

TRABAJO FINAL DE CARRERA.

TÍTULO: Planificación de estrategias de manejo de cuencas hidrográficas ante eventos extremos.

Nombre del Alumno: Jorge Martín Santiago.

N° Legajo: 26381/8.

DNI: 34727858.

Dirección de correo: j.martin.santiago89@gmail.com

Teléfono: 02342-15403942.

Director: Dra. Fernanda Gaspari.

Co-director: Ing.Ftal. MgSc. Alfonso Rodríguez Vagaría.

MODALIDAD: Participación en Proyectos acreditados de Investigación.

Denominación del Proyecto de Investigación del cual participa: Estudio de los servicios hidrológico-ambientales para aportar a la sustentabilidad de la Región Serrana Bonaerense. Programa de Incentivos a los Docentes - Investigadores - Secretaria de Política Universitaria – Ministerio de Educación de la Nación. Proyectos Acreditado I+D 2016. 2016-2019. Proy.N° 11/A286.

Director: Dra. Fernanda Gaspari.

Contenido temático

INTRODUCCIÓN.....	11
Antecedentes del área de estudio.....	12
Objetivo general y específicos	14
METODOLOGÍA DE ESTUDIO	15
1. Procedimiento de análisis.....	15
2. Caracterización del área de estudio.	16
3. Análisis morfométrico.	20
4. Caracterización geoespacial de la cuenca.	23
5. Caudales Líquidos.	26
6. Caudales Sólidos.	27
7. Alternativas de Manejo del suelo.....	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
1. Procedimiento de análisis.....	33
2. Caracterización del área de estudio.	33
3. Análisis morfométrico.	42
4. Caracterización geoespacial de la cuenca.	44
5. Caudales Líquidos.	57
6. Caudales sólidos.....	67
7. Alternativas de Manejo del suelo.....	78
CONCLUSIÓN.....	87

LISTADO TEMÁTICO.

INTRODUCCIÓN.

Antecedentes del área de estudio.

Objetivo general y específicos.

METODOLOGÍA DE ESTUDIO.

1 Procedimiento de análisis.

2 Caracterización del área de estudio.

2.1 Ubicación geográfica del área de estudio.

2.2 Características climáticas.

2.3 Marco social-económico.

2.4 Geomorfología.

2.5. Usos actuales del suelo.

3 Análisis morfométrico.

3.1 Parámetro de forma.

3.2 Parámetro de relieve.

3.3 Parámetro de drenaje.

4 Caracterización geoespacial de la cuenca.

4.1 Topográfico y Drenaje.

4.2 Relevamiento edafológico.

4.3 Relevamiento de la cobertura vegetal y usos del suelo.

4.4 Pendiente del terreno.

4.5 Grupos Hidrológicos.

4.6 Base de precipitación.

5 Caudales Líquidos.

6 Caudales Sólidos.

6.1 Erosividad pluvial (R)

6.2 Erodabilidad del suelo (K)

6.3 Longitud y Grado de pendiente (LS).

6.4 Cobertura del suelo (C).

6.5 Prácticas de manejo (P).

6.6 Zonificación de la Pérdida de suelo superficial.

7 Alternativas de Manejo de suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

1 Procedimiento de análisis.

2 Caracterización del área de estudio.

2.1 Ubicación geográfica del área de estudio.

2.2 Características climáticas.

2.3 Diagnostico Integrado.

3 Análisis morfométrico.

3.1 Parámetros de forma.

3.2 Parámetros de relieve.

3.3 Parámetros de drenaje.

4 Caracterización geoespacial de la cuenca.

4.1 Topográfico y de Drenaje.

4.2 Relevamiento edafológico.

4.3 Relevamiento de la cobertura vegetal y usos del suelo.

4.4 Pendiente del terreno.

4.5 Grupos Hidrológicos.

4.6 Base de precipitación.

5 Caudales Líquidos.

6 Caudales sólidos.

6.1 Erosividad pluvial (R)

6.2 Erodabilidad del suelo (K)

6.3 Longitud y Grado de pendiente (LS).

6.4 Cobertura del suelo (C).

6.5 Prácticas de manejo (P).

6.6 Zonificación de la Pérdida de suelo superficial.

7. Alternativas de Manejo del suelo.

6 CONCLUSIÓN.

7 BIBLIOGRAFIA.

ANEXO I Figuras, Tablas, Ecuaciones y Fotos.

