juan.
12 - 13 - 14 - 15	4	A° Naciente de La Ventana.
1 - 10	5	A° de La Ventana.
2 - 3 - 16 - 17	6	A° Sauce Chico.

PERFIL 1:

Se halla ubicado sobre el A° de La Ventana a 100 mts del camino aguas arriba.

El paisaje es pedemontano, con ondulaciones y pendientes suaves. Se halla cultivado en su mayoría. La observación se hace desde un pie de la loma con exposición oeste.

Puede notarse la baja carga de vacunos y ovinos.

El suelo se describe como Haplustol típico con rocosidad sobre las márgenes del arroyo y Argiudol típico en la zona de cultivo. Textura franco arcillosa con estructura migajosa y buena permeabilidad.

El cauce presenta rocas de diámetro considerable (>60 cm), y denota arrastre de troncos y material fino, observándose restos de hierbas sobre arbustos del margen a una altura de 3 mts aproximadamente.

PERFIL 2:

Se encuentra sobre el A° Sauce Chico a 45 mts aguas abajo desde el camino.

El suelo característico del área es Argiudol típico y se encuentra cultivada toda el área circundante. La vegetación natural en el margen es abundante, predominando la cortadera. Cabe mencionar la presencia de un monte de álamo plateado sobre una de las márgenes.

PERFIL 3:

Se levantó a 20 mts de la desembocadura del A° del Barril, el suelo corresponde a un Argiudol típico y Haplustol típico en lomadas y márgenes respectivamente. Tiene un buen drenaje y textura fina franca a franca arcillosa. No hay indicios de alcalinidad ni de salinidad.

PERFIL 4:

Se localiza sobre el A° del Barril, desde el camino hacia la naciente. El paisaje es característico de la zona, con pendientes suaves, suelos bien drenados y profundos.

PERFIL 5:

Situado sobre el A° Sauce Chico, en la E^a Gran Chaco. El cauce presenta una gran cantidad de material rocoso. Se observan álamos en las márgenes que evitan parte del arrastre. En esta zona por la proximidad a las sierras se ven algunos cultivos con medidas de protección, específicamente con curvas de nivel. Las pendientes medias son del 12%. El área se encuentra en un 100% con cobertura herbácea. El suelo es un Argiudol típico profundo bien drenado.

PERFIL 6:

Este perfil se encuentra ubicado en la naciente del A° del Barril en la Eª. Los Cuises.

El paisaje es pedemontano con suaves ondulaciones y pendientes entre 5% y 10% .

Las laderas de las nacientes del A° del Barril tienen exposición S, presentando vegetación natural herbácea con un 25% de cobertura. La parte de menores pendientes se halla cultivada.

El suelo de esta zona es un Argiudol típico, somero, inclinado, de permeabilidad moderadamente rápida, con buena infiltración. No se observa tosca en superficie.

PERFIL 7 y 8:

Caracteriza el área la presencia de una gran cantidad de arbustos (*Ulex europeus*). Los mismos se extienden unos 200 mts ladera arriba. El lecho seco presenta rocas grandes. El suelo de la zona es Argiudol típico profundo permeable. Se destaca erosión en laderas.

PERFIL 9 :

Este perfil se encuentra ubicado en la naciente del A° San Juan.

El relieve es serrano con un pedemonte ondulado.

Las pendientes en esta zona son del 8% al 10% y la exposición es SW.

Las laderas de la sierra están cubiertas en un 50% por vegetación natural y la planicie se encuentra cultivada en su totalidad. Se encontraron arbustos en la margen del cauce.

Los suelos están formados por asociaciones de Argiudol típico, Haplustol típico inclinado, Argiudol ácuico, Argiudol típico somero inclinado, Hapludol lítico y Haplustoles típicos con rocosidad.

PERFIL 10:

El perfil se levanta en la confluencia del A° de La Ventana con el A° San Juan. El lecho presenta acarreo de rodados pequeños. Se observa erosión en el margen aunque existen árboles implantados. Toda la zona presenta montes implantados con distintas especies exóticas. El suelo es un Haplustol típico con rocosidad asociado con Argiudol típico, ambos con buen drenaje.

PERFIL 11:

El curso es sinuoso, la planicie de inundación está cubierta por pastos y cultivos. El suelo es un Haplustol lítico con Argiudol típico somero inclinado.

PERFIL 12:

Situado a 250 mts aguas arriba del vado del A° de La Ventana. Sobre la margen izquierda se evidencia erosión, manifestada con alambrados flotantes. En la zona adyacente a las márgenes se observan claros en la cobertura vegetal con afloramientos de tosca.

El área de cultivo presenta suelos profundos, bien drenados, y es un Argiudol típico.

PERFIL 13:

Este perfil se levanto al pie de la sierra, el curso tiene rocas diferentes dimensiones, predominando las de gran tamaño. Hay vegetación herbácea natural y se realiza ganadería en toda la zona.

El suelo es una asociación de Hapludol lítico con rocas y Hapludol lítico somero.

PERFIL 14:

Es una zona abierta con la planicie de inundación extensa, cubierta de rocas. Hay poca vegetación natural y en los alrededores se practican cultivos extensivos. Sobre una de las márgenes se ven zonas quemadas. Se observan también restos de una antigua obra de arte.

PERFIL 15:

Ubicado en la naciente del A° de La Ventana, se caracteriza por la abundancia de rocas de grandes diámetros (> 80cm), acompañado de rodados de diferentes tamaños. En la zona predomina el paisaje serrano, laderas pronunciadas con vegetación herbácea y rocas desnuda. Se destacan plantaciones de Pino en las altas laderas y su posterior regeneración natural luego de un incendio forestal.

PERFIL 16:

Zona de confluencia del A° Sauce Chico y el de La Ventana. Presenta una de las márgenes con barrancas elevadas y con profundas cárcavas. La planicie de inundación está cubierta

por vegetación herbácea y arbórea (*Chañar*). En las subyacencias se realizan cultivos anuales extensivos, ganadería y apicultura.

PERFIL 17:

Este perfil se encuentra ubicado sobre el A° Sauce Chico, a 500 m de la ruta 33.

El relieve es llano con pequeñas ondulaciones y pendientes del orden del 1%.

La vegetación natural es escasa ya que toda la superficie se halla cultivada.

Se ve también ganado vacuno manejado en potreros con pasturas implantadas.

El suelo es una asociación de Argiudol típico y Argiudol típico somero con buena permeabilidad y profundidad.

4.5. DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES HIDROLÓGICAS Y DEGRADACIÓN ESPECÍFICA DE LA CUENCA

4.5.1. CAUDALES LÍQUIDOS

4.5.1.1. MODELO HIDROLÓGICO HYMO.

Las tendencias de aplicación de modelos informáticos para la determinación de variables hidrológicas ha proporcionado una gran ayuda para la obtención de las mismas (Moreira Madueño, 1991; López Cadenas de Llano, 1998).

En este trabajo se utilizó el modelo determinístico matemático que simula un sistema hidrológico ante un fenómeno de lluvia - escorrentía HYMO (INCYTH, 1984; Mintegui Aguirre - López Unzú, 1990).

El modelo se lo puede clasificar como: conceptual, lineal, de parámetros conceptuales, de eventos aislados o discreto, invariable en el tiempo y de caja negra.

Se lo considera *conceptual* porque en todas las operaciones hidrológicas que realiza están presentes las interacciones de todos los factores físicos que intervienen; *lineal* porque en todos los fenómenos hidrológicos que simula utiliza las propiedades de proporcionalidad y de superposición lineal de los parámetros. *De parámetros conceptuales*, significa que trata a la subcuenca como única unidad, es decir los parámetros utilizados están representados

por valores promedios, sin variar de un punto al otro. Se considera *de eventos aislados o discreto*, ya que no tiene capacidad de variar el contenido de humedad edáfica entre precipitaciones sucesivas, además los parámetros se consideran *invariable en el tiempo*. Otra característica de importancia es que funciona como *caja negra*, porque son presentados los resultados de la simulación sin que aparezcan los resultados de los cálculos intermedios (INCYTH, 1984).

Está desarrollado para cuencas pluviales de hasta 2500 km², con o sin datos de aforo de caudales. Dicho modelo está altamente relacionado con la calidad de los datos de entrada (input). Para la aplicación de dicho modelo se recurrió a la división de la cuenca en subcuencas.

La calibración del modelo HYMO se realizó en base a características de cada subcuenca, a una curva de masa de lluvia general para toda la cuenca y al Coeficiente de Rugosidad de Manning para cada corte transversal sobre cursos de agua.

Para la modelización hidrológica de la cuenca Alta del A° Sauce Chico, se efectuaron las siguientes operaciones: Cálculo de los hidrogramas por subcuenca, suma de hidrogramas, cálculo de curvas de aforo, cálculo del tiempo de traslado sobre el cauce principal, traslado del hidrograma en el cauce principal y representación gráfica de los hidrogramas (López Cadenas de Llano, 1998).

El cálculo del hidrograma se obtiene a partir de una formulación matemática del Hidrograma Unitario Sintético que contiene el software del HYMO, cuyos datos de entrada (input) son los siguientes:

- ✓ Área de cada subcuenca (km²) (A)
- ✓ Incremento de tiempo de la curva de masa de lluvia (horas) (DT)
- ✓ Número de curva (CN)
- ✓ Diferencia de elevación entre el punto más alejado de la cuenca y el punto de obtención del hidrograma, ambos medidos sobre el cauce principal (m) (HT)
- ✓ Longitud del cauce principal (km) (L)
- ✓ Curva de masa de lluvia media sobre la cuenca (mm) a determinado intervalo de tiempo

Para el cálculo de las curvas de aforo, se trabaja con la Ecuación de Manning, donde se introducen datos como:

- ✓ Elevación mínima de la sección transversal de cada subcuenca (m) (ELMIN)
- ✓ Elevación máxima de la sección transversal de cada subcuenca (m) (ELMAX)
- ✓ Pendiente del cauce (m/m) (SC)
- ✓ Pendiente de la planicie inundable (m/m) (SP)
- ✓ Coeficiente de Rugosidad de Manning (n) para cada corte transversal sobre los cursos de agua y distancia (m) desde el punto que tome como origen de coordenadas de la sección hasta donde termina el segmento vertical que tiene el valor de n.
- ✓ Coordenadas de distancia (m) y elevación o cota (m) de la sección antes mencionada.

La mayoría de los datos de entrada al programa fueron obtenidos por medio del S.I.G. IDRISI y del software AutoCAD para vectores, a partir de cartas topográficas y perfiles del curso de agua correspondiente a cada U.M.G. tomados a campo y anteriormente detallados.

Con respecto a la obtención del valor de CN (Número de Curva), este se obtuvo a partir del tipo de suelo de cada subcuenca, de la cubierta vegetal, de los tratamientos culturales presentes, de la condición de infiltración y del comportamiento hidrológico del suelo, para lo cual también se ha confeccionado la cartografía correspondiente (IDRISI for Windows, 1997).

Este método se basa en que las combinaciones semejantes de suelo-vegetación, responderán en forma análoga bajo una tormenta de intensidad apreciable (Mintegui Aguirre - López Unzú, 1990; López Cadenas de Llano, 1998).

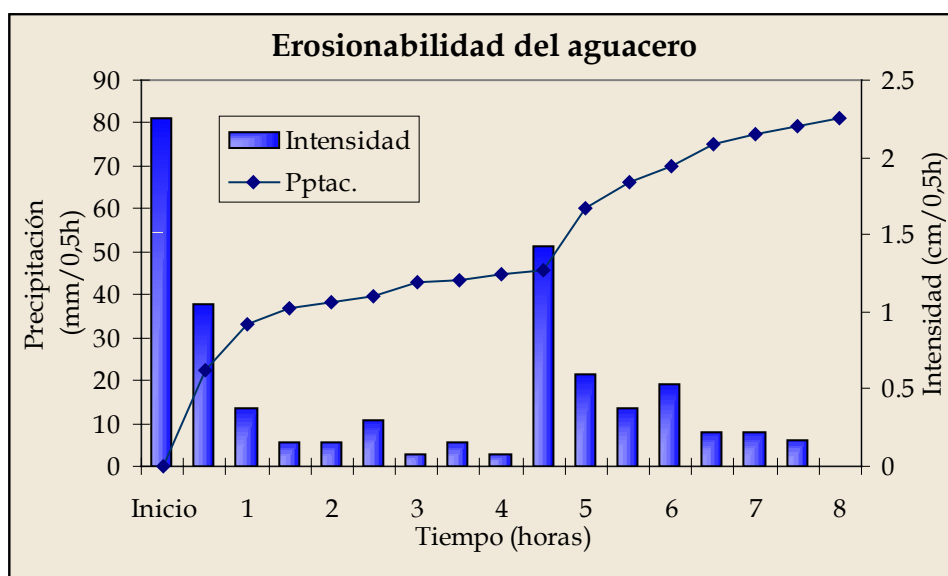
Cuadro 1: Datos para el Modelo Hidrológico HYMO.

Nombre de la U.M.G.	Area (km ²)	Número de Curva	Desnivel (mts)	Longitud del curso (km)	Nombre del Arroyo
1	106.89	89	400	23.4672	Naciente Sauce Chico
2	35.26	78	250	13.1174	Del Barril
3	35.69	77	650	13.6986	San Juan
4	76.74	88	700	17.1498	Naciente La Ventana
5	52.13	78	40	10.5448	Ventana
6	64.53	67	30	16.3421	Sauce Chico
Total cuenca	371.24				

La curva de masa de lluvia considerada tiene una duración total de 8 horas y una precipitación total de 81.2 mm, considerando su toma cada 30 minutos.

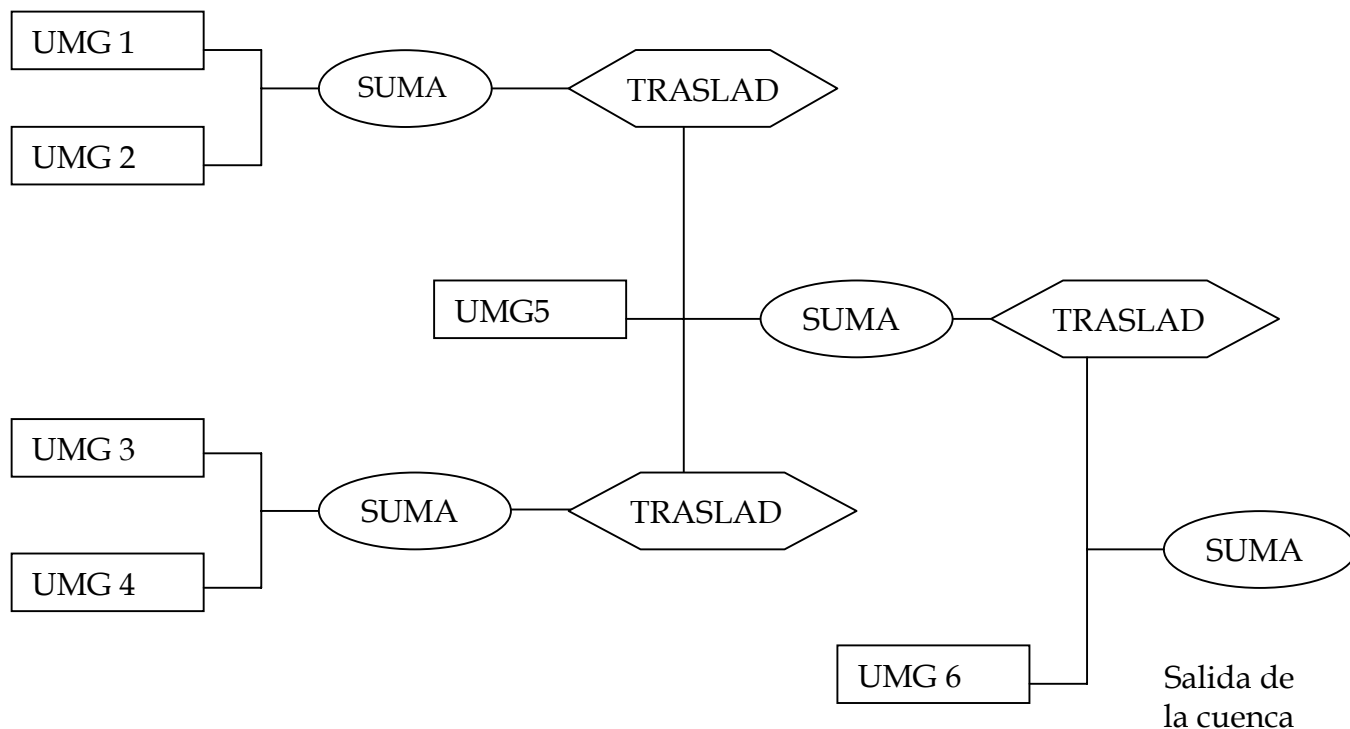
La intensidad máxima alcanzada durante toda la tormenta fue de 5,55 cm/hora durante la primer hora del aguacero. Se obtuvo un valor de E (Energía cinética total por unidad de lluvia y de superficie) de 276.442 J.cm/m² y un R (Factor de Erosión pluvial para esta tormenta) de 89.232 J.cm/m².hora (Ven Te Chow, 1964).

Gráfico 7: Grado de Erosionabilidad del aguacero considerado.



A partir de estos datos de campo y de gabinete se diseña un diagrama de blocks (Fig.2), representativo de la secuencia hídrica dentro de la cuenca y a partir del cual el modelo HYMO desarrolla una secuencia de cálculos matemáticos obteniéndose la esorrentía de cada subcuenca, el caudal pico y el tiempo al pico para la tormenta en cuestión (Anexo 2).

Fig.2: Diagrama de Blocks para la Cuenca Alta del A°Sauce Chico.



Los datos de respuesta (output) de la aplicación del modelo HYMO son los siguientes:

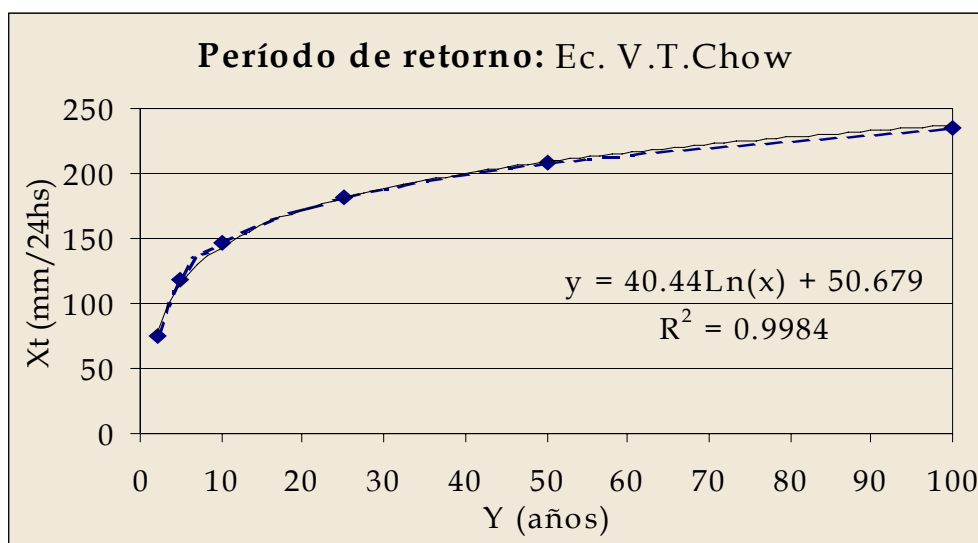
- ✓ Hidrogramas (en forma gráfica y numérica).
- ✓ Tiempo de concentración (horas)
- ✓ Caudal de escorrentía (mm - hm³)
- ✓ Caudal pico (m³/seg)

4.5.1.2. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE AGUACEROS.

La distribución de frecuencias de valores máximos de un fenómeno meteorológico depende de su naturaleza. La distribución de Gumbel (1934) ha obtenido buenos resultados para el estudio de frecuencia de valores extremos de variables meteorológicas. De tal manera que aplicándose a los valores máximos diarios de series anuales de lluvias, se han logrado ajustes muy precisos. Empleando la distribución de Gumbel, las frecuencias teóricas pueden calcularse a partir de la media y la desviación típica de valores máximos considerados en la cuenca en estudio.

La tormenta proyecto se seleccionó para un período de retorno de 10 años, según la probabilidad de ocurrencia de los aguaceros de la región. Se utilizó la Fórmula de V.T.Chow para calcular los valores extremos de precipitación (X_t) para los diferentes períodos de retorno, obteniéndose una precipitación correspondiente a 10 años con valores similares al registro que se consideró como curva de masa de lluvia real (Ven Te Chow, 1964; López Cadenas de Llano, 1998).

Gráfico 8: Representación de Probabilidad de ocurrencia de un aguacero.



4.5.2. CAUDALES SÓLIDOS

4.5.2.1. Cálculo de Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (U.S.L.E.)

Wischmeier y Meyer (1969) definieron la erosión hídrica formada por cuatro subprocesos: la disgregación del suelo por el efecto del golpe de la gota de lluvia, el transporte del suelo por salpicadura, la disgregación por escorrentía y el transporte por escorrentía.

La relación de estos cuatro subprocesos llega a definir la cantidad de acarreo por unidad de superficie, lo cual es fácil de determinar a partir de la aplicación de la *Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Universal Soil Loss Equation: U.S.L.E.)*, y por la modificación realizada por Renard (1974) y posteriormente por Williams y Berndt (1976) donde surge la vinculación con la predicción de producción de sedimentos en la *Ecuación*

Universal de Pérdida de Suelo Modificada (M.U.S.L.E.). (Moreira Madueño, 1991). Cabe señalar que actualmente se aplican modelos físicos de erosión e hidrología informatizados, como es el caso del modelo hidrológico HYMO, utilizado y adaptado en este trabajo.

Se procedió a calcular la Pérdida de Suelo por medio de la ecuación simplificada de W. H. Wischmeier y D. D. Smith (1965) y sus modificaciones, que es un modelo paramétrico para el estudio de la erosión en cuencas hidrográficas, que predice los sedimentos emitidos por la misma para un aguacero determinado (Mintegui Aguirre - López Unzú, 1990; López Cadenas de Llano, 1998).

La U.S.L.E. puede ser definida como un modelo para evaluar la erosión antrópica, debido a que es fundamental para la ordenación, tanto de los cultivos como de la vegetación natural. La finalidad de la aplicación de la misma es la previsión cuantitativa de la erosión laminar y en regüeros en superficies donde se desea actuar.

La ecuación representativa de la U.S.L.E. para una tormenta o en forma anual es la siguiente, según las diferentes unidades respectivamente:

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

A: Pérdidas de suelo (ton / ha) ó (ton / ha . año)

R: Factor de índice de erosión pluvial (J . cm / m² . h) ó (J / ha . año)

K: Factor de erosionabilidad del suelo (ton . m² . h / ha . J . cm) ó (ton / J)

L: Factor de longitud de pendiente

S: Factor de pendiente

C: Factor de ordenación de cultivos

P: Factor de control de la erosión mediante prácticas de cultivo

La determinación del valor de cada variable siguió la metodología que se describe a continuación.

Índice de erosión pluvial (R)

La erosividad es la capacidad potencial de la lluvia para provocar erosión en función de las características físicas de la lluvia (Rojas y Conde, 1985; Moreira Madueño, 1991)

La mayor energía cinética es desprendida por el impacto de la gota de lluvia y no por la escorrentía en sí; es decir que un valor en la escala de la **erosividad** depende, exclusivamente, de las propiedades de la lluvia y es independiente del suelo.

Wischmeier y Smith (Vich, 1989; Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990) comprobaron que el mejor parámetro para medir la erosividad fue la medida compuesta que resulta de multiplicar E.C. (energía cinética) de la tormenta por la intensidad máxima en 30 minutos de esa misma tormenta.

Este índice se denomina EI30 y se representa según la siguiente ecuación:

$$EI30 = [(210.2 + 89 \log I) \times (I \times T)] \times I30$$

$[(210.2 + 89 \log I) \times (I \times T)]$: Energía cinética del aguacero (J / m²)

$(210.2 + 89 \log I)$: E.C. del aguacero de intensidad I por cm de lluvia y por m² de superficie (J / cm . m²)

I: Intensidad del aguacero (cm / hs)

T: Duración del aguacero (hs)

I30: Máxima intensidad de la lluvia en 30 minutos, durante el aguacero.

En consecuencia el valor del índice de erosión pluvial, R, se define por la ecuación:

$$R = \Sigma [(210.2 + 89 \log I_i) \times (I_i \times T_i)] \times I30 / 100$$

$$R = EI30 / 100 \quad (\text{J cm} / \text{m}^2 \text{ hs})$$

Ti: Período de tiempo para intervalos homogéneos de lluvia durante el aguacero (hs)

Ii: Intensidad del aguacero para el mismo período (cm / hs)

El factor R se obtuvo de promediar los valores de 20 años. Se comprobó la ausencia de una cantidad suficiente de fajas pluviográficas, lo cual dificultó la tarea. Por lo tanto los valores de R obtenidos en general son subestimados, razón por la que se debió recurrir a un método estadístico para su corrección.

Se supuso que el EI30 de tormentas individuales era proporcional a la lluvia caída, dato disponible a través de los registros pluviométricos, por lo tanto se toma como estimados a la variable auxiliar de lluvia caída bajo la forma de cociente. A partir de series pluviométricas se comprobó una estrecha correlación entre el producto del total de precipitación de una tormenta por la intensidad máxima en 30 minutos, y el EI30 de esa misma tormenta.

La tormenta (mm /0.5 hora) registrada como dato base (Gráfico 7) fue la siguiente: 0 - 22.5 - 33 - 36.75 - 38.25 - 39.75 - 42.75 - 43.5 - 45 - 45.75 - 60 - 66 - 69.75 - 75 - 77.25 - 79.5 - 81.2 , con una duración total de 8 horas, una E.C. de 276,442 J /cm . m², una I30 de 5.55 cm / hs.

Para la determinación de $(210.2 + 89 \log I)$ se aplicó la fórmula anterior y además se corroboraron datos con la utilización de la tabla aportada por Wischmeier, en función de los diferentes valores de I (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; Kirkby y Morgan, 1994; López Cadenas de Llano, 1998).

Con estos datos se obtuvo un valor de potencialidad erosiva de la lluvia estudiada, obteniéndose un factor R de 89.232 J. cm / m² .hs., cuya tormenta también es la misma que fue considerada para la determinación de caudales líquidos.

Dada la complejidad del cálculo para ser aplicado a todas las tormentas de un año, a la falta de información y sus costos, se recurrió a diversos procedimientos para su determinación, en su mayoría análisis de regresión donde las variables resultan fácilmente obtenibles.

En la región centro-oeste de Argentina, al valor de potencialidad erosiva anual fue desarrollado mediante la metodología descrita en el trabajo de Rojas y Conde (1985), donde mapifican el valor de R a partir de isolíneas de Índice de erosión pluvial para la Provincia de Buenos Aires, dando un valor aproximado en la región de estudio de 296 J/ha. año, en la localidad de Coronel Suárez, en el límite norte de la cuenca.

Para determinar el valor de R anual para diferentes localidades dentro de la misma región, presentan un método según la siguiente fórmula:

$$R = 137.95 + 0.0001533 \times A$$

A: I30 (mm) x Pptac.máx diaria (mm) x Pptac. media anual (mm)

Para la cuenca en estudio se obtiene un valor de R anual de 289.65 J/ha.x año, con el cual se realizó el mapa del factor R de Índice de erosión pluvial (Anexo 5, Diapositiva 11) (IDRISI for Windows, 1997).

Factor de erosionabilidad del suelo (K)

Este factor expresa la incidencia de las características intrínsecas del suelo en relación a las posibles pérdidas que en el mismo se produzcan por erosión hídrica, es decir designa la susceptibilidad de un suelo ha ser erosionado, cuando los factores topográfico, de ordenación de cultivos y el de control de la erosión mediante prácticas de cultivo permanecen constantes.

El mismo refleja la acción combinada de diferentes propiedades del suelo, como la infiltración, permeabilidad, contenido de materia orgánica, textura y estructura (Vich, 1989).

La determinación de K (ton. m² hora / ha. J. cm.) es individual para cada U.M.G. y su valor fue determinado a partir de muestras de suelos levantadas para cada unidad de manejo considerada, en los sitios representativos y detallados con anterioridad como perfiles transversales.

La notación para la obtención del factor K se detalla a partir de la siguiente fórmula (Wischmeier et al, 1971; Mintegui Aguirre et al., 1986; Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990;):

$$100 K = 10^{-4} \times 2,71 \times M^{1,14} \times (12 - a) + 4,20 \times (b-2) + 3,23 \times (c-3)$$

Donde:

M: Producto del porcentaje de partículas entre 0.002 - 0.1 mm. (%) y porcentaje de partículas entre 0.002 - 2.0 mm. (%) * en la muestra.

* Porcentaje de partículas entre 0.002 - 2.0 mm. (%) = (100 - porcentaje de arcilla (%))

$$M: (\% \text{ limo} + \% \text{ arena fina} + \% \text{ arena muy fina}) \times (100 - \% \text{ arcilla})$$

a: Porcentaje de materia orgánica (%).

a: (% Carbono x 1,724)

b: Número de estructura del suelo, codificado de la siguiente manera:

1. Gránulo muy fino y grumo muy fino (< 1 mm).
2. Gránulo fino y grumo medio (1 - 2 mm).
3. Gránulo medio, grumo medio (2 - 5 mm) y gránulo grueso (5 - 10 mm).
4. Gránulo liso, prismático columnar y muy grueso (> 10 mm).

c : Clase de permeabilidad del perfil del suelo según USDA-Soil Survey Manual:

1. Rápida o muy rápida.
2. Moderadamente rápida.
3. Moderada.
4. Moderadamente lenta.
5. Lenta.
6. Muy lenta.

Los valores de **M**, **a** y **b** se tomaron de los 15 a 20 cm superiores del perfil edáfico. (López F., 1982; Mintegui Aguirre - López Unzú, 1990; López Cadenas de Llano, 1998).

En cuanto a la aplicación de la fórmula se clasificó la cuenca en grupos litológicos-geológicos y edáficos, y para la obtención final del factor K, los datos base fueron determinados y calculados en base a los muestras de suelo recopiladas en los perfiles edáficos que corresponden a la cuenca en estudio, para lo cual se elaboró una base de datos de uso informático para que pueda ser utilizada por el Sistema de Información Geográfica IDRISI (ver anexo) (Harrington, H. 1947; INTA-Castelar, 1989; Microsoft Access, 1997). También se han elaborado las cartografías correspondientes (IDRISI for Windows, 1997; AutoCad Release 14, 1997).

El valor de K dentro de la cuenca varía desde 0.181 hasta 0.466 (ton. m² hora / ha. J. cm.) según el sitio que se desee consultar con un Sistema de Información Geográfica. Cabe destacar que la erodabilidad del suelo en la cuenca Alta del Arroyo Sauce Chico es baja según los valores estipulados por Wischmeier (1971). La representación del mismo se

percibe en el Mapa del Factor de Erodabilidad del Suelo (K) (Anexo 5, Diapositiva 12) (AutoCad Release 14, 1997; Eastman, 1997; IDRISI for Windows, 1997).

Con la ecuación anteriormente citada (Wischmeier et al, 1971), el Soil Conservation Service de Estados Unidos, ha elaborado un nomograma y tablas para la determinación del factor K, en función de las propiedades ya citadas.

Para corroborar la tarea realizada con la aplicación de la fórmula de Wischmeier (1971) anteriormente citada, se ha implementado el uso del nomograma, el cual nos identificó iguales valores de K para las características de los suelos de la cuenca, lo cual indica la validez de los datos obtenidos (López F., 1988; Claver Farias, 1984; Vich, 1989; Moreira Madueño, 1991; García Préchac, 1992; Kirkby y Morgan, 1994; López Cadenas de Llano, 1998).

Factor de longitud de pendiente (L)

Este factor cuantifica la incidencia de la longitud de la pendiente del terreno y es adimensional.

En la práctica se define longitud de pendiente como la distancia entre el punto más alto de caída de la gota de lluvia, considerado como origen, hasta aquel en que la pendiente disminuye hasta dar comienzo a la deposición de materiales o bien la escorrentía entra a formar parte de un canal perfectamente definido (Mintegui Aguirre - López Unzú, 1990; Kirkby, 1994).

Los datos experimentales demuestran que la erosión (E) se relaciona en forma exponencial con la longitud de la pendiente (L) de la siguiente manera $E = L^m$ (donde m es una variable dependiente del grado de pendiente).

Considerando una longitud estándar de la pendiente (22.1 m) usada en la determinación del factor K, se calcula el factor de longitud de pendiente (L) a través de la siguiente fórmula:

$$L = (\text{longitud de pendiente} \times (22.1)^{-1})^m$$

Donde m tiene un rango de variación (desde 0.2 hasta 0.5) según el porcentaje de pendiente (<1% hasta >5%) respectivamente (Claver Farias et al, 1984; López F., 1988; Vich, 1989; Moreira Madueño, 1991; García Préchac, 1992; Kirkby, 1994; López Cadenas de Llano, 1998).

Para la obtención del mapa de longitud de pendiente (Anexo 5, Diapositiva 13), se utilizó el Sistema de Información Geográfica IDRISI, donde a través de un modelo de elevación digital del terreno (elaborado con el software Surfer a partir del mapa topográfico de la cuenca en estudio), se obtuvo un mapa de pendientes y consecuentemente el mapa de longitud de las mismas, por medio del operador de imágenes correspondiente con la generación de modelos de consulta y álgebra de mapas (Surfer 5.0, 1994; Eastman, 1997; IDRISI for Windows, 1997).

Factor de pendiente (S)

S es el factor de gradiente de la pendiente y es adimensional.

Está definido como el gradiente expresado en unidades de ascenso o caída vertical por unidad de distancia horizontal, o por 100 unidades de distancia horizontal cuando la pendiente es expresada en porcentaje.

Para evaluar este factor en una pendiente irregular, como es el caso de la cuenca en estudio, la misma ha sido dividida en segmentos de pendiente uniforme, con ayuda del S.I.G. IDRISI, y a partir del cual se pudo definir el factor S (Claver Farias et al, 1984; López F., 1988; Vich, 1989; Moreira Madueño, 1991; García Préchac, 1992; Kirkby, 1994; López Cadenas de Llano, 1998).

El mismo se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$S = 0.065 + 0.045 s + 0.0065 s^2$$

Donde (s) es la pendiente expresada en porcentaje.

La división de la cuenca en segmentos uniformes de pendiente porcentual, se confeccionó a través de un modelo de elevación digital del terreno (ejecutado a partir del mapa

topográfico de la cuenca con el software Surfer), donde se obtuvo un mapa de pendientes en unidades porcentuales. Por medio del operador de imágenes con la generación de modelos de consulta y álgebra de mapas se creó el mapa del Factor S de pendientes (Anexo 5, Diapositiva 14) (Surfer 5.0, 1994; Eastman, 1997; IDRISI for Windows, 1997).

Generalmente resulta conveniente trabajar con los factores L y S fusionados en un solo factor denominado Factor topográfico ($L \times S$), el cual se representa según la siguiente fórmula empírica, donde todos los términos ya han sido definidos y que sirve para establecer una buena aproximación a la influencia de ambos factores en la pérdida de suelo (López F., 1988; Vich, 1989).

$$L \times S = [(longitud \text{ de pendiente} \times (22.1)^{-1})^m] \times [0.065 + 0.045 s + 0.0065 s^2]$$

A los fines de simplificar el cálculo, Wischmeier y Smith (1978), han elaborado una tabla donde determina valores topográficos a partir de pendientes (%) y longitudes de pendientes (mts), la cual nos sirvió para confirmar los valores determinados a partir del S.I.G.. (Claver Farias, 1984; Moreira Madueño, 1991; García Préchac, 1992; Kirkby, 1994; López Cadenas de Llano, 1998).

La cartografía temática correspondiente a los valores de LxS, obtenidos con ayuda del Sistema de Información Geográfica IDRISI, fue realizada con el uso de álgebra de mapas y operadores de imágenes raster, que fueron elaboradas para cada uno de los factores en particular obteniendo como resultados los siguientes valores límites: 0.09 – 17.2 (IDRISI for Windows, 1997).

Factor de cobertura vegetal (C)

La mayor erosión posible se produce en aquellos suelos que carecen de cubierta vegetal y han sido arados impidiendo cualquier efecto de reducción de la fuerza erosiva de la lluvia. La energía de las gotas de lluvia es absorbida directamente por el suelo desnudo, en el que se forma una película superficial que facilita que el agua corra sobre él con rapidez, dando lugar al comienzo de los procesos de arrastre (Moreira Madueño, 1991).

La protección del suelo por la vegetación se debe fundamentalmente por el canopeo, cuya acción es la de disminuir la disgregación del suelo producida por el impacto de la gota de lluvia. Cuando se trata de vegetación al ras del suelo, su función es disminuir el desplazamiento de los sedimentos en la lámina de escurrimiento superficial, y con respecto a los residuos vegetales la protección la efectúan a través del impacto y propiedades físicas que le confieren al suelo cuando se incorporan al perfil.

Por lo tanto, el factor vegetación (C) es de suma importancia para estudiar el impacto de la erosión en una cuenca, y se define como la relación entre el valor medio de pérdidas de suelo en un campo cultivado o con vegetación natural y las que se pierden en una parcela experimental, en idénticas condiciones de lluvia, suelo y topografía, pero sometida a barbecho continuo (Claver Farias, 1984; López F., 1988; Mintegui Aguirre - López Unzú, 1990; Kirkby, 1994; López Cadenas de Llano, 1998).

El valor de C consignado fue fijado en el terreno para cada tipo y densidad de cobertura dentro de la cuenca. Para ello se ha considerado el uso de tablas y gráficos para diferentes tipos de especies herbáceas, forestales y prácticas de cultivos agrícolas a largo plazo, situación que permitió obtener valores de C para las condiciones particulares del medio (Wischmeier y Smith, 1978; Claver Farias, 1984; López F., 1988; Mintegui Aguirre - López Unzú, 1990; Kirkby, 1994; López Cadenas de Llano, 1998).

Para la caracterización del mismo se confeccionó una base de datos informática con las comprobaciones de campo necesarias para su corrección (Microsoft Access, 1997).

De cara a la aplicación de estos valores a la cuenca en estudio, se utilizó como base el mapa de cobertura vegetal (AutoCad Release 14, 1997; IDRISI for Windows, 1997) y los valores anuales de C medidos en parcelas experimentales de I.N.T.A. (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Paraná, Entre Ríos. Argentina) en los que se realizaron agrupaciones de los estratos vegetales en función de la similitud de los mismos en relación con la defensa que presentan al suelo frente la erosión hídrica. Posteriormente se correlacionó con la base de datos vegetal para una mayor utilidad del sistema de información geográfica.

Los mapas de vegetación fueron confeccionados en base de toma de referencias de cobertura en el terreno, vuelos fotográficos y la imagen satelital del área para interpretar la situación con mayor precisión, dando como resultado una clasificación de la cobertura

vegetal en 10 categorías. Las mismas identifican al valor de C entre los extremos 0.001 y 0.1.

El mapa temático final correspondiente al valor de C (Anexo 5, Diapositiva 15) fue confeccionado con el Sistema de Información Geográfica IDRISI, por aplicación de funciones vectoriales (AutoCad Release 14, 1997), acceso a la base de datos informática (Microsoft Access, 1997) y operadores de imágenes raster (Eastman, 1997; IDRISI for Windows, 1997).

Factor por prácticas de conservación de suelos (P)

Cuando se cultivan suelos con pendiente se requieren, generalmente, prácticas que enlentezcan el escurrimiento para disminuir la erosión. Las más importantes de esas prácticas son laboreo en contorno, cultivos en fajas y los sistemas de terrazas. El factor P es la relación entre las pérdidas de suelo con alguna de esas prácticas en relación a las producidas en presencia de laboreo a favor de la pendiente, siendo los factores de suelo, topografía, vegetación y lluvia iguales en ambas situaciones.

Para identificar el tipo de prácticas de conservación de suelos, se han utilizado tablas confeccionadas para diferentes tipos medidas de protección según la pendiente del terreno. Estas han sido tomadas como valores a largo plazo, permitiendo obtener valores de P para las condiciones particulares de la cuenca (Wischmeier y Smith, 1978; Claver Farias, 1984; López F., 1988; Mintegui Aguirre - López Unzú, 1990; Kirkby, 1994; López Cadenas de Llano, 1998).

Las prácticas de conservación se han establecido y delimitado por toma de datos a campo y fotointerpretación. Posteriormente se ha digitalizado su apariencia en la cartografía correspondiente, para obtener el mapa del Factor P (AutoCad Release 14, 1997; IDRISI for Windows, 1997).

Dicho mapa solo consta de dos categorías temáticas, una donde se están realizando prácticas de laboreo en contorno y la otra clase donde no se ejecutan tareas de control de erosión (Anexo 5, Diapositiva 16).

4.5.2.2. Cálculo de Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Modificada (M.U.S.L.E.)

La emisión de sedimentos producida por un aguacero en las unidades hidrológicas de la cuenca se determina a partir de la ecuación M.U.S.L.E. (*Modified Universal Soil Loss Equation*) (Mintegui Aguirre - López Unzú, 1990; López Cadenas de Llano, 1998).

Esta ecuación determina la cantidad de toneladas de suelo, sedimentos, que sale fuera de la cuenca durante un evento concreto de determinada intensidad, y se establece a partir de la siguiente expresión matemática:

$$Y = 11,8 \times (Q \times q_p)^{0,56} \times K \times L \times S \times C \times P$$

Y: Sedimentos emitidos por una tormenta aislada (ton)

Q: Volumen de esorrentía (m³)

q_p: Caudal instantáneo máximo (m³/seg)

Los parámetros **K**, **L**, **S**, **C** y **P** son los que se determinaron para la aplicación de la ecuación U.S.L.E..

Los parámetros hidrológicos considerados, volumen de esorrentía (m³) y caudal instantáneo máximo (m³/seg), establecen el flujo de esorrentía en el proceso erosivo, es decir la capacidad de transporte del flujo generado en la cuenca.

Los mismos se obtuvieron con la aplicación del Modelo hidrológico HYMO, con datos pluviométricos aportados por estaciones meteorológicas ubicadas en la región, procedimiento detallado en la metodología de determinación de caudales líquidos (Punto 4.5.1.).

Al considerar una cuenca de gran superficie y subdividirla en subcuencas de integración, donde a cada una de las cuales se le determinó un valor de Q y q_p, se arribó a determinar el valor de Y para cada una de estas unidades.

La cartografía correspondiente al valor de Y fue confeccionado a partir del empleo del S.I.G. IDRISI, con el empleo de funciones vectoriales (AutoCad Release 14, 1997), acceso a la base de datos informática (Microsoft Access, 1997) y operadores de imágenes raster (Eastman, 1997; IDRISI for Windows, 1997).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

5.1. MAPAS TEMÁTICOS.

La utilización de un Sistema de Información Geográfica para la ordenación hidrológica de una cuenca, requiere que se consideren diversos aspectos antes de comenzar con el ingreso de datos al sistema. Definidos los objetivos y metas que se desean alcanzar en el análisis, y especificadas las capas temáticas necesarias para satisfacer dichos objetivos, debe averiguarse si dichos datos existen, y de no ser así, se tendrá que determinar una metodología para su captación. También hay que definir la resolución de trabajo, la escala de datos, el sistema de coordenadas de referencia y los límites geográficos del área a estudiar. Es decir todas las capas temáticas deben estar homogeneizadas para poder seleccionar de manera adecuada la ventana de trabajo en escala y proyección de coordenadas elegidas e ingresadas al S.I.G. (Anexo 4 y 5).

Los datos ingresados al S.I.G. pueden ser tabulares (base de datos), imágenes satelitales o fotografías aéreas, mapas de papel y datos digitales, todos ordenados espacialmente. (Agar Valverde, 1984; ESRI, 1994; López Cadenas de Llano, 1998).

Estos datos deben llevar un formato informático determinado, por medio de su digitalización e ingreso a la base informática de referencia, para poder ser utilizados por el S.I.G., denominando según el tipo en formato de ingreso en vectorial, raster y formato tabular de características cuali-cuantitativas (IDRISI, 1997).

En la cuenca Alta del A° Sauce Chico, para los archivos de trabajo tanto vectoriales, raster y tabulares para ser integrados al S.I.G., se consideró una escala de trabajo basada en el Sistema de Coordenadas Cartográficas Gaüss-Kruger (Anexo 1) y en una grilla de coordenadas planas integradas por columnas y filas gráficas (Müller, 1953; IDRISI, 1997).

La representación cartográfica de la cuenca expresada en coordenadas Gaüss-Kruger tiene los límites, con distanciamiento en kilómetros, de:

X mínimo: 4560 km.

X máximo: 4590 km.

Y mínimo: 5782 km.

Y máxima: 5842 km.

y en la grilla de columnas - filas la grilla de trabajo está referenciada y homogeneizada con la anterior bajo la siguiente estructura:

cantidad de columnas: 756

cantidad de filas: 770

dando como resultado capas temáticas de 30 km por 30 km. de lado según Gaus-Kruger y representado en coordenadas X-Y de igual orientación que las columnas - filas de coordenadas planas en la grilla, respectivamente.

Se denomina píxel (elemento pictórico) estrictamente, a una porción pequeña de un dispositivo de visualización raster (IDRISI, 1997).

Considerando que la grilla está compuesta por dichas unidades gráficas, entonces cada mapa está compuesto por un total de 582.120 pixels (uno por cada columna y fila), determinando de esta manera que el tamaño de cada uno de los pixels que ocupan la grilla sobre el eje X mide 39.68 metros y sobre el eje Y mide 38.96 metros (según Coordenadas Gaus-Kruger) (Müller, 1953).

5.1.1. MAPAS DE PRIMER ORDEN.

Topográfico y de drenaje:

Estos mapas fueron obtenidos a partir de la consulta al Plano Catastral Rural cuyas hojas corresponden al 3963-5-2 y 3963-35-4, escala 1:25.000 (Dirección Provincial de Catastro, 1990); de las Cartas Topográficas de Tornquist (Hoja 3963-5-2) y de Estancia Gran Chaco (Hoja 3763-35-4), ambas a escala 1:50.000 (Instituto Geográfico Militar, 1970) y de las Cartas Topográficas de Tornquist (Hoja 3963-5) y de Saavedra (Hoja 3763-35) a escala 1:100.000 (Instituto Geográfico Militar, 1982) (Anexo 4).

Sobre dicha cartografía se ha delimitado la cuenca en estudio y digitalizado para obtener la base de datos espacial - temática para el sistema de representación cartográfica inicial. Este sistema permite la transformación a formato digital de los mapas existentes en papel, pasando a formar la base de datos mencionada (Anexo 5, Diapositivas 2 y 3).

La tarea de digitalización topográfica-catastral de la cuenca se ha realizado con el diseño asistido por ordenador (CAD) con el software AutoCAD 14 (1997), posteriormente con el IDRISI for Windows (1997) se ha realizado la composición cartográfica en pantalla con formato raster-vectorial, con diferentes capas de información, diseño y localización de elementos del mapa (escala gráfica, orientación, etc..) y diseño de símbolos y colores.

La escala vertical topográfica (Z) de digitalización ha sido de 10 metros de equidistancia (ΔH), considerando un desnivel de aproximadamente 800 metros (200 mts. en la salida de la cuenca hasta 1000 mts. sobre el pico más alto de la misma).

A partir de este mapa se obtuvo un **modelo digital de terreno (D.T.M.)** (Anexo 5, Diapositivas 4 y 5), **un mapa raster de orientación de ladera** y **un mapa de aspecto** calculado a partir de las pendientes y orientaciones, y generando una imagen de iluminación del relieve. También se elaboró una imagen raster ortogonal del terreno a partir del cual se obtuvo el **mapa de dirección del flujo de agua según ángulos de ladera**.

Con la cartografía topográfica, del modelo digital del terreno y del mapa de drenaje y la implementación del Sistema de Información Geográfica IDRISI se determinó el límite de la cuenca de drenaje cuyas celdas objetivo estén situadas dentro de la superficie topográfica. Para ello se analizó la imagen de orientación de esta superficie, y de esta manera decidir si una celda pertenece a la cuenca de drenaje o está fuera de ella. Esta evaluación se debe a la dirección de flujo a partir de la imagen de orientación, que determina si fluye en la cuenca de drenaje de una celda determinada (Surfer 5.0, 1994; Eastman, 1997; IDRISI for Windows, 1997).

Pendiente y de Orientación de ladera:

A partir del mapa topográfico vectorial de la cuenca en estudio, se obtuvo el modelo de elevación digital del terreno (D.T.M.) en tres dimensiones (x, y, z) en formato raster, elaborado con el software Surfer (Surfer 5.0, 1994; AutoCAD, 1997) y luego rectificado y corroborado con el IDRISI for Windows (1997) (Anexo 4).

Se empleó el Sistema de Información Geográfica IDRISI (1997), para la obtención del **mapa de pendiente porcentual** y **el mapa de pendiente gradual**. Posteriormente el mapa fue reclasificado por medio del operador de imágenes correspondiente, para la obtención final del **mapa de rangos porcentuales de pendiente** (Anexo 5, Diapositiva 7) (Eastman, 1997; IDRISI for Windows, 1997).

Los rangos porcentuales de pendiente (Cuadro 2) que se han considerado como adecuados para distinguir las diferentes categorías del terreno, basados en los desniveles observados en la cartografía topográfica confeccionada con anterioridad (Instituto Geográfico Militar, 1970), son los detallados con su referencia de superficie ocupada dentro de la cuenca en estudio.

Cuadro 2: Rangos porcentuales de pendiente en la cuenca.

Identificación del rango	Rango de pendiente (%)	Superficie ocupada (km ²)
A	< 1	116.43
B	1 - 3	85.22
C	3 - 8	90.14
D	8 - 15	41.04
E	15 - 30	22.24
F	> 30	16.17

Esta clasificación responde a los criterios seguidos por el Soil Conservation Service U.S.D.A. para la clasificación de pendientes.

El **mapa de orientación de laderas**, como mencionamos anteriormente, es generado a partir del mapa de pendiente y obteniendo una imagen de iluminación del relieve a partir del modelo digital del terreno, siempre teniendo como referencia el norte geográfico de la imagen de referencia (Anexo 5, Diapositiva 6).

También se obtuvo el **mapa de longitud de pendientes**, que se utilizó para la aplicación del factor topográfico, y el **mapa de longitud de pendientes acumuladas**.

Relevamiento de la cobertura vegetal y uso del suelo:

Este mapa es el resultado de las observaciones a campo y lectura de las fotografías aéreas e imagen satelital del área en estudio (Anexo 5, Diapositiva 8) (Fotografías Aéreas, 1961 y 1995; Imagen Satelital LANDSAT TM 226/86, 1986) (Anexo 4).

Dichos datos fueron digitalizados en forma vectorial y luego rasterizados para obtener el mapa caracterizado por diez clases de vegetación y uso del suelo (Frangi y Bottino, 1995; AutoCAD, 1997; Eastman, 1997; IDRISI for Windows, 1997).

Cuadro 3: Relevamiento de la cobertura vegetal y uso del suelo y su ocupación territorial.

Clase	Vegetación y Uso del suelo	Superficie ocupada (has)	(%)
1.	Cubierta inapreciable e improductivo;	827.46	2.23
2.	25 % de cobertura herbácea;	1219.77	3.28
3.	50 % de cobertura herbácea;	2727.28	7.34
4.	75 % de cobertura herbácea;	10585.18	28.51
5.	Matorral;	1361.94	3.67
6.	Forestación ribereña y natural;	837.37	2.25

Clase	Vegetación y Uso del suelo	Superficie ocupada (has)	(%)
7.	Forestación implantada;	38.98	0.10
8.	Pasturas;	11012.45	29.67
9.	Cultivos con medidas de conservación;	7576.36	20.41
10.	Cultivos sin medidas de conservación.	937.18	2.54

Para la interpretación informática de la imagen satelital con el mapa respectivo y su correlación con la cobertura vegetal, se realizó la superposición de ambas con el modelo digital del terreno (D.T.M.) el cual nos permitió confirmar la distribución ortogonal de la vegetación en la cuenca, según altitud y exposición de ladera por el **mapa de distribución ortogonal de la cobertura vegetal** (Anexo 5, Diapositivas 6 y 10) (Eastman, 1997; IDRISI for Windows, 1997).

Litofacies o Geológico:

La cartografía temática litológica se obtuvo de explorar la Carta Geológica-Económica de la República Argentina de Sierra de la Ventana - Provincia de Buenos Aires (Hoja: 34 m.) a esc. 1:200.000 (Harrington, 1946) y la Explicación de la cartas geológicas 33 m (Sierra de Cura Malal) y 34 m (Sierra de la Ventana) de la Prov. Bs.As. de la Dirección de Minería y Geología (Harrington, 1947). Toda esta información cartográfica fue complementada con información bibliográfica de tipo litológica y sedimentológica de la zona (Bonorino y Teruggi, 1961; Tricart, 1973; Fidalgo et al, 1975) (Anexo 4).

Dicha cartografía fue digitalizada y luego rasterizados para obtener el mapa caracterizado por siete clases litológicas (AutoCAD, 1997; Eastman, 1997; IDRISI for Windows, 1997), dato base y fundamental para la caracterización de la condición de infiltración en los complejos hidrológicos de tierras para obtener el número de curva de escorrentía en cada subcuenca (Mintegui Aguirre - López Unzú, 1990).

Edafológico:

La digitalización del mapa edafológico o de suelos fue el resultado de la toma de muestras de suelos en el terreno en sitios característicos e identificatorios de diversidad edafológica.

Estas muestras fueron ingresadas a una base de datos para tal fin y donde se evaluó diferentes aspectos integrales de las mismas.

También se efectuó una exploración y homogeneidad geográfica de la cuenca en la cartografía base de la Carta de Suelo de Santa Rosa, Provincia de Buenos Aires a esc. 1:500.000 (Hoja 3763) (INTA-Castelar, 1989) , sobre la Descripción de Cartas de Suelo de la Provincia de Buenos Aires en la misma escala (INTA-Castelar, 1989) y del Plano Catastral Rural-Edafológico, hojas 3963-35-4 y 3963-5-2, a escala 1:25.000 (Dirección Provincial de Catastro - M.E., 1990) y a partir de estudios de investigación edafológica realizados en la zona en estudio (Lores, 1979) (Anexo 4).

De dicha tarea se han representado en forma vectorial y luego rasterizado todas las cualidades y atributos temáticos correspondientes a los diferentes suelos presentes en la cuenca, obteniéndose un mapa final caracterizado por 13 clases diferentes de suelos en la cuenca (Anexo 5, Diapositiva 9) (AutoCAD, 1997; Eastman, 1997; IDRISI for Windows, 1997).

Mapa de volumen de escorrentía (Q) y Mapa de caudal instantáneo máximo (q_p):

Estos mapas son base para la determinación de Caudales Líquidos, los cuales se obtuvieron por aplicación del Modelo Hidrológico HYMO (INCYTH, 1984; Mintegui Aguirre - López Unzú, 1990; Moreira Madueño, 1991; AutoCAD, 1997; Eastman, 1997; IDRISI for Windows, 1997; López Cadenas de Llano, 1998) (Anexo 4).

5.1.2. MAPAS DE SEGUNDO ORDEN.

Grupos hidrológicos o de infiltración:

Mapa obtenido como producto de la superposición de los mapas de litofacies, el edafológico con el mapa de pendiente. Con dicha cartografía se derivó a identificar las diferentes condiciones de infiltración dentro de la cuenca o mejor dicho los diferentes comportamientos físicos del perfil edáfico frente a una tormenta (Mintegui Aguirre, 1986; López Cadenas de Llano y Mintegui Aguirre, 1987; Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; Eastman, 1997; IDRISI for Windows, 1997) (Anexo 4).

Número Hidrológico del Soil Conservation Service (S.C.S.):

La agrupación de las diferentes clases de cobertura vegetal (que nos representan los distintos niveles de comportamiento del agua de escorrentía en función del uso del suelo) y las agrupaciones de las distintas formas de infiltración (que pueden obtenerse a partir de los diferentes grupos hidrológicos) nos proporcionan unidades homogéneas de conducta frente a la precipitación, denominadas cada una con un Número Hidrológico (CN).

Cuadro 4: Identificación del Número Hidrológico por U.M.G..

Nombre de la U.M.G.	Superficie (km ²)	CN
1	106.89	89
2	35.26	78
3	35.69	78
4	76.74	88
5	52.13	78
6	64.53	67
Toda la cuenca	371.24	82

El mapa producido a partir de la intersección del mapa de cobertura vegetal y uso del suelo con el mapa de infiltración, anteriormente confeccionado, es el resultado del **mapa de números hidrológicos** de la cuenca (Mintegui Aguirre, 1986; López Cadenas de Llano y Mintegui Aguirre, 1987; Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990).

El mismo fue confeccionado por aplicación del Sistema de Información Geográfica IDRISI en el procesamiento de la información raster de los mapas detallados (Eastman, 1997; IDRISI for Windows, 1997).

Este mapa ha sido elaborado con el fin de identificar el número hidrológico de cada U.M.G. utilizados para obtener los valores de escorrentía, caudal pico y tiempo al pico de la cuenca, por medio de la aplicación del Modelo Hidrológico HYMO (Anexo 4).

Mapas de los factores de la U.S.L.E.:

Para determinar la pérdida de suelo en la cuenca Alta del A° Sauce Chico, se ha empleado la metodología propuesta por el Departamento de Agricultura de E.E.U.U. USDA, donde es determinada por la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (U.S.L.E.).

Para la obtención de cada uno de los factores que integran la misma, cuya descripción se ha detallado con anterioridad, se han elaborado cartografías temáticas identificatorias correspondientes (Anexo 4).

Cada uno de los seis factores han sido analizados con el S.I.G. IDRISI, obteniendo los mapas raster de la ecuación representativa de la U.S.L.E. según se detalla:

Mapa de R: Factor de índice de erosión pluvial, derivado del estudio de las lluvias regionales multianuales (Anexo 5, Diapositiva 11);

Mapa de K: Factor de erosionabilidad del suelo, obtenido a partir del mapa edafológico (Anexo 5, Diapositiva 12);

Mapa de L: Factor de longitud de pendiente, elaborado con el mapa topográfico y el de pendiente (Anexo 5, Diapositiva 13);

Mapa de S: Factor de pendiente, generado por el mapa de pendiente (Anexo 5, Diapositiva 14);

Mapa de C: Factor de ordenación de cultivos, a partir del mapa de vegetación y uso del suelo y el de pendiente (Anexo 5, Diapositiva 15);

Mapa de P: Factor de control de la erosión mediante prácticas de cultivo, resultado del mapa de vegetación y uso del suelo (Anexo 5, Diapositiva 16).

5.1.3. MAPAS DE TERCER ORDEN

Mapa de Pérdidas de suelo según la U.S.L.E.:

Para la obtención del mapa final de A (de Pérdidas de suelo) se ha empleado la representación raster - espacial de cada factor integrante de la ecuación (Mapa de R, de K, de L, de S, de C y de P), como capas temáticas, y el conjunto de herramientas del S.I.G. IDRISI correspondientes a la combinación matemática y álgebra de las capas temáticas definidas (Anexo 4).

Para ilustrar el álgebra de mapas consideremos la obtención de la pérdida de suelos en la cuenca, es decir generar un resultado final compuesto, por medio de la aplicación de la ecuación $(R \times K \times L \times S \times C \times P)$. Como para cada factor tiene su capa temática, se procede

a multiplicar cada una de ellas por medio de la operación de superposición algebraica, y de esta manera obtener el valor deseado (A) (Eastman, 1997; IDRISI for Windows, 1997). Como mencionamos con anterioridad la Ecuación Universal de Perdida de Suelos (U.S.L.E.) viene dada por la fórmula:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (\text{T/ha} \cdot \text{año})$$

Obteniéndose a partir de esta las **actuales pérdidas reales de suelo** para esas condiciones de lluvia - edafológicas - topográficas y de vegetación y uso del suelo y en la cuenca Alta del A° Sauce Chico (Anexo 5, Diapositiva 17).

Si solo se consideran los factores:

$$A = R \times K \times L \times S \quad (\text{T/ha} \cdot \text{año})$$

se logra determinar las **pérdidas potenciales** para las mismas condiciones de lluvia, edafológicas y topográficas pero sin considerar el efecto protector de la cobertura vegetal. Para cada uno de los casos se elaboró el mapa respectivo considerando las diferencias porcentuales entre las situaciones detalladas, obteniendo una tercera situación, la de las áreas afectadas por erosión hídrica laminar (Anexo 4 y Anexo 5, Diapositiva 18).

Mapa de Sedimentos emitidos por una tormenta aislada:

La emisión de sedimentos producida por un aguacero en las unidades hidrológicas de la cuenca se determina a partir de la ecuación M.U.S.L.E., donde esta ecuación estima la cantidad de toneladas de suelo, sedimentos, que sale fuera de la cuenca durante un evento concreto de determinada intensidad. La misma es posible cartografiarla a partir de la misma expresión matemática M.U.S.L.E., donde se establece:

$$\text{Mapa de } Y = 11,8 \times [\text{Mapa de } (Q \times q_p)]^{0,56} \times [\text{Mapa de } (K \times L \times S \times C \times P)]$$

Mapa de Y: Sedimentos emitidos por una tormenta aislada;

Mapa de Q: Volumen de escorrentía, obtenido a partir del HYMO ;

Mapa de q_p : Caudal instantáneo máximo, elaborado de los resultados del HYMO.

La cartografía de los factores K, L, S, C y P es la detallada anteriormente, con la U.S.L.E..

Los parámetros hidrológicos considerados, volumen de escorrentía (m³) y caudal instantáneo máximo (m³/seg), se obtuvieron con la aplicación del Modelo hidrológico HYMO. Para cada uno de estos se obtuvo un mapa individual en cada subcuenca estudiada (Anexo 4).

El mapa final de los sedimentos emitidos por una tormenta aislada (Y) fue elaborado con herramientas algebraicas del S.I.G. IDRISI y el acceso a la base de datos informática (Microsoft Access, 1997) confeccionada para tal fin y operadores de imágenes raster (Anexo 5, Diapositiva 19) (Eastman, 1997; IDRISI for Windows, 1997).

5.2. DEGRADACIÓN ESPECÍFICA Y PÉRDIDA REAL DE LA CUENCA.

Se estima que el cálculo de Y (M.U.S.L.E.) sólo determina el aporte del 75% del total de sedimento desplazado en la cuenca. Para la obtención del valor real se aplica la siguiente fórmula:

$$Y' = 100 Y / 75 \text{ (T/año)}.$$

El concepto de Degradación Específica (DE) se define por el peso de tierra transportado fuera de la cuenca por unidad de superficie y tiempo (Anexo 5, Diapositiva 20), y se representa con la expresión:

$$DE = Y' / S \text{ (T/ha . año)}$$

Siendo S el área de las subcuenca en hectáreas.

Para determinar la Pérdida Real (PR) acaecida en la cuenca para las circunstancias detalladas por la M.U.S.L.E. (Anexo 5, Diapositiva 21), se aplican los valores obtenidos por la degradación específica y la U.S.L.E, por lo tanto:

$$PR = 100 (DE) / A.$$

siendo A el valor de la USLE para la erosión hídrica laminar real.

Como ambos datos de entrada están expresados en (T/ha . año), el valor de PR queda expresado en porcentaje, dando como resultado por subcuenca de la siguiente manera:

Cuadro 5: Porcentaje de Pérdida Real por subcuenca.

SUBCUENCA	Pérdida Real (PR) %
1. Nac. A° Sauce Chico	56.25
2. A° Barril	33.54
3. A° San Juan	39.35
4. Nac. A° de La Ventana	63.12
5. A° de La Ventana	24.06
6. A° Sauce Chico	8.58

Cada uno de estos tres últimos conceptos se visualizan en la cartografía correspondiente, obtenida por álgebra de mapas (Anexo 4 y Anexo 5, Diapositivas 19, 20 y 21) (Eastman, 1997; IDRISI for Windows, 1997).

Para la obtención del mapa de zonificación para el Plan de Ordenamiento Territorial para la Conservación y Gestión del medio natural, objeto de estudio, se realizó una categorización de áreas según su posible uso, de acuerdo a los datos obtenidos a lo largo del trabajo (Anexo 5, Diapositiva 22). Las mismas se caracterizan de la siguiente manera:

Área de Uso Restringido: es la zona que presenta mayor fragilidad frente a la erosión hídrica, donde se debe prohibir el uso agrícola – ganadero y favorecer a las labores forestales;

Área de Uso Extensivo: son sitios donde es posible realizar prácticas de cultivo agrícola – forestal o de uso ganadero, pero con la aplicación de medidas de manejo y conservación del suelo;

Área de Uso Intensivo: identificadas debido a que el uso actual es el correcto y se estima que la influencia de la erosión hídrica es mínima.

5.3. RESULTADOS DEL MODELO HIDROLÓGICO HYMO.

La aplicación del Modelo Hidrológico HYMO, a partir de estos datos de campo, de la elaboración de una base de datos hidrológica a gabinete, del diseño un diagrama de blocks

de la secuencia hídrica dentro de la cuenca, nos permitió (por medio de una secuencia de cálculos matemáticos) obtener datos de salida (output) como el tiempo de concentración de cada subcuenca, el caudal de escorrentía para la tormenta dato y el caudal pico para la misma situación de precipitación y en cada U.M.G., los cuales dan respuesta a la reacción espontánea de la cuenca representándolo por medio de Hidrogramas (en forma gráfica y numérica - tabular) (Anexo 3).

Los resultados de la aplicación del HYMO se detallan en el siguiente cuadro, el cual se representó cartográficamente cada uno de sus factores resultantes para cada una de las subcuencas en estudio:

Cuadro 6: Resultados de la aplicación del Modelo HYMO.

Nombre de la UMG	Superficie (km ²)	Escurrimiento superficial (mm)	Escurrimiento superficial (hm ³)	Tiempo pico (hs)	Caudal pico (m ³ / s)
1	106.89	51.2	5.478	8.50	185.7
2	35.26	31.0	1.095	7.43	50.9
3	35.69	31.0	1.108	6.33	68.4
4	76.74	49.1	3.770	7.03	183.4
5	52.13	32.3	1.683	9.50	36.8
6	64.53	16.5	1.066	12.50	13.5
Total Salida de la cuenca	371.24	36.0	14.188	7.71	534.7

5.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.4.1. TOLERANCIA EN LAS PÉRDIDA DE SUELO

Las pérdidas de suelos tolerables para las zonas de cultivos en suelos fértiles y profundos, se estiman en 0,5 mm (medio milímetro) del perfil edáfico superior por año. Por lo tanto, admitiendo que el peso específico promedio de un suelo en las condiciones antes mencionadas es de 2.01 ton / m³, se considera que las pérdidas se evalúan en 10 ton / ha . año (Vich, 1989; Mintegui Aguirre - López Unzú, 1990).

Esta cifra es normalmente superada por los valores reales, debido a que en zonas agrícolas de alta potencialidad y elevada tecnología agraria los valores de pérdida de suelo se sitúan

entre 17 y 20 ton / ha . año. También se han hallado áreas donde es muy difícil estimar el valor de pérdida de suelo por tratarse de condiciones edáficas muy pobres, presencia de roca superficial o vegetación y uso del suelo por sobre los valores extremos.

La tabla 3 es una transformación de los valores de erosión del cálculo de U.S.L.E. teniendo en cuenta un valor de 2,76 ton/m³ como densidad real de un suelo mineral (valor estimativo universal) y confeccionada por FAO-PNUMA-UNESCO, (1981) elaborada con el fin de obtener un parámetros de comparación con respecto a otros sitios con valores semejantes de pérdida de suelo (según la U.S.L.E.) y consecuente interrelación con el grado de erosión hídrica laminar superficial (Mintegui Aguirre - López Unzú, 1990; López Cadenas de Llano, 1998).

Tabla 3: Clasificación Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos.

Pérdidas de suelo (A) (Ton /ha . año)	Grado de Erosión Hídrica
< 10	Ninguna o ligera
10 - 50	Moderada
50 - 200	Alta
> 200	muy alta

De acuerdo a el cálculo de Pérdida de Suelos por Erosión Hídrica (U.S.L.E.) y en comparación con la Pérdida de Suelos por Erosión Hídrica Potencial, se obtuvieron las siguientes conclusiones para la cuenca Alta del A^a Sauce Chico, como se detalla en el cuadro 6.

Cuadro 7: Comparación entre las pérdidas de suelo reales y las potenciales.

Pérdidas de Suelo Real (has)	Pérdidas de Suelo Potencial (has)	Áreas afectadas por futura erosión hídrica (has)	Grado de Erosión Hídrica
1948.41	1947.33	- 1.08	ninguna
34268.43	23423.20	- 10845.23	ligera
859.64	8410.17	+ 7550.53	moderada
47.34	2397.62	+ 2350.28	alta
0.15	945.65	+ 945.50	muy alta

A partir del cuadro anterior se observa que las áreas afectadas por el grado de erosión hídrica menor a 10 ton / ha . año, es decir tolerables para uso agrícola-ganadero y

consideradas como áreas de uso intensivo, van a disminuir considerablemente si no se incorpora una leve vigilancia sobre las prácticas de cultivo.

Es posible que sin la ejecución de tareas de ordenación estas áreas pasarán en un mediano plazo de tiempo a un grado de erosión hídrica más elevado, pudiendo ser este de categoría moderada a alta, según sus condiciones topográficas.

Con respecto a las actuales situaciones que corresponden a grados de erosión hídrica superior a 10 ton/ha.año, es notable que el aumento de superficie potencialmente erosiva es significativo, por lo que se requiere un desarrollo de prácticas conservacionistas en el área, determinada por la cartografía como áreas de uso extensivo.

Las áreas en las que se recomienda uso restringido, son las señaladas como con valores superiores a 50 ton/ha.año, donde la pérdida de suelo es considerada alta.

Dado que los resultados fueron para un momento puntual, los valores no se toman en forma definitiva como indicadores de erosión hídrica, pero si es un indicativo de la necesidad de manejo racional de las subcuencas.

La correcta aplicación de la U.S.L.E. requiere de un control y seguimiento temporal de los diferentes parámetros que implica.

6. PROPUESTA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL

6.1. DEFINICIÓN DE PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL.

La formulación de un plan de ordenamiento territorial de la cuenca, constituye una primera fase del proceso de planificación y se basa en una evaluación preliminar, sobre la base de la información disponible con respecto a las limitantes naturales de la productividad y la calidad de vida de la población. Si bien se incluyen también en dicha evaluación, los aspectos socioeconómicos y culturales, en forma cualitativa, de lo que se trata es de zonificar de acuerdo a su aptitud física, uso potencial y limitantes de diverso carácter, el destino en términos globales de los distintos sectores de la cuenca.

En este sentido, las metas con respecto a la cuenca Alta del A° Sauce Chico, están vinculadas a la identificación por medio del S.I.G. de sitios degradados, induciendo bases para la rehabilitación y restauración de las tierras afectadas por determinados grados de erosión hídrica.

Otro punto de partida será en relación a las diferentes situaciones socioeconómicas y a la necesidad de compatibilizar las propuestas de nuevas alternativas productivas y de conservación con los usos actuales del suelo.

6.2. MEDIDAS GENERALES DE MANEJO Y DE PLANIFICACIÓN DEL TERRITORIO.

Las medidas generales del manejo de cuencas hidrográficas degradadas por erosión hídrica corresponden a los siguientes tipos:

- Identificación de las variables determinantes de la erosión hídrica (caudal sólido y caudal líquido emitido para una tormenta representativa determinada).
- Desarrollo de técnicas de reconocimiento del impacto por medio de la aplicación de S.I.G. (IDRISI).
- Diagramación de medidas biológicas correspondientes para el Manejo de Cuencas y racionalización de la actividad humana.

El tratamiento completo e integral implica poner en práctica todas las medidas en forma armónica y conjunta, de manera que constituyan una unidad en permanente interacción.

La aplicación por separado de dichas medidas, sin considerar el enfoque integral no conducirá a los resultados previstos.

Hay que tener en cuenta que la efectividad de las medidas tiene diferente grado de aplicación en el tiempo, por ejemplo: no es inmediato el control de la cobertura vegetal, sino que se va consolidando con el transcurso del tiempo. Esto permite modificaciones, además de demandar y/o complementar técnicas hasta su total implementación.

Durante viajes de campaña se observó y evaluó claramente cuales son las situaciones que presentan el sitio en estudio y de esta manera estimar y determinar si la evolución ecológica sucesional hasta el momento es favorable o desfavorable.

Dichas tareas nos permitieron desarrollar un método con técnicas para mejorar la calidad del sitio, y determinar las causas de la pérdida de suelo y alteración del sitio pastizal-forestal.

Para la selección de las especies a conservar y manejar en la cuenca, hay que considerar aquellas que más se adapten a las exigencias ecológicas de la región (además de las nativas del lugar). Para ello se realizó un reconocimiento de las distintas variables tanto climáticas, edáficas, fisiográficas y bióticas, que en conjunto determinan la calidad de sitio del lugar a controlar.

El deterioro del terreno se puede recuperar por medio de obras hidráulicas sencillas ejecutadas con los materiales disponibles en el lugar, para que resulten adecuadas para el manejo y al mismo tiempo económicas. Algunas de estas obras son las fajinadas, empalizadas, aterrazado del terreno y muretes de piedra. Este tipo de obras son de carácter temporario y no se requiere que su vida útil sobrepase el período necesario para el efectivo arraigue de la vegetación repoblada en las terrazas así formadas.

En determinados puntos de la cuenca, serán necesarias otro tipo de obras. Así, en barrancos o cárcavas de cursos efímeros se utilizan obras que apuntan a modificar las pendientes de fondo levantando su perfil y actuando para detener los materiales de arrastre a poco de haber iniciado su movimiento. De este tipo son los pequeños desaguaderos naturales protegidos, zanjillas de absorción, y si es necesario obras hidráulicas transversales, obras de protección de talud, etc.

Por todo esto, se prevé la posibilidad de implantación de especies forestales en la cuenca receptora, lo que produciría un control de la escorrentía y la torrencialidad, logrando un retraso en el aumento del caudal de las partes medias y bajas del cauce principal (así evitar

la construcción de obras permanentes), las cuales también favorecerían la sucesión ecológico-natural del lugar.

6.3. FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN LA CUENCA ALTA DEL A° SAUCE CHICO.

En sentido estricto, toda planificación implica uno o varios objetivos. En el caso de la restauración agrohidrológica de una cuenca, los objetivos están orientados a el uso racional de los recursos suelo y agua, implicando la retención del suelo, el control de las avenidas, la regulación del transporte de materiales y sedimentación y la provisión hídrica para uso humano y animal.

La consecución de estos fines está íntimamente relacionada con el uso adecuado de los recursos naturales, de manera que su aprovechamiento no implique deterioro ni destrucción de los mismos, debiendo considerarse también los efectos inducidos en la totalidad de la cuenca que es el sistema donde está todo inmerso.

El control del escurrimiento superficial tiene una alta incidencia en el control de los procesos erosivos y en su posible atenuación. El movimiento de la lámina de agua que escurre por una ladera es variable en el tiempo y en el espacio, debido a las condiciones intrínsecas del sitio y a las condiciones pluviales temporales.

Este principio debe tenerse en cuenta en toda técnica de conservación basada en el control de la erosión hídrica superficial, cuya acción predominante es el transporte - arrastre de material sedimentario del suelo superficial.

El control puede conseguirse proporcionando condiciones para incrementar la infiltración (aumentando la resistencia superficial a la escorrentía, disminuyendo la velocidad del agua), limitar la pendiente y la longitud del declive del perfil de ladera o por medio de métodos que aseguren una evacuación del flujo de agua en exceso (sobrante) conduciéndola en forma controlada.

Una vez que el agua culmina su escurrimiento superficial, pasa a integrar los flujos de los torrentes. Estos siguen los cauces hasta las partes más bajas de la cuenca erosionando lechos y márgenes por la presencia de materiales en el flujo de agua (procedentes de la cabecera de recepción y del propio cauce).

Estos procesos, incluidos el transporte y sedimentación, son fundamentalmente resultado de la interrelación de los factores pluviométricos con los intrínsecos de la cuenca.

La corrección de los cauces torrenciales, como es el caso de la cuenca en estudio, tiene como objetivo regular y controlar, en forma parcial o total, los procesos de transporte sólido y erosión del cauce, evitando que aumente el caudal sólido de curso de agua. Para ello resulta indispensable la adopción de medidas para evitar la formación de caudal sólido, y si se ha producido y es detectado, reducirlo por sedimentación y deposición.

6.4. PROPUESTA Y PROGRAMA GENERAL.

En el transcurso de este estudio, se han analizado los diferentes componentes del sistema hidrológico de una cuenca y su incidencia en el fenómeno erosivo – torrencial, arribándose a un diagnóstico en función del cual se enuncian las posibles medidas de manejo en base a los objetivos perseguidos, representados con la cartografía correspondiente elaborada con el Sistema de Información Geográfica.

El programa general de tratamientos corresponde a tres tipos de medidas estrechamente vinculadas:

1. Racionalización de la actividad humana,
2. Control de la cobertura vegetal,
3. Obras de corrección de torrentes.

El tratamiento completo e integral implica poner en práctica medidas de los tres tipos, en forma armónica y conjunta, de manera que constituyan una unidad en permanente interacción. La aplicación por separado de dichas medidas, sin considerar el enfoque integral, no conducirá a los resultados esperados de ordenación del territorio.

6.4.1. RACIONALIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD HUMANA

Son aquellas medidas tendientes a regular la acción desfavorable del hombre sobre los recursos naturales. Las mismas son recomendadas para áreas de uso restringido y/o extensivo.

La erosión conocida como acelerada o antrópica reconoce causas profundas que hacen a la estructura socio-económica de la población en la cuenca.

El común denominador de la actividad actual es tender a explotar exhaustivamente los recursos en busca del máximo beneficio financiero, sin tener en cuenta los cambios de equilibrio del hábitat que esto provoca. De este modo los recursos naturales, como suelo-agua-vegetación, se tornan agotables y se destruyen paulatinamente ante esta situación.

En base a la información obtenida por la metodología utilizada en el trabajo, se ha determinado un desequilibrio importante en el aprovechamiento del pastizal natural. La actividad humana como elemento perturbador, se presenta a través del sobrepastoreo de animales, lo que provocó el aumento de la degradación del pastizal de altura y/o llanura, como se visualiza en el mapa de vegetación y uso del suelo, el cual ocupa 21597.6 has (58 % de la superficie total de la cuenca).

Las consecuencias que se derivan de la sobrecarga animal en terrenos con laderas empinadas y rocosas se reconocen por el cambio en la composición florística de la cobertura vegetal, reducción de la altura de la misma, escasa reproducción natural y disminución de la formación de mantillo sobre el suelo. A todo esto se le agrega la compactación del suelo provocada por el pisoteo animal, induciendo a disminuir la capacidad de infiltración del suelo y la retención de humedad edáfica. Finalmente las áreas descubiertas quedan expuestas al impacto directo de las gotas de lluvia.

A fin de mantener la fertilidad del suelo y combatir la erosión hídrica superficial, los productores deberán realizar un manejo racional del pastoreo y respetar un adecuado asesoramiento técnico productivo del ganado, que estará basado en el respeto de las siguientes pautas básicas:

- √ Controlar y condicionar la actual ganadería en invernada y de cría, donde durante el período invernal, los productores aprovechan la vegetación natural de la parte alta de la sierra para la alimentación del ganado, lo que provoca la denudación del suelo por la excesiva carga animal;
- √ Aprovechamiento uniforme de los pastizales de altura, evitando la concentración prolongada del ganado en un determinado sitio, por medio de rotaciones alimenticias;

- √ Asegurar la cobertura vegetal uniforme (tanto espacial como temporalmente) verificando que el pastizal sea pastado en su justa medida sin exceder el 50 % de la producción anual del biomasa;
- √ Ajustar el número de cabezas de ganado de acuerdo a la productividad del pastizal de altura o de llanura;
- √ Permitir la floración y semillazón natural del pasto, mediante el retiro de la hacienda durante la temporada mencionada;
- √ Erradicar el ganado en las zonas destinadas a la siembra de pastos en la llanura y en los sitios donde hay posibilidades de implantación de un sistema silvopastoril, hasta el momento en que el desarrollo de los mismos este asegurado;
- √ Suprimir el pastoreo en sitios donde el actual pastoreo y su excesivo uso provoque una degradación o erosión superficial y pérdida de suelo;
- √ El sobrepastoreo al inicio de la época de lluvias produce un aumento en el escurrimiento superficial del agua, ocasionando problemas erosivos en los predios e inundaciones repentinas en la zona, el cual se recomienda su programación para períodos del año durante la estación seca.

Los suelos serranos de la cuenca del A° Sauce Chico también presentan destino agrícola, cuando el declive y la longitud de pendiente del terreno y su composición lo permiten.

El uso agrícola se basa en cultivos de especies forrajeras tales como: *Bromus sp.*, *Festuca sp.*, *Trifolium sp.*, *Dactalis sp.*, (forrajeras generalmente en asociación), y cereales como *Triticum aestivum* (trigo), *Avena sativa* (avena), *Zea mays* (maíz), *Helianthus annuus* (girasol), *Hordeum distichum* (cebada cervecera) y *Secale cereale* (centeno), dependiendo de la ubicación del predio y de la actividad productiva final del propietario.

La zona en estudio no solo presenta condiciones serranas sino también sitios como llanura de pendientes menores al 5%, donde se caracteriza por su aptitud agrícola, ocupando un total de 8513.5 has (23 % del total de la cuenca). Con cierta frecuencia se observan trabajos de laboreo en tierras de pendiente pronunciada y en dirección al declive, ocasionando fuertes procesos de erosión por efecto de arrastre de las aguas.

Es importante considerar que el principal proceso de expansión de la frontera agrícola se ha dado fundamentalmente sobre formaciones herbáceas y forestales, provocando la

alteración mas o menos intensa e irreversible de los parámetros estructurales del suelo y la diversidad biológica. Como consecuencia de ello se verifican:

- ⇒ Identificación y visualización de rasgos de pérdida de suelo;
- ⇒ Compactación del suelo;
- ⇒ Incremento de la erosión hídrica superficial y en profundidad;
- ⇒ Disminución de especies forestales nativas;
- ⇒ Pérdida de renovales;
- ⇒ Reducción de la superficie forestal.

Será necesario la promulgación de la cultura basada en el *desarrollo sustentable* para satisfacer las necesidades y las aspiraciones del presente sin comprometer la facultad de continuar haciéndolo en el futuro.

Para ello se sugiere:

1. un mayor control sobre las prácticas agrícolas actuales en sitios donde se verifican valores de pérdida de suelo menores a 10 ton/ha.año;
2. la implementación y aumento de prácticas de labranza conservacionistas en los sitios donde actualmente se demuestra un grado de pérdida de suelo entre el 10 y 50 % ton/ha.año, como por ejemplo cultivo a nivel o en fajas;
3. el pasaje de la actividad puramente agrícola a una actividad agro-silvo-pastoril o forestal exclusivamente, en sitios de riesgo edáfico-topográfico y/o de altura, es decir donde la pérdida de suelo real y actual se determinó que es mayor a 50 ton / ha . año.

6.4.2. CONTROL DE LA COBERTURA VEGETAL.

Esta estrategia comprende aquellas prácticas destinadas a establecer, incrementar o restaurar la cobertura vegetal en sitios críticos, con el objeto de crear condiciones más favorables para la regulación del escurrimiento hídrico, aumentando la infiltración y evitando procesos de erosión y sedimentación.

Las medidas más favorables para el control de la cobertura vegetal en áreas de uso extensivo son el establecimiento de forestaciones y la recuperación y mejora del pastizal natural, debido a que gracias a estas instancias se controla la velocidad de escorrentía y se aminora el

caudal de los torrentes, se disminuye la acción de transporte de materiales reduciendo los valores erosivos del suelo, se asegura un mejor sistema radicular lo que mejora la estructura del suelo y por lo tanto la infiltración y percolación y de este modo regula el régimen hídrico general de la cuenca.

Primitivamente la región serrana bonaerense, en especial el Sistema de Ventania, existían pequeños montes forestales o núcleos naturales constituidos por caldenes, chañares, piquillines, algarrobos que hoy han desaparecido por sobre todo el manejo inadecuado del recurso autóctono.

Considerando esta situación y la presencia de sitios de un alto grado de pérdida de suelo, es adecuado presentar un programa de forestación, con una previa identificación de áreas objeto de plantación. Estas se consideran a partir de las pendientes del terreno, el análisis de los caudales de escorrentía y las consecuentes y potenciales pérdidas de suelo.

Toda la región serrana presenta una topografía muy irregular, distinguiéndose sobre el terreno vallecitos, cañadones y faldeos. Cuando la extensión lo permite, estos lugares suelen ser destinados equivocadamente a la agricultura. La forestación en estos terrenos en declive permite el cultivo y aprovechamiento de masas implantadas a fin de que sus beneficios directos e indirectos se mantengan a perpetuidad para los pobladores.

Teniendo en cuenta el actual uso del suelo, se visualiza en la cartografía que hay 877 has destinadas a uso forestal (2.30 % de la cuenca), lo cual indica una urgente implementación del cultivo para evitar la potencial degradación de los suelos en sitios con aptitud forestal.

Con respecto a la elección de especies a implantar es fundamental el conocimiento ecológico de las mismas y la procedencia, debido a la adaptabilidad, crecimiento, desarrollo radicular, resistencia a condiciones físicas desfavorables, entre otras.

Para ello sería conveniente analizar la posibilidad de establecer viveros que provean de plantines y servicios a los sitios de plantación. Estos servicios de acción técnica, fomento y asesoramiento forestal y agropecuario en general movilizarían a los planes oficiales y de fomento a plantaciones de orden particular, desempeñando una importante función en lo que atañe a la divulgación de la cultura del árbol como medio de lucha contra la erosión.

Las especies forestales que se citan a continuación son exóticas y nativas de comprobado comportamiento y aclimatadas a la región (Dep. de Economía - Dir. Forestal de la Prov. de Buenos Aires):

ANGIOSPERMAS:

- ⇒ Fresno (*Fraxinus* sp.). Esta especie puede ser sembrada en forma directa en los sitios peñascosos.
- ⇒ Paraíso (*Melia azedarach*). Adecuada para suelos de bajo pH.
- ⇒ Acacia blanca (*Robinia pseudoacacia*). En suelos francos y abrigado de los vientos, tiene autoregeneración por raíces gemíferas.
- ⇒ Sauces (*Salix* sp.). Multiplicados por estacas y se adaptan a lugares de capa vegetal profunda tales como márgenes de arroyos, cañadones, lagunas, bajos, etc. (*S.humboltiana* – *S. babylonica*).
- ⇒ Álamos (*Populus* sp.). Ideal para el estaqueo de las márgenes de los arroyos (*P.nigra*). En el caso del Álamo plateado (*P. alba*), por sus raíces gemíferas se regenera naturalmente, cubriendo grandes espacios. Suele ser implantada en trincheras en lugares protegidos por el viento.
- ⇒ Eucaliptus (*Eucalyptus* sp.). Se adaptan algunas variedades a suelos relativamente pobres, erosionados, pedregosos y toscos. En general un factor limitante para su mayor difusión en las zonas serranas lo constituye su susceptibilidad a las fuertes heladas. La variedades más resistentes son: *E.viminalis* y *E.cinerea*. Si bien queda mucho por experimentar en cuanto a la determinación de las mejores variedades para la zona, en la actualidad la más difundida es *E.viminalis*. Su comportamiento es satisfactorio, adaptándose a suelo pobre y secos, plantándose a raíz desnuda, convenientemente embarrado.
- ⇒ Roble y Encina (*Quercus* sp.). Se adaptan muy bien a la siembra directa. Sus grandes frutos garantizan una buena germinación y pronto desarrollo inicial. Sembradas en otoño en su lugar definitivo al poco tiempo desarrollan su raíz pivotante, asegurando un buen anclaje.
- ⇒ Otras géneros a utilizar pueden ser: Arces, Sóforas, Almendros, Castaños, Abedules, todos de uso ornamental.

CONÍFERAS:

En los faldeos, con suelo superficiales, expuestos a vientos, heladas y fuerte luminosidad solar se frecuente forestar con coníferas como *Pinus* sp., *Cupressus* sp. y *Cedrus* sp.. También *Abies* sp., *Picea* sp., *Thuja* sp., *Araucaria* sp., *Criptomeria* sp., *Juniperus* sp., y estas

especies en general son con fines ornamentales. Si consideramos la implementación de masas con uso forestal, agroforestal y de protección se recomienda:

- ⇒ Pino de Alepo (*Pinus halepensis*). Por su extrema rusticidad para adaptarse a regiones de piedras, toscas y escasas lluvias. Su madera pesada y resinosa entra en la categoría de pinoteas, por lo que tiene verdadera utilidad económica.
- ⇒ Pino insigne (*Pinus radiata*). Presenta un buen crecimiento anual y elegante porte, siendo también más exigente en suelos, prefiriendo aquellos sueltos y frescos.
- ⇒ Pino piñonero (*Pinus pinea*). A pesar de su lento crecimiento esta tiene muy buena adaptabilidad a suelos pobres, superficiales y secos.
- ⇒ *Pinus silvestris*, *P. canariensis*, *P. strobus*, *P. bauksiana*, *P. tumbergii*, se plantan en menor proporción, integrando la forestación protectora y panorámica, por lo común embelleciendo cumbrecitas de cascos de estancias.
- ⇒ Ciprés horizontal (*Cupressus sempervirens var. horizontalis*), Ciprés de la Lusitania (*C. lusitánica*), Ciprés de Arizona (*C. arizónica*) son de uso ornamental.
- ⇒ Ciprés lambertiana (*Cupressus macrocarpa*), es el más destacado por su buen crecimiento y adaptabilidad a los diferentes suelos y condiciones climáticas.
- ⇒ Cedro del Himalaya (*Cedrus deodara*) y Cedro del Alba (*Cedrus atlántica*) son los dos más encontrados por su poder ornamental. Poseen lento crecimiento pero excelente calidad de madera.

Debido al abrupto relieve de las zonas serranas se recomienda el empleo de la técnica de siembra directa para la implantación de forestales, ya que es un método sencillo y práctico. Los montes logrados con estos planes, cumplirían varios propósitos: protección contra erosión hídrica, disminuyendo la cantidad y velocidad del agua de escorrentía, y contra la erosión eólica, atenuando la velocidad de los vientos; producción, recreación, turismo, protección de las aguas subterráneas aumentando la infiltración y disminuyendo el arrastre de sedimentos.

Con respecto a las medidas más favorables para el control de la cobertura vegetal y la recuperación y mejora del pastizal natural en áreas de uso intensivo y/o extensivo, considero que al igual que las forestaciones, estas se utilizarán con el propósito de restauración de tierras degradadas y estabilización del suelo, y su valor como forraje será de importancia secundaria.

Hay investigaciones que indican que la densidad vegetal natural apropiada se alcanza con una cobertura mayor al 70 %, lo cual está representado en la cuenca con aproximadamente 5300 has es decir 15 % de la cobertura vegetal actual.

Para lograr estabilizar esta y aumentarla potencialmente en sitios donde el grado de pérdida de suelo se considera alto, es decir áreas de uso extensivo y/o restringido, es recomendable la implantación por medio de siembra directa al voleo, cuidando una distribución uniforme de semillas.

Los sitios también específicos y con posibilidades de recuperar son por ejemplo: taludes de obras, fijación de aterramientos, cárcavas, laderas con baja cobertura, implementar la construcción de desagües empastados, estabilizar márgenes de los cauces y torrenteras.

6.4.3. OBRAS DE CORRECCIÓN DE TORRENTES EN LA CUENCA DE RECEPCIÓN.

Debido a las características topográficas de la cuenca de recepción, como por ejemplo las pendientes abruptas, la rocosidad y escabrosidad, identificadas por las recorridas a campo, las fotografías aéreas y la imagen satelital, hacen que la mayor parte de la alta cuenca sea inaccesible. Debido a esta característica no es posible utilizar maquinaria pesada para el movimiento de tierra, debiendo reemplazar las mismas por obras de menor envergadura sobre los torrentes.

Con estas obras se obtiene un efecto rápido en la disminución de la velocidad de la escorrentía, y en algunos casos disminuir y/o detener la erosión laminar, considerado esto como un objetivo inmediato para neutralizar a tiempo mayores consecuencias y daños producidos por los torrentes.

En las laderas de fuerte pendiente las plantas jóvenes, producto de plantaciones, diseminaciones y renovales, serían arrastradas al lecho si no se las tomasen las debidas precauciones para evitarlo consolidando la ladera mediante obras adecuadas que le proporcionen temporalmente una cierta firmeza y estabilidad hasta que el desarrollo de la población y repoblación impida la denudación y ejerza la fuerza reversible.

Las obras de consolidación de laderas requieren de mucho ingenio y sobre todo de los recursos materiales y de mano de obra, buscando siempre la solución más económica.

Palizadas, fajinadas y muretes de piedra en seco tendrán por objetivo escalonar la ladera, a las primeras lluvias fuertes se formarán los aterramientos y la ladera tomará la forma de una escalera. Inmediatamente después puede realizarse la repoblación vegetal que en definitiva será la que consolide el terreno.

También se pueden realizar trincheras en media luna, cuya función es la de contrarrestar la erosión laminar y retardar la escorrentía; se sitúan en las cabeceras de cárcavas.

Estas obras se implementarán en los lugares de mayor complejidad, en estrecha relación con las medidas de control vegetal, quedando su disposición y esparcimiento sujetos a las diferentes condiciones que se presentan.

El tratamiento sobre los torrentes tiene por objeto disminuir el volumen de material sólido transportado y amortiguar el caudal líquido en los puntos críticos.

Debido a las condiciones de acceso, posibilidades de obtención de material y mano de obra en la zona, se recomienda la construcción de diques de gaviones, en los sitios donde según la información obtenida por U.S.L.E., M.U.S.L.E. y HYMO (volumen sólido, volumen líquido de escorrentía, caudales de avenida y volumen total emitido por cada subcuenca) y las características topográficas nos indican que el transporte de material es mayor a 50 ton/ha.año. Estas obras nos permiten la fijación de sedimentos y protección de desaguaderos naturales, taludes y corrientes de agua superficial de ladera.

En el caso que la información anteriormente mencionada sobre los cursos de agua nos indican torrentes con pérdidas moderadas o ligeras, es posible la construcción de obras de menor envergadura como por ejemplo obras transversales de maderas para protección de acequias, surcos, desaguaderos y control de cárcavas.

En el caso de ser necesarias obras hidráulicas complementarias éstas se ubicarán sobre desniveles suaves, cambios de dirección o sección de los cursos de agua o sobre desvíos naturales o artificiales para aprovechamiento del recurso agua o simplemente para protección de un desaguadero natural.

La factibilidad de la realización de estas obras, al igual que todo el proyecto, está condicionada a la ejecución de el análisis financiero, económico y social dentro de la cuenca.

7. CONCLUSIONES

El Plan de Ordenamiento Territorial en cuencas serranas degradadas utilizando Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.), en el caso particular de la Cuenca Alta del Arroyo Sauce Chico (Tornquist, Provincia de Buenos Aires - República Argentina) aplicando la metodología de Diagnóstico de Erosión Hídrica Superficial Real y Potencial en cuencas hidrográficas por medio de la U.S.L.E., M.U.S.L.E. y HYMO y su evaluación a partir del uso del S.I.G. IDRISI para Windows resulta adecuada para el cumplimiento de los objetivos planteados.

Cabe destacar que el desarrollo del trabajo constituye una guía marco para identificar las oportunidades y restricciones que ofrecen las cuencas serranas de la Provincia de Buenos Aires, para desarrollarse de una manera ordenada y sustentable sobre la base de los recursos naturales. La misma ofrece información sobre el medio natural, la población y su entorno territorial.

Como base del estudio consideramos a las cuencas hidrográficas como unidades físicas que sirven de marco práctico y objetivo para la planificación y gestión del desarrollo sostenible. Las mismas nos permiten sistematizar resultados y planteamientos de escuelas de pensamientos que por su consistencia científica, simpleza y capacidad de respuesta a la problemática ambiental nos lleva a idear, diseñar, evaluar y mejorar propuestas metodológicas en su aplicación al medio ambiente.

El empleo de información cuali-cuantitativa y su representación y relación territorial, son instrumentos integradores para abordar a soluciones realistas y viables, donde se minimicen los impactos negativos de la negligencia humana. Sirve también como fundamentos técnicos para el logro de una adecuada toma de decisiones y optimización de los recursos existentes, tanto con objetivo particular de un campesino o como un objetivo público-político municipal, provincial o nacional.

Este método de formulación de pautas de ordenamiento territorial con aplicación de un S.I.G. facilita el logro de imágenes prospectivas, llevando a optimizar la elección de alternativas de solución de problemas de uso del suelo.

Tradicionalmente la región ha sido considerada sobre la base de acciones puntuales de ciertos intereses privados, creando desequilibrios ecológicos por falta de integración de recursos en el espacio y en el tiempo. Ello indica que es indispensable la aplicación de

programas de tipo participativo, progresivo, continuo y sistemático que permita vincular el medio ambiente con las necesidades del medio social.

Las medidas propuestas de recuperación, rehabilitación y ordenación de la cuenca en los sitios críticos están dirigidos a objetivos concretos e integrales, como la restauración de terrenos agrícolas degradados, la protección del núcleo urbano, de las zonas de recreación y vías de comunicación, facilitando las mismas a ordenar espacial y territorialmente la cuenca y disminuir o evitar acciones negativas como aterramiento de embalses naturales, canales, caminos y campos agrícola-ganadero.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- ◇ *Agar Valverde, M.P.M.* 1984. *Ecología y Planeamiento Territorial: Metodología y Estudio de casos en la Región Murciana.* Univ.de Murcia. España.
- ◇ *AutoCad Release 14.* 1997. Software y manual. Autodesk Inc. USA.
- ◇ *Bonorino, F.G. y M.E. Teruggi.* 1961. *Léxico sedimentológico.* Serie Geología 2. UNBA.
- ◇ *Cabrera, A.L..* 1968. *Vegetación de la Provincia de Buenos Aires. Tomo IV. Parte 1º.* INTA.
- ◇ *Claver Farias, L.* 1984. *Guía para la elaboración de estudios del medio físico, contenido y metodología.* Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid. España.
- ◇ *Custodio, E. y Llamas, M.R.* 1976. *Hidrogeología subterránea.* Ed. Omega. Barcelona..
- ◇ *D.G.E.* 1991. *Censo 1991. Viviendas, hogares y población.* Provincia de Buenos Aires.
- ◇ *Dirección Provincial de Catastro, Ministerio de Economía.* 1990. *Plano Catastral Rural Hojas 3963-5-2 y 3963-35-4.* Escala 1:25.000.
- ◇ *Dirección Provincial de Catastro. M.E..* 1990. *Plano Catastral Rural-Edafológico. Hojas 3963-35-4 y 3963-5-2.* Escala 1:25.000.
- ◇ *Eastman, J.R..* 1997. *Guía del usuario. IDRISI para Windows. Versión 2.0.* Clarks Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis. Clark University. USA
- ◇ *ESRI.* 1994. *El uso de los Sistemas de Información Geográfica. Aplicaciones con IDRISI.* España Geosistemas.
- ◇ *F.A.A.-Servicio Meteorológico Nacional.* 1992. *Estadísticas climatológicas 1981-1990.* Bs.As.
- ◇ *FAO-PNUMA-UNESCO,* 1981. *Clasificación Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos.*
- ◇ *Fidalgo, F.; F.O. De Francesco y R.Pascual.* 1975. *Geología superficial de la llanura bonaerense.* VI Congreso Geológico Argentino - 103:138. Bahía Blanca.
- ◇ *Fotografías Aéreas.* 1961 y 1995. Esc. 1:10.000
- ◇ *Frangi, J. y O. Bottino.* 1995. *Comunidades vegetales de la Sierra de la Ventana, Provincia de Buenos Aires, Argentina.* Revista de la Facultad de Agronomía de La Plata, Tomo 71(1), 93-133.
- ◇ *García Nájera, J.* 1962. *Principios de Hidráulica Torrencial.* Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid.

- ◇ *García Préchac, F.* 1992. Guía para la toma de decisiones en conservación de suelos. INIA. Serie Técnica N°26. Uruguay.
- ◇ *Harrington, H.* 1946. Carta Geológica-Económica de la República Argentina. Sierra de la Ventana - Provincia de Buenos Aires. Hoja: 34 m. Esc. 1:200.000.
- ◇ *Harrington, H.* 1947. Explicación de las cartas geológicas 33 m (Sierra de Cura Malal) y 34 m (Sierra de la Ventana). Prov. Bs.As.. Dirección de Minería y Geología. Vol. 61. Buenos Aires.
- ◇ *Henaos, J.E.* 1988. Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas.. Univ.Sto.Tomás. Bogotá. Colombia.
- ◇ *IDRISI for Windows.* 1997. Software. The Idrisi Project. Clarks Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis. Clark University. USA.
- ◇ *Imagen Satelital LANDSAT TM 226/86.* 1986.
- ◇ *I.N.C.Y.T.H..* 1984. Manual del usuario del HYMO 10. Mendoza. Argentina.
- ◇ *I.N.E.S.-I.N.D.E.C..*1988. Censo Nacional Agropecuario de 1988. Resultados generales. Provincia de Bs.As..
- ◇ *Instituto Geográfico Militar.* 1970. Carta Topográfica de Tornquist (Hoja 3963-5-2) y de Estancia Gran Chaco (Hoja 3763-35-4). Esc 1:50.000.
- ◇ *Instituto Geográfico Militar.* 1982. Carta Topográfica de Tornquist (Hoja 3963-5) y de Saavedra (Hoja 3763-35). Esc 1:100.000.
- ◇ *INTA-Castelar.* 1989. Carta de Suelo de Santa Rosa, Hoja 3763. Provincia de Buenos Aires. Argentina. Esc. 1:500.000.
- ◇ *INTA-Castelar.* 1989. Descripción de Cartas de Suelo de Santa Rosa de la Provincia de Buenos Aires. Argentina. Cap.4.1: 43-55. Esc. 1:500.000.
- ◇ *Kirkby, M.J y R.P.C. Morgan.* 1994. Erosión de Suelos. UTEHA Noriega Editores. México.
- ◇ *López Cadenas de Llano F. y J.A.Mintegui Aguirre.* 1987. Hidrología de Superficie. Tomo I. Ed.Fund.Conde Salazar. ETSI. Montes. Madrid.
- ◇ *López Cadenas de Llano F.* 1998. Restauración Hidrológica Forestal de cuencas y Control de la Erosión. Ingeniería Medioambiental. TRAGSATEC. Min.Medio Ambiente. Ed. Mundi-Prensa. España.
- ◇ *López F., R.* 1988. La degradación y pérdida de los suelos agrícolas. C.I.D.I.A.T.. Serie Suelos y Clima SC-65. Mérida. Venezuela.

- ◇ *Lores, R.* 1979. Suelos, control del escurrimiento y de la sedimentación en Tornquist. Prov. de Buenos Aires. I.N.T.A. Colección Científica, Tomo 17. Bs.As.
- ◇ *Microsoft Access.* 1997. Software y Manual del usuario. Microsoft Corporation. USA.
- ◇ *Mintegui Aguirre, J.A., Generalitat Valenciana.* 1986. La erosión en la sedimentación de la albufera. Consellería D'Obres Públiques, Urbanisme i Transports. Madrid. España.
- ◇ *Mintegui Aguirre, J.A. y F.López Unzú.* 1990. La Ordenación Agrohídrológica en la Planificación. Ed.Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.
- ◇ *Moreira Madueño, J.M.* 1991. Capacidad de Uso y Erosión de Suelos. Una aproximación a la evaluación de tierras en Andalucía. Junta de Andalucía. Consejería de Cultura y M.Ambiente. España.
- ◇ *Müller, R.* 1953. Compendio General de Topografía Teórico Práctica. Tomo I. Suplemento de Actualización. I.G.M.
- ◇ *Ringuelet, L.* 1960. Clasificación Zoogeográfica Pampeana. Tomo II. INTA.
- ◇ *Rojas, A. y A.Conde.* 1985. Estimación del factor R de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo para el centro-este de la República Argentina. Ciencia del Suelo, Vol. 3-1, 2.
- ◇ *Surfer 5.0 .* 1994. Golden Software Inc.. Colorado, USA.
- ◇ *Tricart, J.L.* 1973. Geomorfología de la pampa deprimida. INTA. Colección Científica XII - 202 pp. Buenos Aires.
- ◇ *Ven Te Chow.* 1964. Handbook of applied Hidrology (a compendium of water resources technology).
- ◇ *Vich, A.I.J.* 1989. Erosión hídrica: Estimación y medición de pérdidas de suelo. Curso Latinoamericano sobre detección y control de la desertización. Ed. F.A.Roig. CRICYT. Buenos Aires.
- ◇ *Walter, H. y S.W.Breckle.* 1983. Ecological System of the biosphere. Principles in global perspective. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, New York, Tokio.
- ◇ *Wischmeier, W.H.; C.B.Johnson y B.V.Cross.* 1971. A soil erodability Nomograph for Farmland and construction Sites. Journal of Soil and Water Conservation 26:189-193.
- ◇ *Wischmeier, W.H. y D.D.Smith.* 1978. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. USDA. Agricultural Handbook N°537. USA.

Anexo 1: Aplicación práctica de las Coordenadas Gáuss-Kruger en la República Argentina (Müller, R. 1953).

La teoría de la proyección conforme referida al elipsoide terrestre por primera vez establecida de modo general por C.F.Gauss (1822) es bastante complicada y constituye un tema de la geodesia superior.

Por medio de fórmulas sencillas de la razón de aumento, Gauss establece que este aumento en función de un solo dato de distancia al meridiano central y con la aplicación de tablas para arcos de meridianos y radios de curvatura, permite la transformación de las coordenadas geográficas en coordenadas Gauss y viceversa.

La adopción de coordenadas cuadrícula para la República Argentina, es debido al trabajo también desarrollado por L.Kruger, quien introdujo fajas meridianas de 3° de longitud de ancho, representando un sistema de coordenadas (x,y), con punto de origen 0 (x) en el Polo Sur para los países del hemisferio sur y cuyo meridiano central es múltiplo de tres de longitud, y por último asigno valor negativo a todas las fajas al oeste de Greenwich.

Para simplificar aún más su aplicación en Argentina, nuestro Instituto Geográfico Militar adoptó una numeración especial para el territorio nacional, dividiéndolo en 7 fajas (k), asignando al meridiano -72° el valor central de faja 1, al -69° el valor 2, al -63° el valor 3 y así sucesivamente hasta cubrir todo el territorio con 7 sistemas de fajas paralelas (7 en el meridiano -54°).

De esta manera se evitó el signo negativo en la ordenada (y), del mismo modo el centro de faja se le atribuye un valor de 500 000, para que dentro de la misma faja no haya inconveniente de signo en el valor de (y).

Para completar un valor de ordenada de faja, se antepone el número de faja (k) (los millones de metros) correspondiente a cada faja al valor 500 000. Por ejemplo, para el meridiano de -72°, la ordenada (y) es 1 500 000.

A los puntos meridianos centrales del sistema de fajas argentino dentro de la cuenca en estudio corresponde el siguiente valor:

Meridiano -63° central de la 4 faja, la ordenada y = 4 500 000.

Sabemos entonces, por ejemplo, que la ciudad de Tornquist con coordenadas aproximadas de Gauss-Kruger (en metros):

$$X = 5\,783\,128$$

$$Y = 4\,566\,682$$

Se halla en la faja 4 y a $(566\,682 - 500\,000 =) 66\,682$ metros al este de la proyección del meridiano central de dicha faja.

En todas las cartas oficiales de Argentina, la red cuadrícula se representa por medio de líneas de 4 centímetros de distancia, distancia que equivale a 1 kilómetro en una carta con escala 1:25.000, o equivale a 2 kilómetros en una escala 1:50.000, y así sucesivamente.

La red de cuadrícula perteneciente a cada faja, es un conjunto de doble entrada de escala gráfica (cuadrados de 4 por 4 cm), con el cero en el polo sur y el centro de faja. Volviendo al ejemplo anterior, con respecto al eje (X) existen 5 783, 128 km al cero del polo sur.

Anexo 2: Descripción Analítica de suelos. (INTA Castelar 1989).

Descripción de las unidades taxonómicas que corresponden a la unidad cartográfica 1a

HAPLUDOL LITICO, franco fino (M₁₈li3)

Cuadro resumen de datos analíticos del perfil:

HORIZONTE		A1
Profundidad de la muestra (cm)		3- 25
Factor de humedad		1,04
Materia orgánica	Carbono orgánico (%).....	2.53
	Nitrógeno total (%).....	0.273
	Relación C/N.....	9.0
Textura (%)	Arcilla (< 2μ)	29.0
	Limo (2-20μ).....	15.8
	Limo (2-50μ).....	29.2
	Arena muy fina 1 (50-74μ).....	20.1
	Arena muy fina 2 (74-100μ).....	18.0
	Arena fina (100-250μ).....	0.9
	Arena media (250-500μ).....	0.8
	Arena gruesa (500-1000μ).....	0.9
Arena muy gruesa (1000-2000μ).....		0.2
CaCO ₃ (%) V		0.9
Equivalente de humedad (%)		24.7
Resistencia de la pasta (Ohms/cm)		2664.0
pH en pasta		7.5
pH en H ₂ O (1 : 2,5)		8.0
pH en 1 NKCl (1 : 2,5)		7.0
Cationes de cambio (m.e./100 gr):	Na ⁺	0.6
	K ⁺	0.7
% agua de saturación		61.0
Valor T (m.e./100 gr) NH ₄ ⁺ o Na ⁺		39.5

Descripción de las unidades taxonómicas que corresponden a la unidad cartográfica **1d**

ARGIUDOL TIPICO, franco fino, inclinado (M₁₇tc3i)

Cuadro resumen de datos analíticos del perfil

HORIZONTE		A1	B1	B2t	B3	C
Profundidad de la muestra (cm)		5-20	27-32	38-60	70-90	100-118
Factor de humedad		1.03	1.03	1.04	1.03	1.03
Materia orgánica	Carbono orgánico (%).....	2.34	0.99	0.60	0.21	-
	Nitrógeno total (%).....	0.23	0.12	0.08	-	-
	Relación C/N.....	10	8	7	-	-
Textura (%)	Arcilla (< 2μ)	27.8	30.1	34.4	22.4	23.7
	Limo (2-20μ).....	15.1	13.6	9.4	11.7	12.6
	Limo (2-50μ).....	32.7	30.1	25.1	26.3	28.8
	Arena muy fina 1 (50-74μ).....	29.9	27.5	23.0	35.3	27.2
	Arena muy fina 2 (74-100μ).....	7.6	9.7	15.0	13.3	17.2
	Arena fina (100-250μ).....	2.0	2.6	2.5	2.7	3.1
Equivalente de humedad (%)		21.7	22.8	26.2	16.9	18.9
Resistencia de la pasta (Ohms/cm)		3641	4795	3996	5417	4795
PH en pasta		5.6	5.6	5.9	6.1	6.5
PH en H ₂ O (1 : 2,5)		5.8	6.2	6.5	6.6	6.6
PH en 1 NKCl (1 : 2,5)		5.0	5.1	5.1	5.1	5.7
Cationes de cambio (m.e./100 gr):	Ca ⁺⁺	13.8	13.1	15.3	12.1	-
	Mg ⁺⁺	2.8	2.3	3.3	3.1	-
	Na ⁺	0.3	0.3	0.5	0.4	-
	K ⁺	1.5	1.1	1.1	1.0	-
% agua de saturación		55	50	55	52	54
Valor S (m.e./100 gr)		18.4	16.8	20.2	16.6	-
H de cambio (m.e./100 gr)		9.2	6.7	6.0	2.9	-
Valor T (m.e./100 gr) NH ₄ ⁺ o Na ⁺		21.9	18.9	22.7	17.6	-
% de saturación de T		84	89	89	94	-
% de saturación de S + H		67	71	78	90	-

HAPLUDOL TIPICO, franco grueso, inclinado (M₁₈tc4i)

Cuadro resumen de datos analíticos del perfil:

HORIZONTE		Ap	A12	B2	B3	C1	C2ca
Profundidad de la muestra (cm)		5-10	20-30	38-46	55-70	80-105	110-130
Materia orgánica	Materia Orgánica (%).....	2.74	2.56	1.22	0.81	0.19	0.24
	Carbono orgánico (%).....	1.59	1.49	0.71	0.47	0.11	0.14
	Nitrógeno total (%).....	0.13	0.13	0.08	0.05	-	-
	Relación C/N.....	11.6	11.1	8.6	8.4	-	-
	Fósforo Asimilable (ppm).....	38.9	44.7	15.1	18.4	4.7	0.7
Textura (%)	Arcilla (< 2μ)	20.8	20.1	24.2	18.0	11.6	10.7
	Limo (2-50μ).....	10.1	10.9	10.1	13.1	12.7	9.2
	Arena muy fina 1 (50-74μ).....	32.6	29.9	33.0	34.0	34.9	31.7
	Arena muy fina 2 (74-100μ).....	12.6	13.5	8.0	12.1	10.2	18.8
	Arena fina (100-250μ).....	6.3	7.4	5.6	8.9	5.1	8.7
CaCO ₃ (%) V		-	-	-	-	-	5.2
Equivalente de humedad (%)		19.4	19.7	22.5	17.8	14.4	13.1
PH en pasta		5.0	5.4	6.2	6.3	6.8	7.9
PH en H ₂ O (1 : 2,5)		5.3	5.8	6.7	6.8	7.3	8.2
Cationes de cambio (m.e./100 gr):	Ca ⁺⁺	10.1	9.6	12.4	9.5	10.7	-
	Mg ⁺⁺	3.0	6.0	7.1	8.9	5.0	-
	Na ⁺	0.4	0.4	0.5	0.5	0.7	0.8
	K ⁺	2.7	2.6	2.5	2.3	2.3	1.3
Valor S (m.e./100 gr)		16.2	18.6	22.5	21.2	18.7	-
Valor T (m.e./100 gr) NH ₄ ⁺ o Na ⁺		18.2	18.7	22.5	18.4	17.0	16.3

Descripción de las unidades taxonómicas que corresponden a la unidad cartográfica 2 c.

ARGIUDOL TIPICO, franco fino, inclinado (M₁₇tc3i) y ARGIUDOL TIPICO, franco, somero inclinado (M₁₇tcsi)

Cuadro resumen de datos analíticos del perfil:

HORIZONTE		Ap	A12	B1	B21t	B22t	B3
Profundidad de la muestra (cm)		2-15	18-25	30-39	42-60	64-86	90-130
Factor de Humedad		1.04	1.03	1.04	1.06	1.06	1.05
Materia orgánica	Carbono orgánico (%).....	3.72	2.39	1.11	0.64	0.43	-
	Nitrógeno total (%).....	0.34	0.22	0.15	0.09	0.07	-
	Relación C/N.....	11	11	8	7	7	-
Textura (%)	Arcilla (< 2μ)	31.7	28.6	35.5	46.1	45.2	37.5
	Limo (2-20μ).....	16.9	17.2	13.5	10.8	9.8	18.1
	Limo (2-50μ).....	34.1	36.0	30.2	24.1	23.2	32.0
	Arena muy fina 1 (50-74μ).....	19.7	20.3	25.2	19.0	23.2	23.6
	Arena muy fina 2 (74-100).....	12.7	14.4	7.9	9.6	7.1	7.6
	Arena fina (100-250μ).....	1.6	0.5	1.0	1.0	1.2	1.3
Arena media (250-500μ).....		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Equivalente de humedad (%)		24.9	21.6	26.1	31.2	29.2	25.9
PH en pasta		4.8	5.5	5.9	6.1	6.4	7.2
PH en 1 N KCl (1 : 2,5)		4.6	5.1	5.4	5.5	5.5	6.6
PH en H ₂ O (1 : 2,5)		5.2	5.8	6.3	6.5	6.6	7.6
Cationes de cambio (m.e./100 gr):	Ca ⁺⁺	13.1	13.8	15.5	19.2	17.8	-
	Mg ⁺⁺	3.4	3.5	2.4	5.1	6.6	-
	Na ⁺	0.5	0.4	0.9	0.9	0.9	-
	K ⁺	2.8	2.2	2.3	2.3	2.3	-
% agua de saturación		54	52	52	59	62	48
H de cambio (m.e./100 gr)		18.7	11.5	8.7	7.8	6.4	-
Valor S (m.e./100 gr)		19.8	19.9	21.1	27.5	27.6	-
Valor T (m.e./100 gr) NH ₄ ⁺ o Na ⁺		29.0	24.0	25.1	30.0	28.4	-

HAPLUDOL PETROCÁLCICO, franco fino (M₁₈pa3)

Cuadro resumen de datos analíticos del perfil:

HORIZONTE		A1
Profundidad de la muestra (cm)		3- 20
Materia orgánica	Carbono orgánico (%).....	4.49
	Nitrógeno total (%).....	0.364
	Relación C/N.....	12
Textura (%)	Arcilla (< 2μ)	32.4
	Limo (2-20μ).....	24.3
	Limo (2-50μ).....	39.2
	Arena muy fina (50-10μ).....	24.4
	Arena fina (100-250μ).....	4.0
Equivalente de humedad (%)		31.3
pH en pasta		6.7
pH en H ₂ O (1 : 2,5)		7.6
Cationes de cambio (m.e./100 gr):	Ca ⁺	27.5
	Na ⁺	0.5
	Mg ⁺⁺	4.3
	K ⁺	3.4
Valor S (m.e./100 gr)		35.7
H de cambio (m.e./100 gr.)		6.2
Valor T (m.e./100 gr) NH ₄ ⁺ o Na ⁺		36.0
% de saturación de T		98

Descripción de las unidades taxonómicas que corresponden a la unidad cartográfica 2 f.

ARGIUDOL TIPICO, franco fino, somero (M₁₇tc3s) y ARGIUDOL TIPICO (M₁₇tc)

Cuadro resumen de datos analíticos del perfil:

HORIZONTE		Ap	A12	B1	B2t	B3	C
Profundidad de la muestra (cm)		5-9	16-27	33-37	45-60	77-92	120-134
Materia orgánica	Carbono orgánico (%).....	4.52	3.70	1.23	0.71	0.25	0.11
	Nitrógeno total (%).....	0.43	0.39	0.15	0.10	-	-
	Relación C/N.....	10	10	8	7	-	-
Textura (%)	Arcilla (< 2μ)	24.6	25.5	28.4	31.5	24.3	18.7
	Limo (2-20μ).....	19.3	18.7	18.2	16.7	15.5	16.5
	Limo (2-50μ).....	39.2	38.7	40.7	32.9	36.4	37.7
	Arena muy fina (50-100μ).....	35.1	34.7	29.7	34.0	37.5	41.6
	Arena fina (100-250μ).....	1.1	1.1	1.2	1.6	1.8	2.0
PH en pasta		5.6	5.6	6.4	6.6	6.8	6.9
PH en H ₂ O (1 : 2,5)		6.4	6.2	6.8	7.0	7.0	7.3
Cationes de cambio (m.e./100 gr):	Ca ⁺⁺	14.3	17.1	15.4	15.8	12.0	11.1
	Mg ⁺⁺	2.4	1.2	4.6	5.6	4.9	3.8
	Na ⁺	0.4	0.3	1.0	0.5	0.5	0.5
	K ⁺	3.6	3.4	2.0	1.3	1.2	1.3
Valor S (m.e./100 gr)		20.7	22.0	23.0	23.2	18.6	16.7
Valor T (m.e./100 gr) NH ₄ ⁺ o Na ⁺		27.4	29.0	25.3	26.0	18.5	15.8

HAPLUDOL PETROCÁLCICO, franco fino (M₁₈pa3)

Cuadro resumen de datos analíticos del perfil:

HORIZONTE		A1
Profundidad de la muestra (cm)		3- 20
Materia orgánica	Carbono orgánico (%).....	4.49
	Nitrógeno total (%).....	0.364
	Relación C/N.....	12
Textura (%)	Arcilla (< 2μ)	32.4
	Limo (2-20μ).....	24.3
	Limo (2-50μ).....	39.2
	Arena muy fina (50-10μ).....	24.4
	Arena fina (100-250μ).....	4.0
Equivalente de humedad (%)		31.3
pH en pasta		6.7
pH en H ₂ O (1 : 2,5)		7.6
Cationes de cambio (m.e./100 gr):	Ca ⁺	27.5
	Na ⁺	0.5
	Mg ⁺⁺	4.3
	K ⁺	3.4
Valor S (m.e./100 gr)		35.7
H de cambio (m.e./100 gr.)		6.2
Valor T (m.e./100 gr) NH ₄ ⁺ o Na ⁺		36.0
% de saturación de T		98

Descripción de las unidades taxonómicas que corresponden a la unidad cartográfica 3 a.

HAPLUSTOL TIPICO, fino (M₂₄tc2)

Cuadro resumen de datos analíticos del perfil:

HORIZONTE		Ap	B21	B22	B3
Profundidad de la muestra (cm)		4-15	22-35	40-55	65-80
Factor de Humedad		1.04	1.05	1.06	1.05
Materia orgánica	Carbono orgánico (%).....	2.77	1.44	1.44	-
	Nitrógeno total (%).....	0.29	0.16	0.09	-
	Relación C/N.....	10	9	5	-
Textura (%)	Arcilla (< 2μ)	35.1	39.6	40.1	33.0
	Limo (2-20μ).....	21.8	17.5	12.1	17.8
	Limo (2-50μ).....	38.4	35.2	27.1	35.0
	Arena muy fina 1 (50-74μ).....	16.6	19.7	19.1	22.8
	Arena muy fina 2 (74-100μ).....	9.0	4.9	12.8	7.9
Arena fina (100-250μ).....		0.9	0.6	0.9	1.3
Equivalente de humedad (%)		25.5	26.7	28.9	26.0
PH en pasta		5.6	6.0	6.2	6.6
PH en H ₂ O (1 : 2,5)		5.9	6.2	6.9	6.9
PH en 1 N KCl (1 : 2,5)		5.2	5.3	5.2	5.6
Cationes de cambio (m.e./100 gr):	Ca ⁺⁺	18.5	19.8	20.5	-
	Mg ⁺⁺	6.9	4.7	9.0	-
	Na ⁺	0.3	0.3	0.4	0.5
	K ⁺	2.8	2.1	1.3	1.1
% agua de saturación		58	62	63	64
H de cambio (m.e./100 gr.)		9.2	7.1	6.4	-
Valor S (m.e./100 gr)		28.5	26.9	31.2	-
Valor T (m.e./100 gr) NH ₄ ⁺ o Na ⁺		33.2	30.2	34.3	28.6
% de saturación de T		86	89	91	-

HAPLUSTOL ÉNTICO, inclinado (M₂₄eni)

Cuadro resumen de datos analíticos del perfil:

HORIZONTE		A1	AC	C
Profundidad de la muestra (cm)		3-35	43-72	77-100
Factor de Humedad		1.07	1.06	1.03
Materia orgánica	Carbono orgánico (%).....	1.23	0.92	-
	Nitrógeno total (%).....	0.19	0.16	-
	Relación C/N.....	7	6	-
Textura (%)	Arcilla (< 2μ)	25.0	23.3	22.2
	Limo (2-20μ).....	14.7	16.4	16.0
	Limo (2-50μ).....	27.4	31.5	30.3
	Arena muy fina 1 (50-74μ).....	17.6	20.1	18.2
	Arena muy fina 2 (74-100μ).....	16.1	11.7	12.5
	Arena fina (100-250μ).....	11.6	11.1	9.2
	Arena media (250-500μ).....	2.2	2.2	1.8
Arena gruesa (500-1000μ).....		0.1	0.1	0.1
CaCO ₃ (%) V		0	0	5.7
Equivalente de humedad (%)		19.3	19.7	21.8
PH en pasta		6.2	7.2	7.7
PH en H ₂ O (1 : 2,5)		6.5	7.5	8.1
PH en 1 N KCl (1 : 2,5)		5.5	6.2	6.9
Cationes de cambio (m.e./100 gr):	Ca ⁺⁺	16.7	19.7	-
	Mg ⁺⁺	3.7	3.3	-
	Na ⁺	0.4	0.4	-
	K ⁺	2.9	2.1	-
% agua de saturación		62	55	53
H de cambio (m.e./100 gr.)		4.9	3.2	-
Valor S (m.e./100 gr)		23.7	25.5	-
Valor T (m.e./100 gr) NH ₄ ⁺ o Na ⁺		24.6	24.6	-
% de saturación de T		96	100	-

HAPLUSTOL LITICO (M₂₄li)

Cuadro resumen de datos analíticos del perfil:

HORIZONTE		A1
Profundidad de la muestra (cm)		2-18
Factor de humedad		1.04
Materia orgánica	Carbono orgánico (%).....	2.14
	Nitrógeno total (%).....	0.265
	Relación C/N.....	8
Textura (%)	Arcilla (< 2μ)	27.0
	Limo (2-20μ).....	15.6
	Limo (2-50μ).....	29.0
	Arena muy fina 1 (50-74μ).....	16.9
	Arena muy fina 2 (74-100μ).....	12.2
	Arena fina (100-250μ).....	10.2
	Arena fina (250-500μ).....	0.5
Arena fina (500-1000μ).....		0.2
CaCO ₃ (%) V		4.0
Equivalente de humedad (%)		24.9
PH en pasta		7.4
PH en H ₂ O (1: 2,5)		7.7
PH en 1 N KCl (1 : 2,5)		7.0
Cationes de cambio (m.e./100 gr):	Na ⁺	0.6
	K ⁺	1.9
% agua de saturación		54
Valor T (m.e./100 gr) NH ₄ ⁺ o Na ⁺		31.6

Anexo 3: Determinación de Caudales Líquidos por el Modelo Hidrológico HYMO

(INCYTH, 1984; Mintegui Aguirre etal, 1990; Moreira Madueño, 1991; López Cadenas de Llano, 1998).

Curva de Masa de Lluvia (mm)

DT: 0.5 horas

0 22.5 33 36.75 38.25 39.75 42.75 43.5 45 45.75 60 66 69.75 75 77.25 79.5 81.2

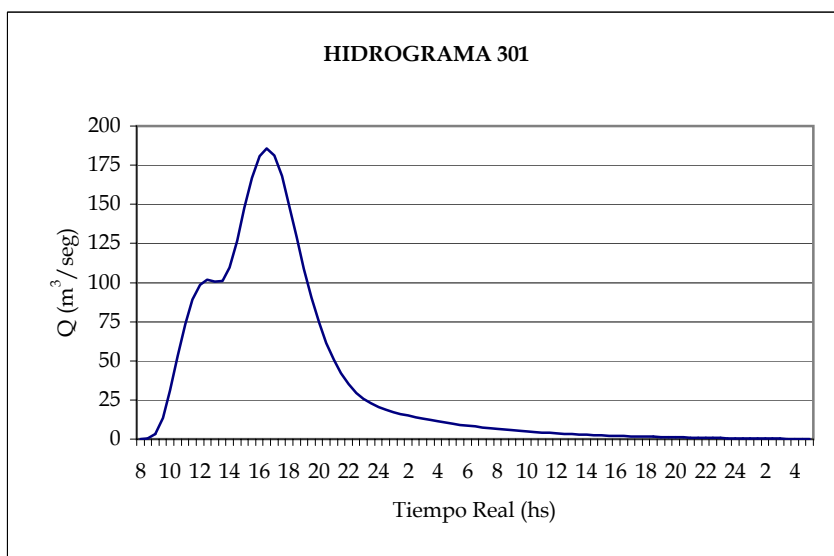
C NACIENTE DEL SAUCE CHICO

COMPUT HID=301 DT=0.5 H A=106.89 KMC CN=89 HT=400 M L=23.4672 KM

0 ESCORRENTIA= 51.2 MM 5.478 HM3

CAUDAL PICO= 185.7 M3/S

TIEMPO AL PICO= 8.50 HORAS



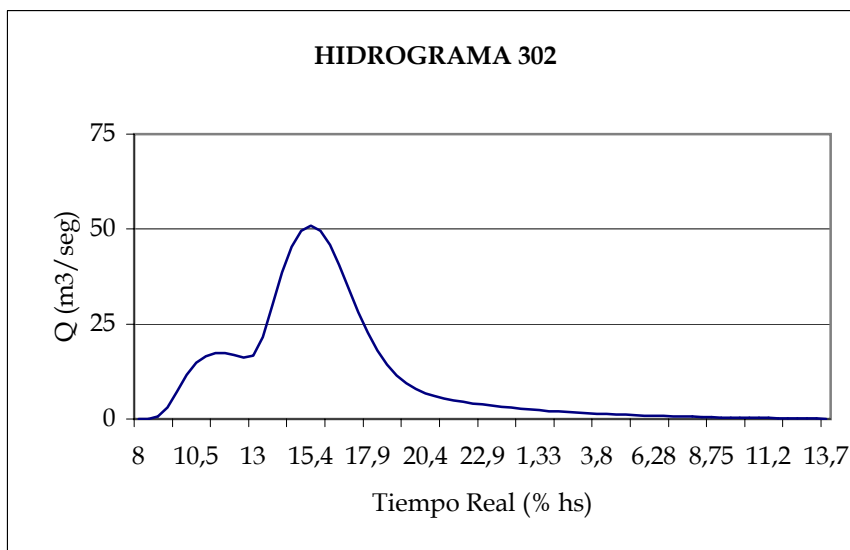
C ARROYO BARRIL

COMPUT HID=302 DT=0.5 H A=35.26 KMC CN=78 HT=250 M L=13.1174 KM

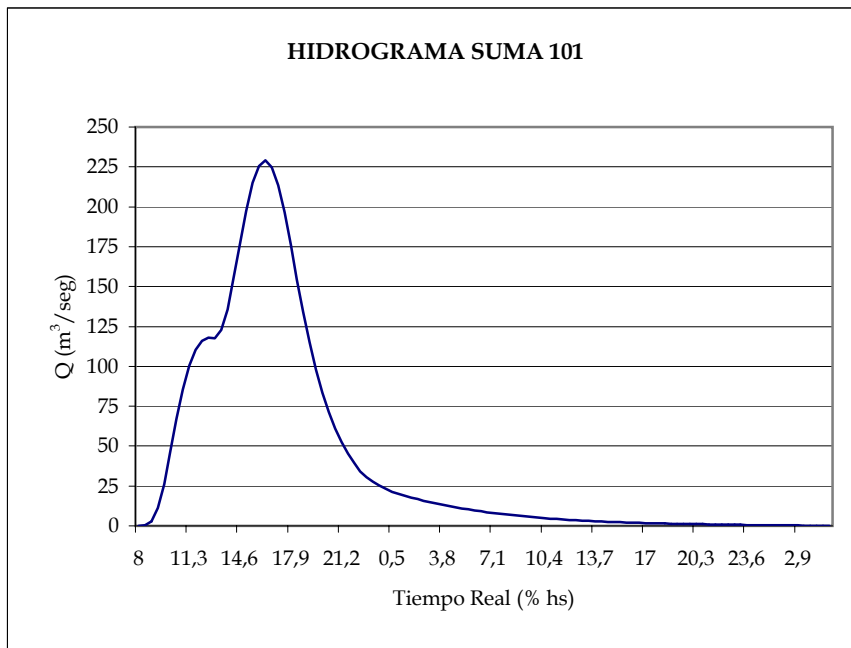
0 ESCORRENTIA= 31.0 MM 1.095 HM3

CAUDAL PICO= 50.9 M3/S

TIEMPO AL PICO= 7.43 HORAS

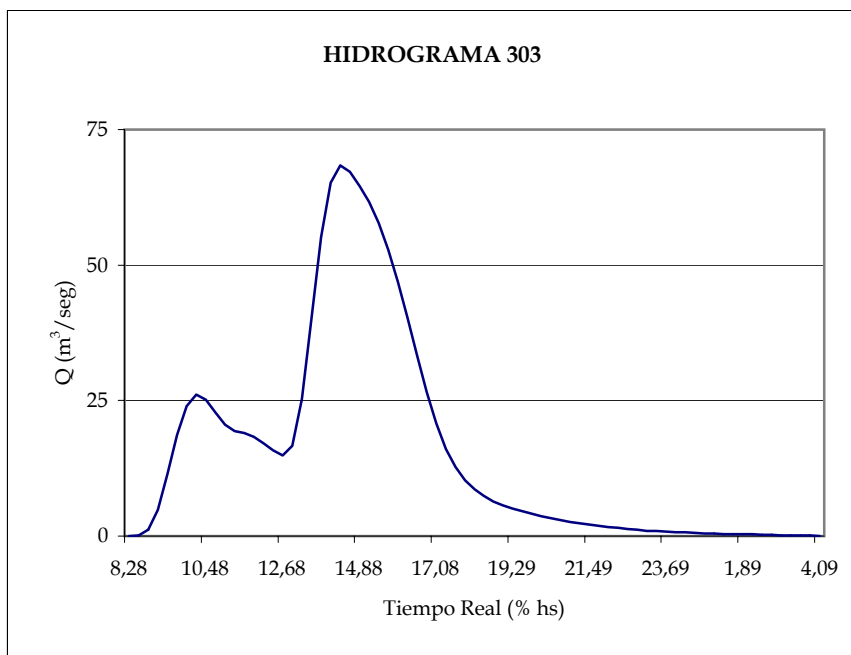


0 ESCORRENTIA= 46.2 MM 6.573 HM3
 CAUDAL PICO= 229.0 M3/S
 TIEMPO AL PICO= 8.25 HORAS



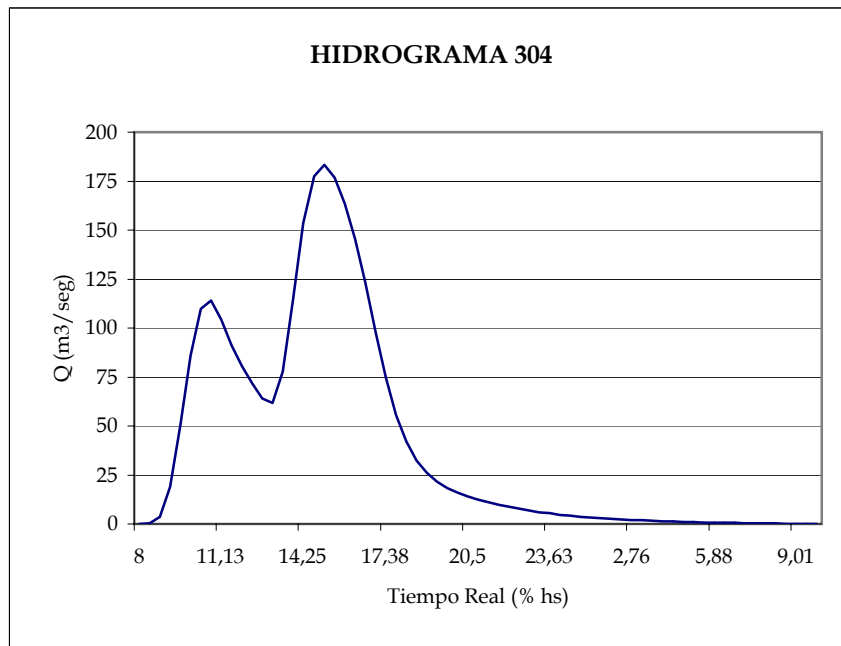
C ARROYO SAN JUAN
 COMPUT HID=303 DT=0.5 H A=35.69 KMC CN=78 HT=650 M L=13.6986 KM

0 ESCORRENTIA= 31.0 MM 1.108 HM3
 CAUDAL PICO= 68.4 M3/S
 TIEMPO AL PICO= 6.33 HORAS



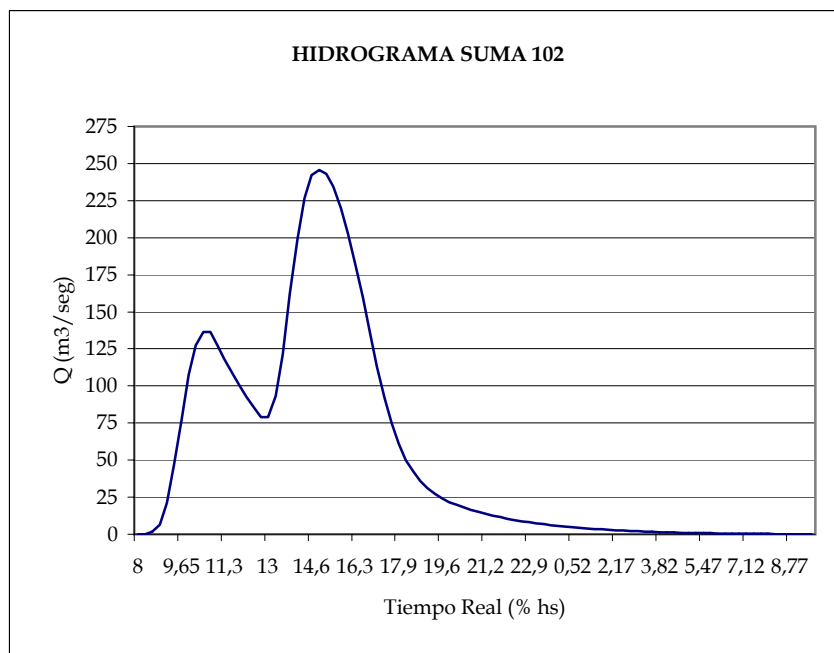
C NACIENTE DEL VENTANA
 COMPUT HID=304 DT=0.5 H A=76.74 KMC CN=88 HT=700 M L=17.1498 KM

0 ESCORRENTIA= 49.1 MM 3.770 HM3
 CAUDAL PICO= 183.4 M3/S
 TIEMPO AL PICO= 7.03 HORAS



SUMAR HID=102

0 ESCORRENTIA= 43.4 MM 4.878 HM3
 CAUDAL PICO= 245.7 M3/S
 TIEMPO AL PICO= 6.88 HORAS



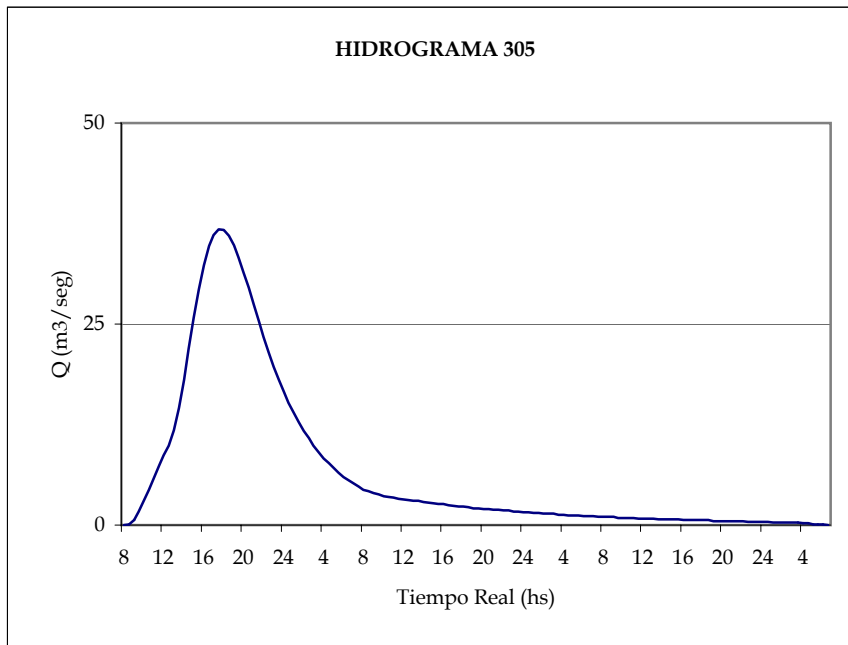
C ARROYO VENTANA

COMPUT HID=305 DT=0.5 H A=52.13 KMC CN=78 HT=40 M L=10.5448 KM

0 ESCORRENTIA= 32.3 MM 1.683 HM3

CAUDAL PICO= 36.8 M3/S

TIEMPO AL PICO= 9.50 HORAS

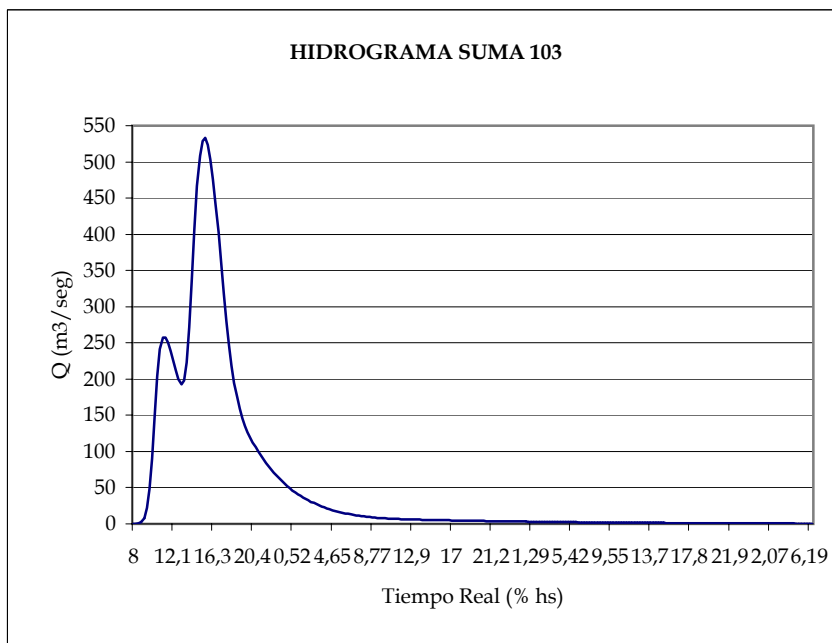


SUMAR HID=103

0 ESCORRENTIA= 39.9 MM 13.122 HM3

CAUDAL PICO= 533.4 M3/S

TIEMPO AL PICO= 7.43 HORAS



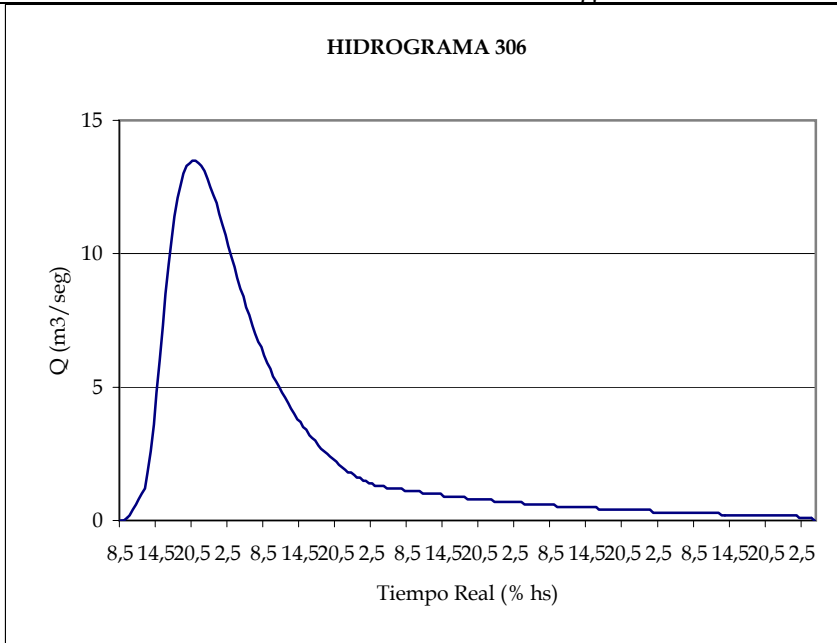
C ARROYO SAUCE CHICO

COMPUT HID=306 DT=0.5 H A=64.53 KMC CN=67 HT=30 M L=16.3421 KM

0 ESCORRENTIA= 16.5 MM 1.066 HM3

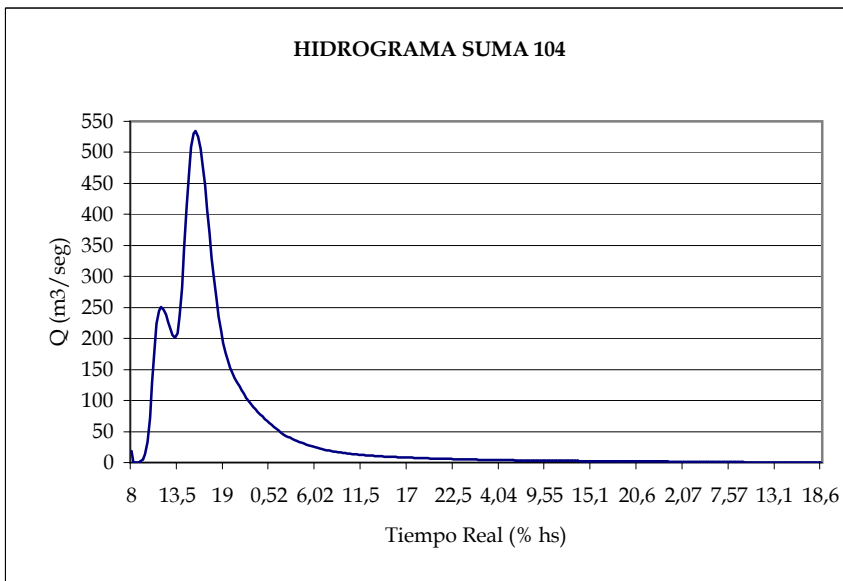
CAUDAL PICO= 13.5 M3/S

TIEMPO AL PICO= 12.50 HORAS



SUMAR HID=104

- 0 ESCORRENTIA= 36.0 MM 14.188 HM3
- CAUDAL PICO= 534.7 M3/S
- TIEMPO AL PICO= 7.71 HORAS



Anexo 4: Listado y secuencia de la cartografía temática confeccionada con el Sistema de Información Geográfica para la cuenca Alta del A° Sauce Chico (SURFER, 1994; AUTOCAD, 1997; IDRISI, 1997).

MAPAS DE PRIMER ORDEN. Obtenidos por digitalización y rasterización de los mismos.
((v): vectorial – (r): raster)

1. Mapa topográfico (v),
2. Mapa del sistema de drenaje (v),
3. Mapa de límites de cuenca y subcuencas (U.M.G.) (v) (r),
4. Mapa de ubicación de cortes transversales en el terreno (v) (r),
5. Mapa del modelo digital de terreno (D.T.M.) (r),
6. Mapa ortogonal del terreno (r),
7. Mapa de orientación de ladera (r),
8. Mapa de aspecto e iluminación de la cuenca (r),
9. Mapa de rangos de porcentuales de pendiente (r),
10. Mapa de pendiente gradual (r),
11. Mapa de longitud de pendientes (r),
12. Mapa de longitud de pendientes acumuladas (r),
13. Mapa de dirección del flujo del agua según ángulos de ladera (r),
14. Mapa de relevamiento de la cobertura vegetal y uso del suelo (v) (r),
15. Mapa de litofacies o geológico (v) (r),
16. Mapa edafológico (v) (r),
17. Mapa de volumen de escorrentía (Q) (v) (r),
18. Mapa de caudal instantáneo máximo (q_p) (v) (r),
19. Mapa conteniendo la imagen satelital del área en estudio (r).

MAPAS DE SEGUNDO ORDEN. Obtenidos por álgebra de mapas (Eastman, 1997; IDRISI for Windows, 1997).

20. Mapa de grupos hidrológicos o de infiltración (r),
21. Mapa del número hidrológico por subcuenca (r),
22. Mapa de R: índice de erosión pluvial (r),
23. Mapa de K: erosionabilidad del suelo (r),
24. Mapa de L: de longitud de pendiente (r),
25. Mapa de S: de pendiente (r),
26. Mapa de L x S: factor topográfico (r),
27. Mapa de C: de ordenación de cultivos (r),
28. Mapa de P: de control de la erosión mediante prácticas de cultivo (r),
29. Mapa ortogonal de cobertura vegetal (r).

MAPAS DE TERCER ORDEN Obtenidos por álgebra de mapas (Eastman, 1997; IDRISI for Windows, 1997).

30. Mapa de pérdidas de suelo reales actuales A, según la U.S.L.E. (r),
31. Mapa de pérdidas potenciales (r),
32. Mapa de áreas afectadas por erosión hídrica laminar (r),
33. Mapa de sedimentos emitidos por una tormenta aislada Y, según la M.U.S.L.E. (r),
34. Mapa de sedimentos emitidos totales Y' (r),
35. Mapa de degradación específica D.E. según la F.A.O. (r),
36. Mapa de pérdida real de la cuenca P.R. (r),
37. Mapa de zonificación para el Plan de Ordenamiento Territorial para la conservación y Gestión del medio natural (r).

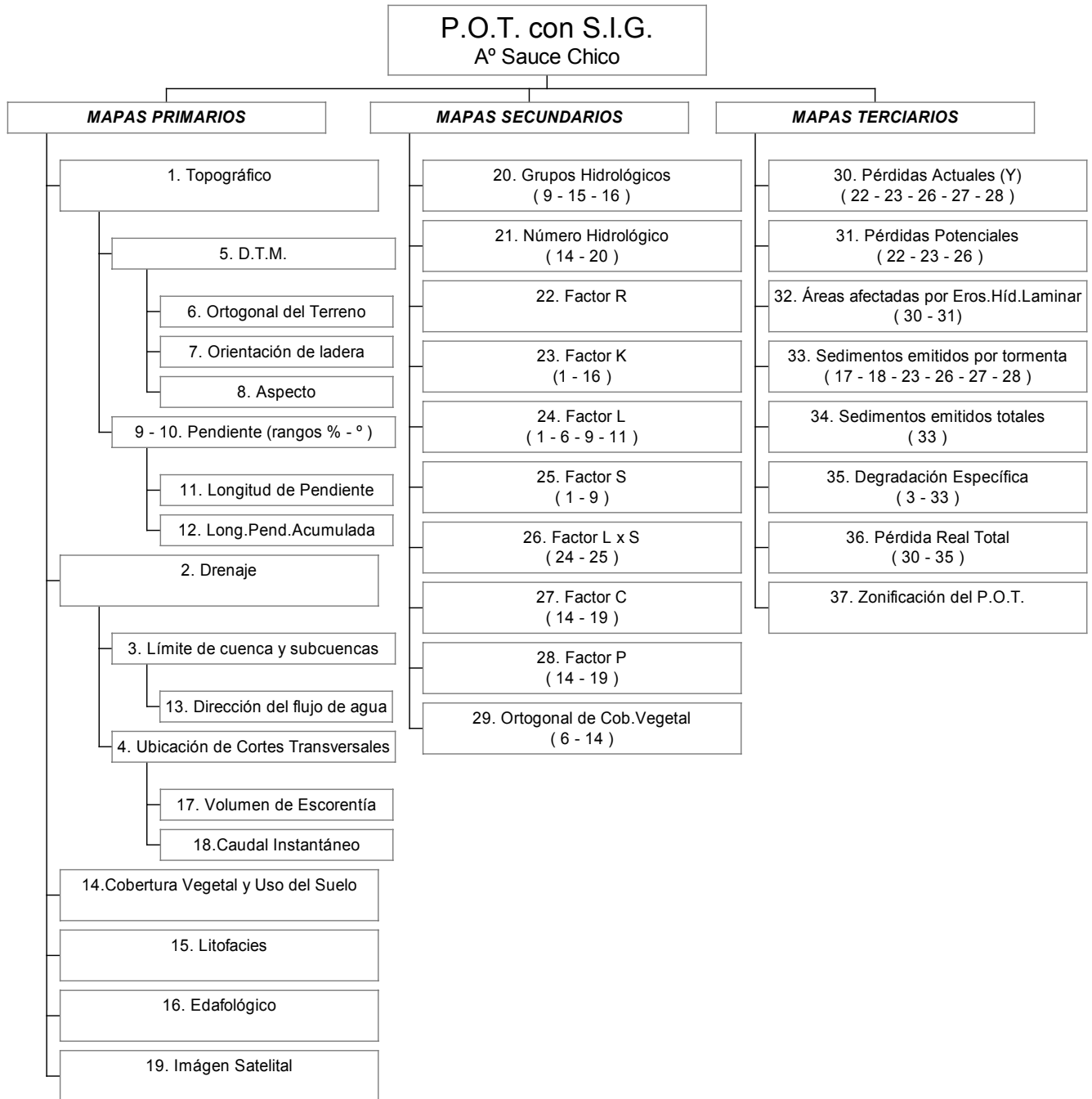
Nota Aclaratoria:

De los 37 mapas que componen el trabajo, solo se exponen los 22 que se detallan a continuación, con el objeto de no interferir en la adecuada interpretación visual de los mismos.

Mapa de ubicación en la Provincia de Buenos Aires.

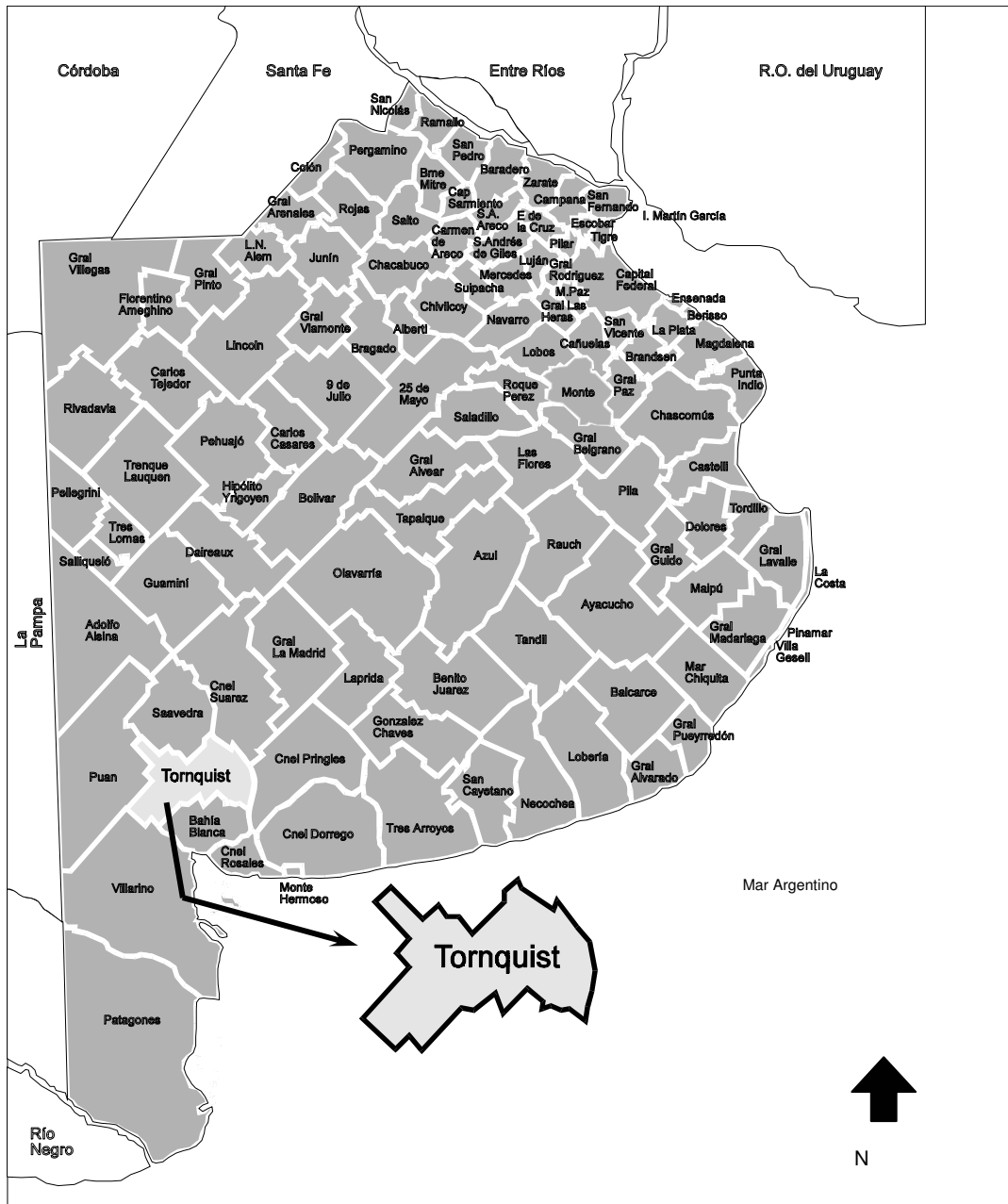
1. Mapa topográfico (v),
2. Mapa del sistema de drenaje (v),
5. Mapa del modelo digital de terreno (D.T.M.) tridimensional y bidimensional (r),
6. Mapa ortogonal del terreno (r),
9. Mapa de rangos de porcentuales de pendiente (r),
14. Mapa de relevamiento de la cobertura vegetal y uso del suelo (v) (r),
16. Mapa edafológico (v) (r),
19. Mapa conteniendo la imagen satelital del área en estudio (r).
22. Mapa de R: índice de erosión pluvial (r),
23. Mapa de K: erosionabilidad del suelo (r),
24. Mapa de L: de longitud de pendiente (r),
25. Mapa de S: de pendiente (r),
27. Mapa de C: de ordenación de cultivos (r),
28. Mapa de P: de control de la erosión mediante prácticas de cultivo (r),
30. Mapa de pérdidas de suelo reales actuales A, según la U.S.L.E. (r),
31. Mapa de pérdidas potenciales (r),
33. Mapa de sedimentos emitidos por una tormenta aislada Y, según la M.U.S.L.E. (r),
35. Mapa de degradación específica D.E. según la F.A.O. (r),
36. Mapa de pérdida real de la cuenca P.R. (r),
37. Mapa de zonificación para el Plan de Ordenamiento Territorial para la conservación y Gestión del medio natural (r).

Secuencia de confección de la cartografía temática elaborada con el Sistema de Información Geográfica (S.I.G.) para la cuenca Alta del A° Sauce Chico (SURFER, 1994; AUTOCAD, 1997; IDRISI, 1997).

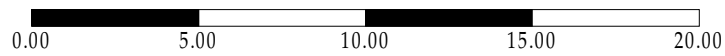
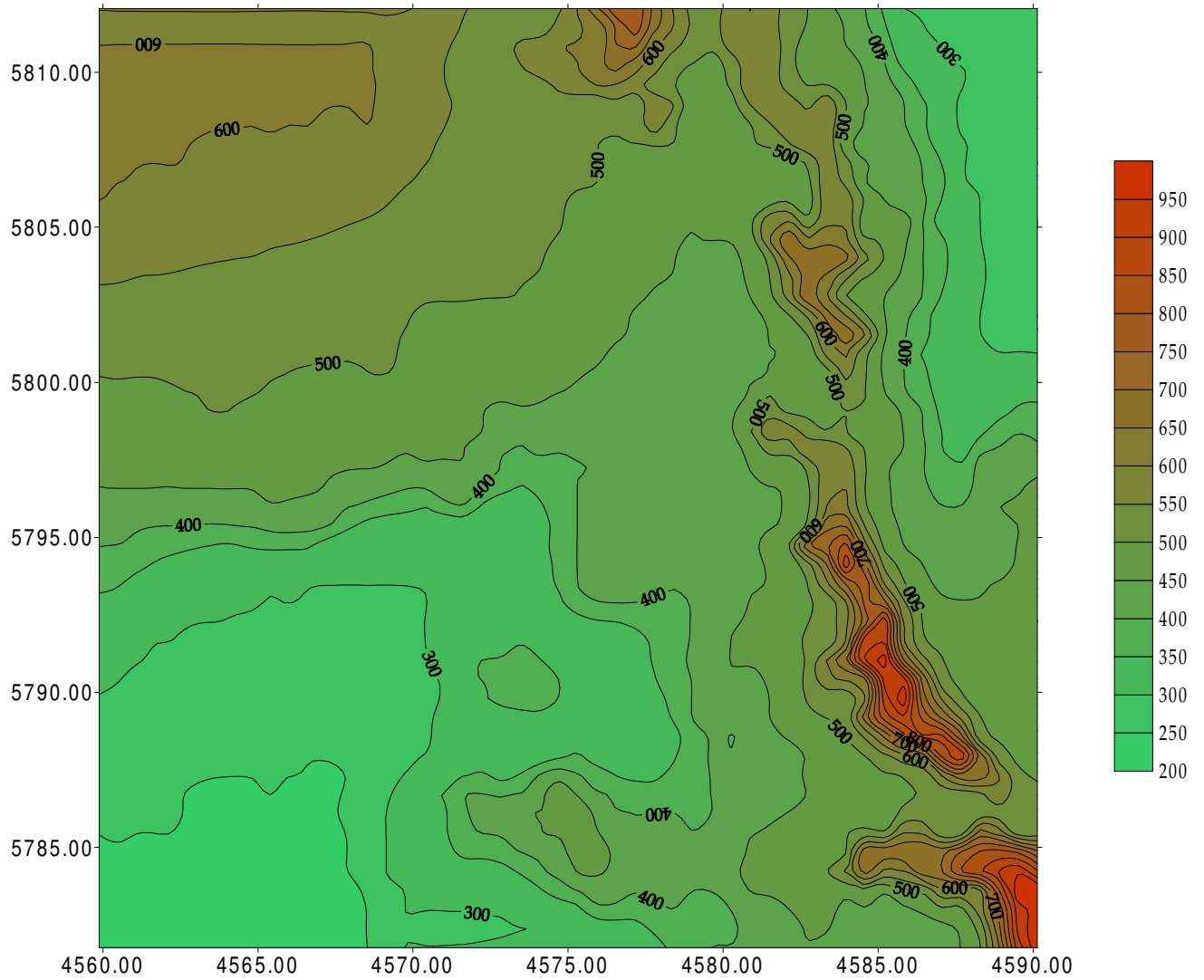


Anexo 5: Cartografía temática.

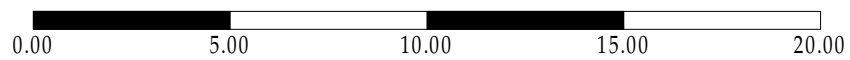
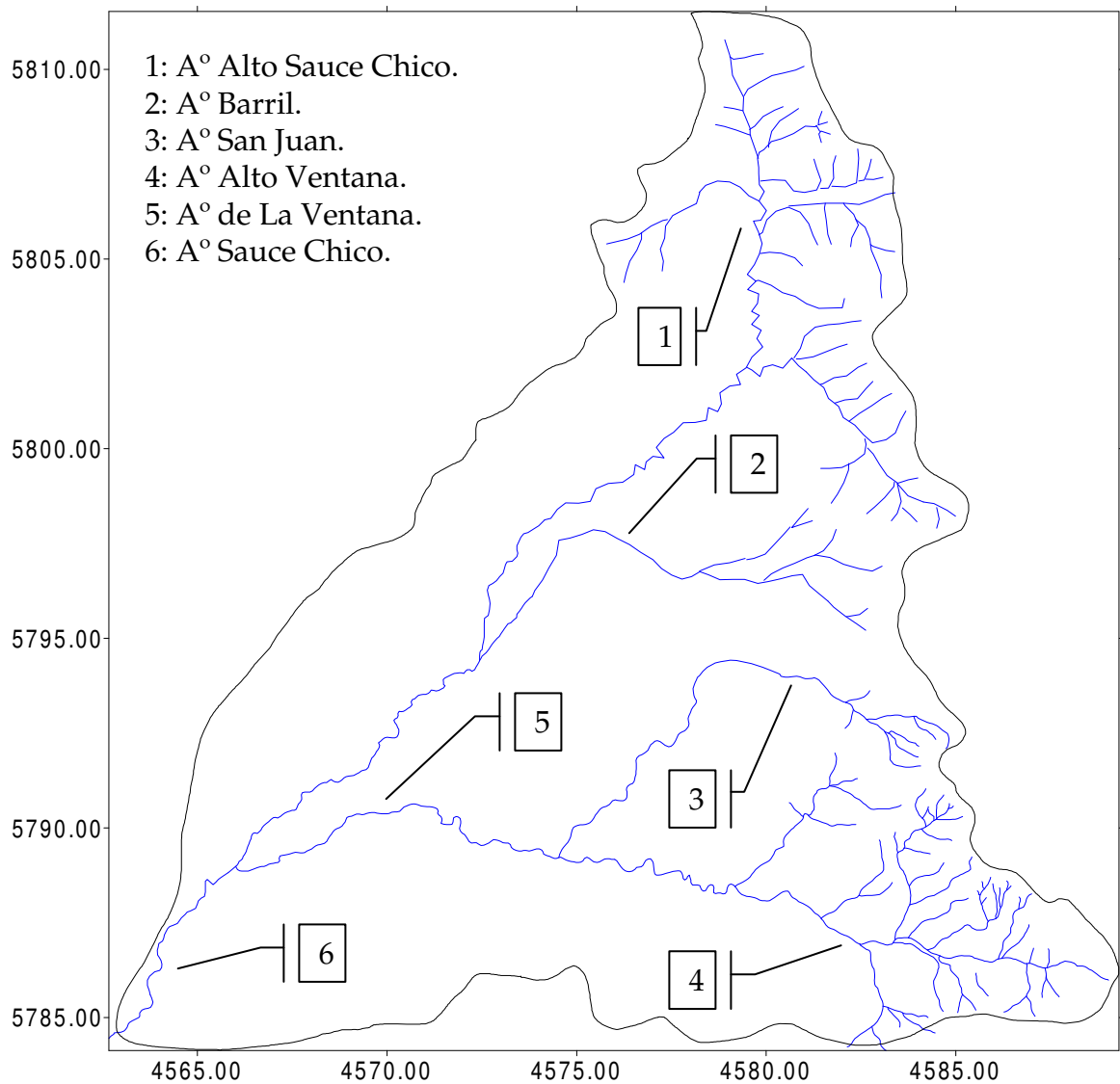
Mapa de Ubicación dentro de la Provincia de Buenos Aires.



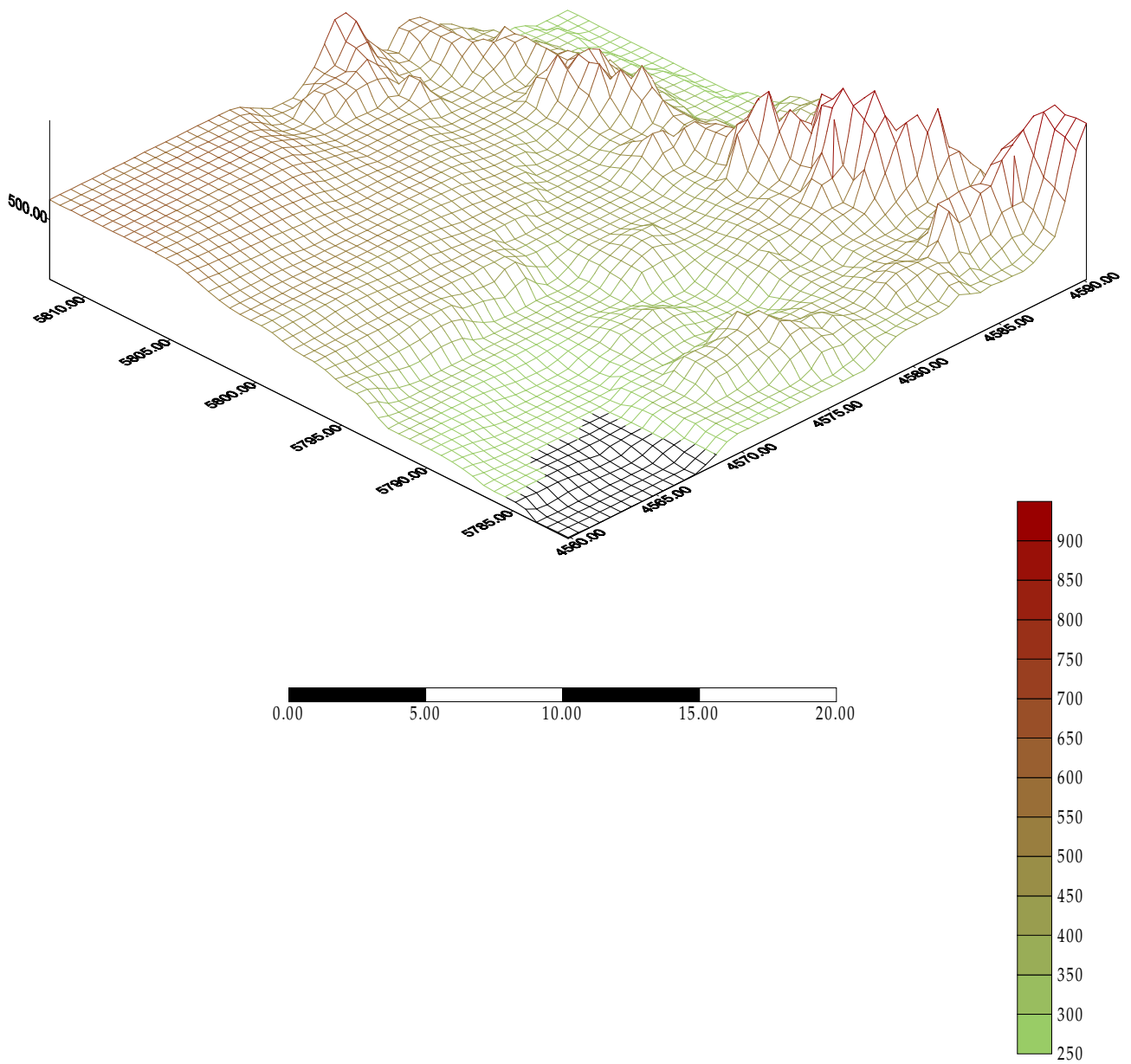
Mapa Topográfico

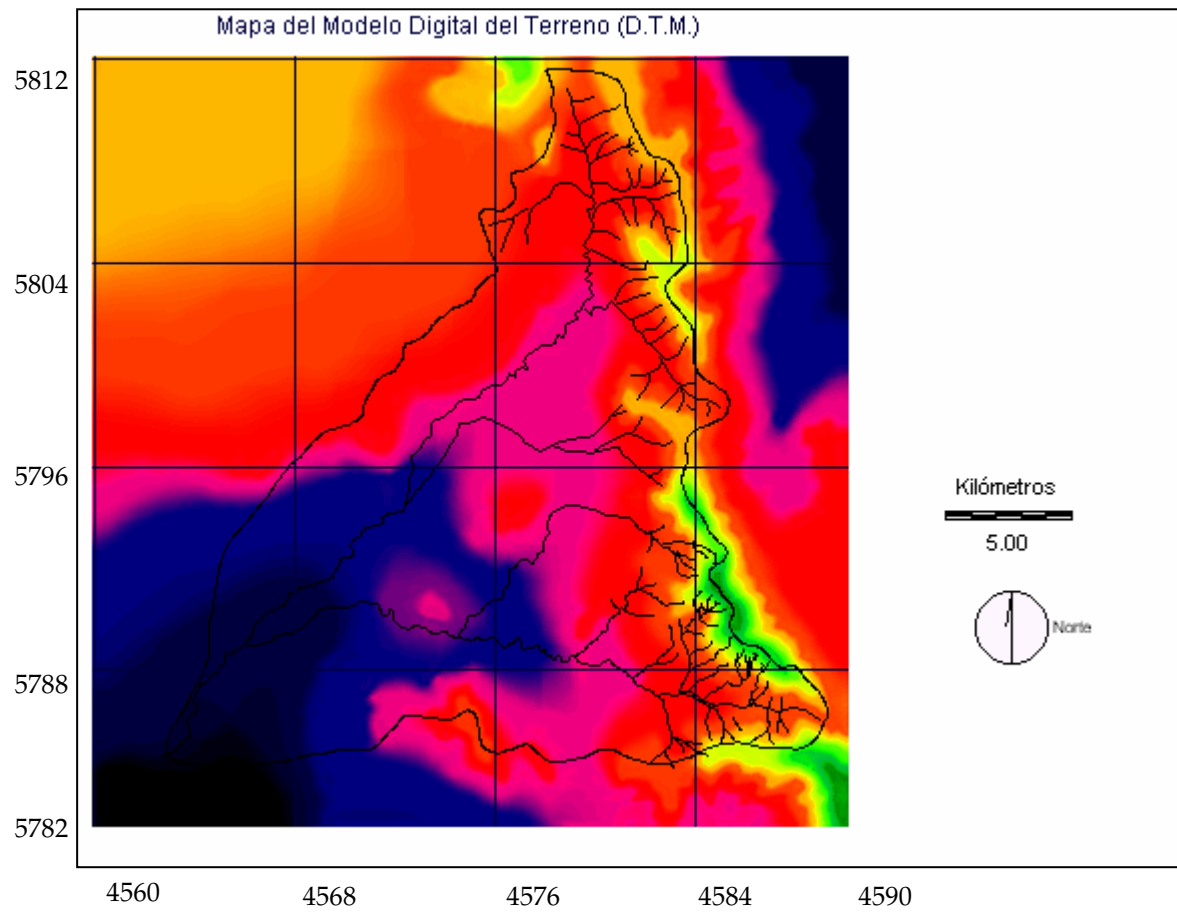


Mapa de Drenaje

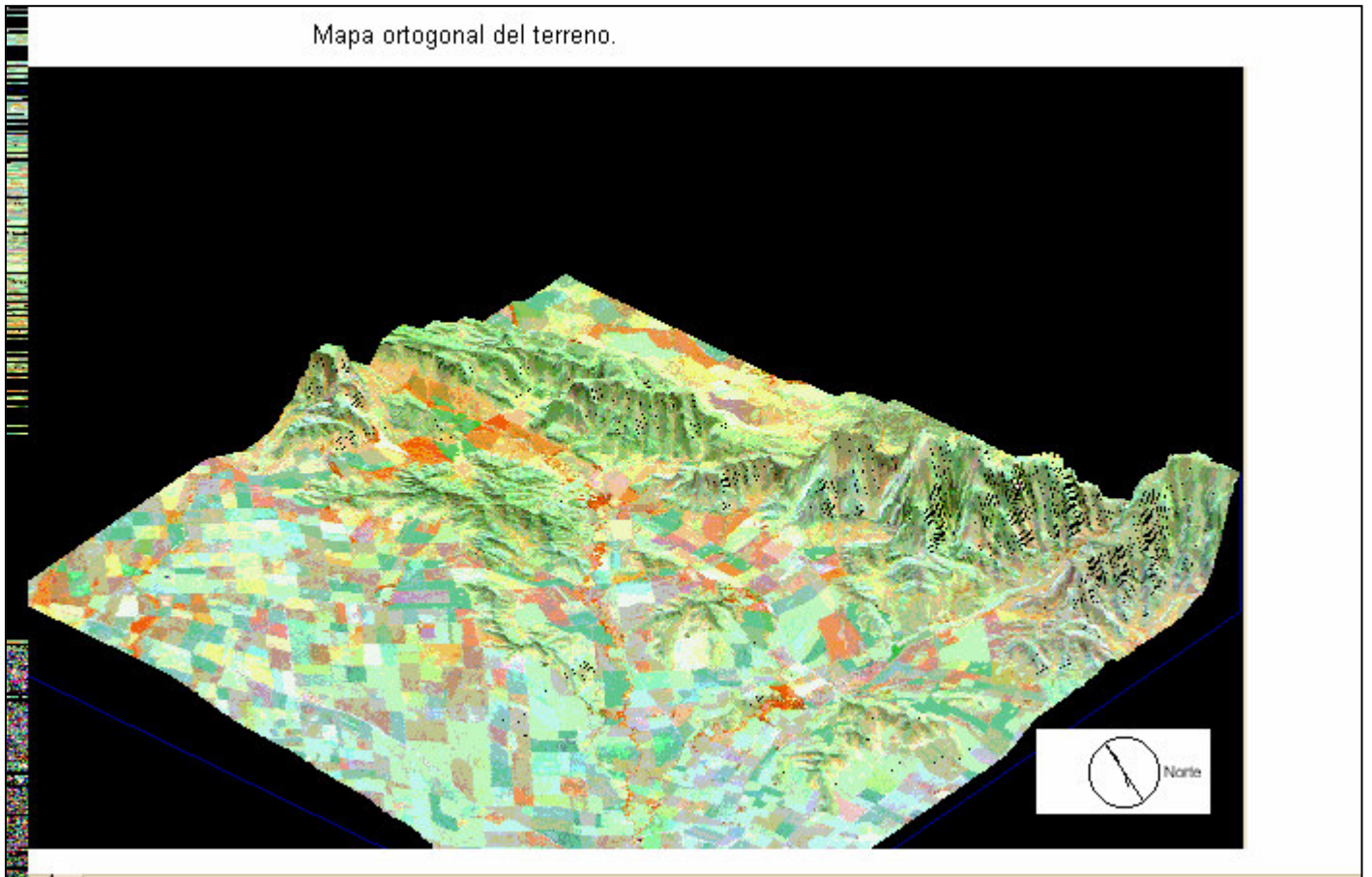


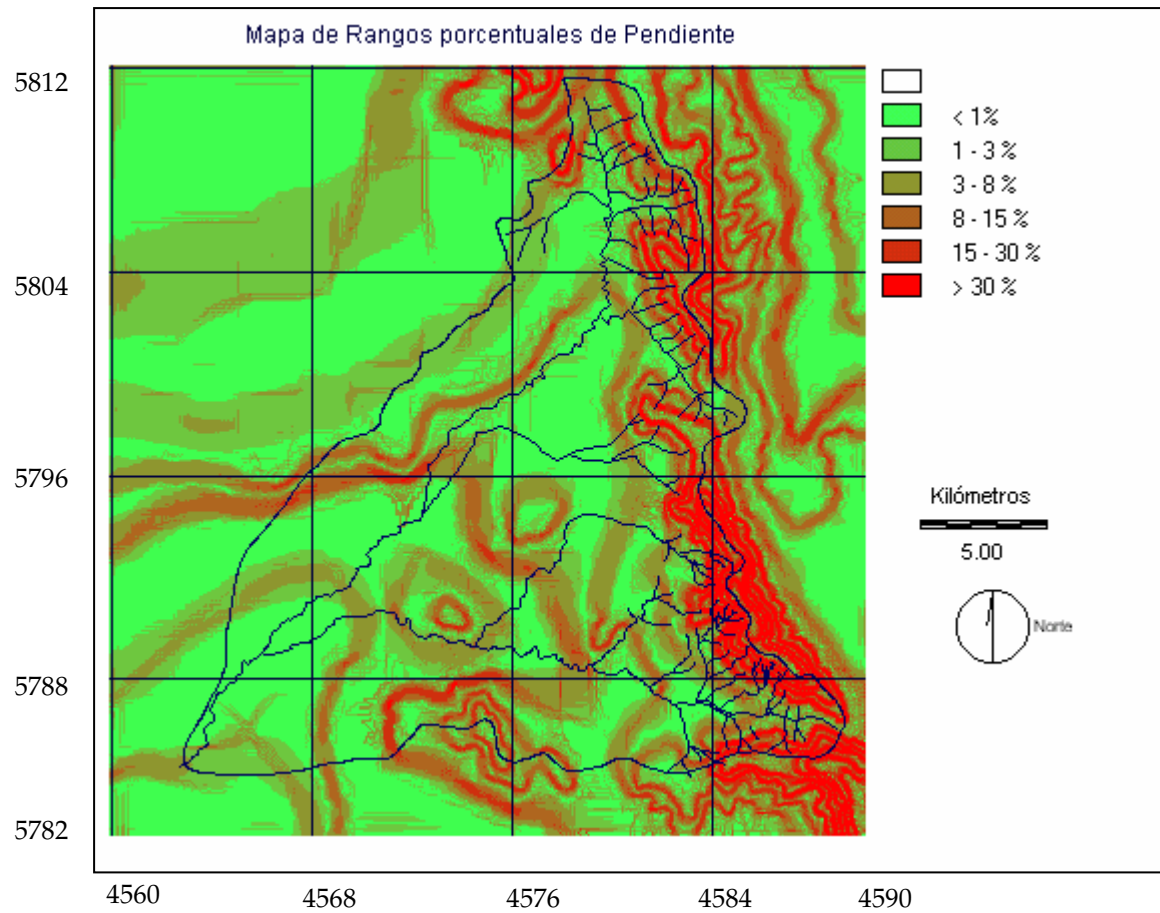
Mapa del Modelo Digital del Terreno (D.T.M.)

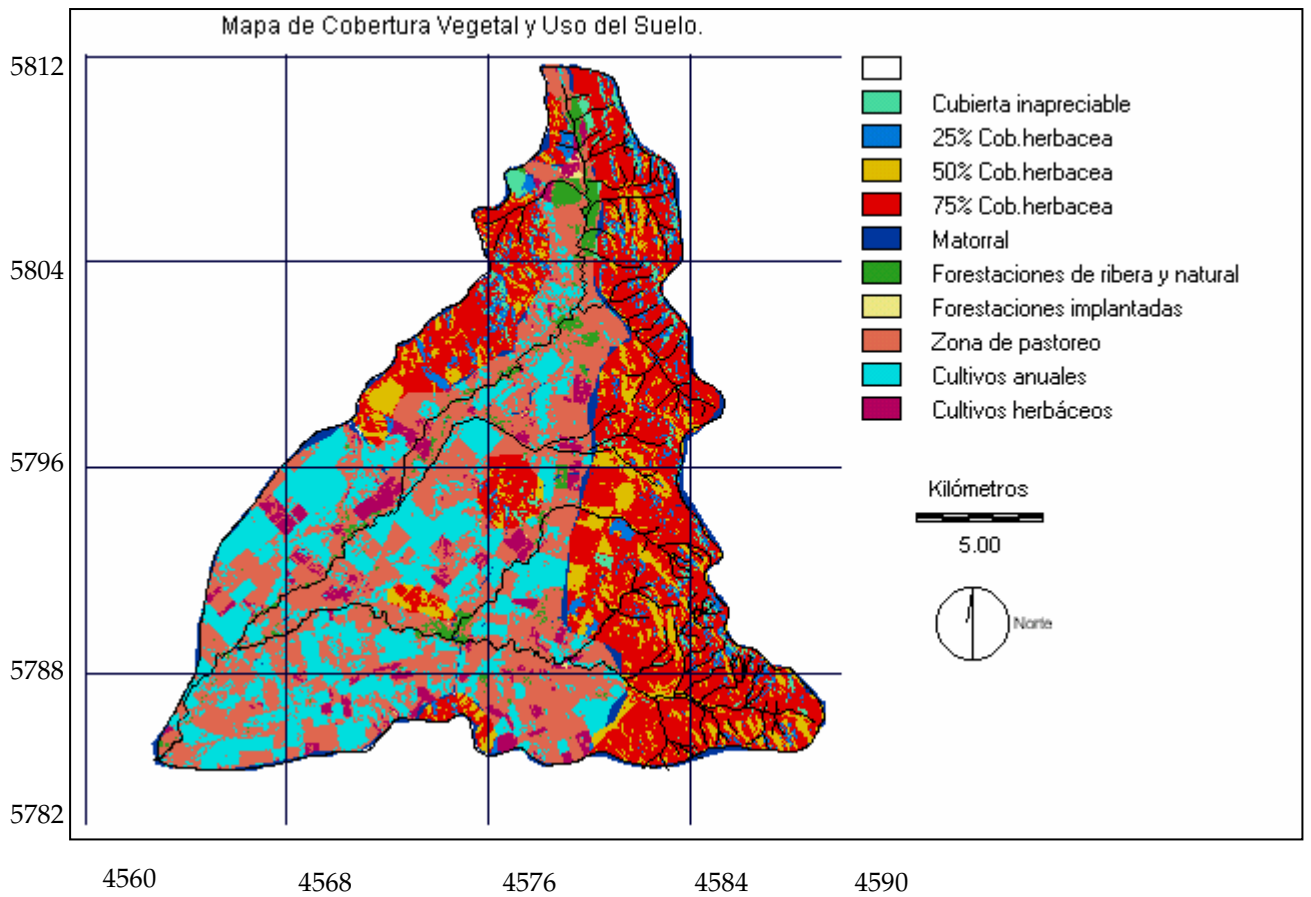


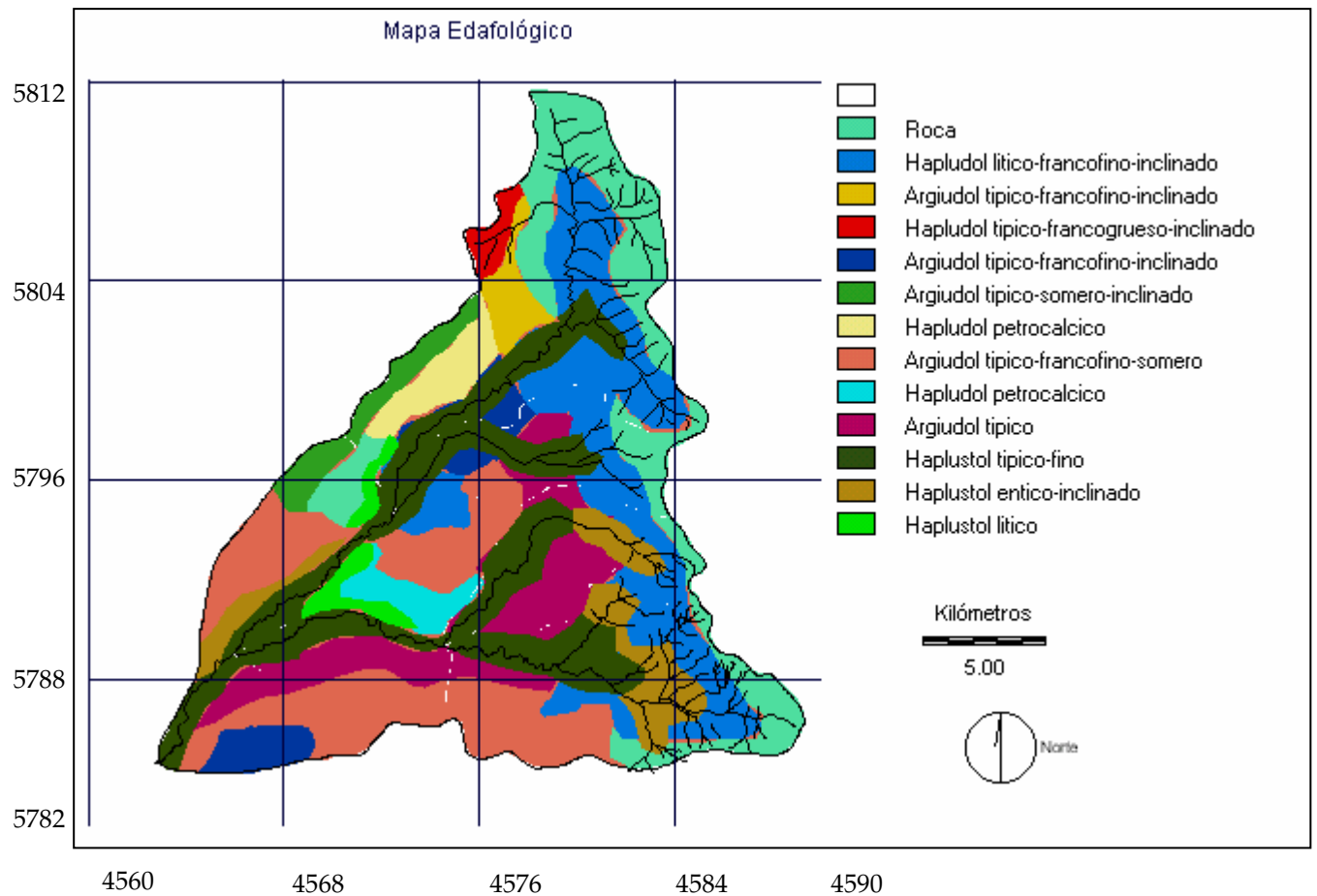


Mapa ortogonal del terreno.









Mapa de drenaje sobre Imagen Satelital del terreno.