Índice de Tablas

Tabla N° 1:	Valores medios mensuales y medios anuales del clima.
Tabla N° 2:	Marco socio-económico (Datos de habitantes).
Tabla N° 3:	Parámetros de forma.
Tabla N° 4:	Parámetros de drenaje.
Tabla N° 5:	Relevamiento edafológico.
Tabla N° 6:	Porcentaje de suelos.
Tabla N° 7:	Usos del suelo.
Tabla N° 8:	Porcentaje de pendiente
Tabla N° 9:	Clasificación de Grupos Hidrológicos (GH).
Tabla N° 10:	Porcentaje de Grupos Hidrológicos (GH).
Tabla N° 11:	Porcentaje de Grupos Hidrológicos (GH) agrupados.
Tabla N° 12:	Base de precipitación.
Tabla N° 13:	Número de curva (NC I).
Tabla N° 14:	Escorrentamiento superficial (qI).
Tabla N° 15:	Número de curva (NC II).
Tabla N° 16:	Escorrentamiento superficial (qII).
Tabla N° 17:	Número de curva (NC III).

Tabla N° 18:	Escurrimiento superficial (qIII).
Tabla N° 19:	Porcentaje de Riesgo de erosión.
Tabla N° 20:	Factor R (Erosividad pluvial).
Tabla N° 21:	Factor K (Erodabilidad del suelo).
Tabla N° 22:	Factor LS (Longitud y Grado de pendiente).
Tabla N° 23:	Factor C (Cobertura del suelo).
Tabla N° 24:	Factor P (Prácticas de manejo).
Tabla N° 25:	Pérdida de suelo Actual (A).
Tabla N° 26:	Pérdida de suelo Actual reclasificada.
Tabla N° 27:	Pérdida de suelo Potencial reclasificada.
Tabla N° 28:	Alternativas de manejo.
Tabla N° 29:	Alternativas de manejo.
Tabla N° 30:	Porcentaje de alternativas de manejo.
Tabla N° 31:	Pérdida de suelo con manejo.
Tabla N° 32:	Conversión de Pérdida de suelo (A).
Tabla N° 33:	Pérdida de suelo admisible Actual
Tabla N° 34:	Pérdida de suelo admisible Potencial.
Tabla N° 35:	Pérdida de suelo admisible con manejo.

Índice de Fotografías

Foto N° 1: Viaje de campo.

Índice de Figuras

Figura N° 1: Identificación del área de estudio.

Figura N° 2: Climograma + Humedad Relativa.

Figura N° 3: Parámetros de relieve.

- Figura N° 4:** Topografía del terreno.
- Figura N° 5:** Modelo de elevación digital (D.E.M).
- Figura N° 6:** Cursos de agua.
- Figura N° 7:** Cuenca modal de estudio.
- Figura N° 8:** Mapa de relevamiento edafológico.
- Figura N° 9:** Mapa de usos del suelo.
- Figura N° 10:** Mapa de rangos de pendientes.
- Figura N° 11:** Mapa Grupos Hidrológicos.
- Figura N° 12:** Mapa de base de precipitación.
- Figura N° 13:** Macro Modeler GeoQ.
- Figura N° 14:** Número de curva (NC I).
- Figura N° 15:** Escurrimiento superficial (qI).
- Figura N° 16:** Número de curva (NC II).
- Figura N° 17:** Escurrimiento superficial (qII).
- Figura N° 18:** Número de curva (NC III).
- Figura N° 19:** Escurrimiento superficial (qIII).
- Figura N° 20:** Mapa de Riesgo de erosión.
- Figura N° 21:** Mapa de Erosividad pluvial (R).
- Figura N° 22:** Mapa de Erodabilidad del suelo (K).
- Figura N° 23:** Mapa de Longitud y Grado de pendiente (LS).
- Figura N° 24:** Mapa de Cobertura del suelo (C).
- Figura N° 25:** Mapa de Prácticas de manejo (P).
- Figura N° 26:** Mapa de Pérdida de suelo Actual (A).
- Figura N° 27:** Pérdida de suelo Actual reclasificada.
- Figura N° 28:** Pérdida de suelo Potencial reclasificada.
- Figura N° 29:** Alternativas de Manejo de suelo.
- Figura N° 30:** Pérdida de suelo con manejo.

Figura N° 31: Pérdida de suelo admisible Actual

Figura N° 32: Pérdida de suelo admisible Potencial.

Figura N° 33: Pérdida de suelo admisible con manejo.

Planificación de estrategias de manejo de cuencas hidrográficas ante eventos extremos.

RESUMEN

Las cuencas hidrográficas sirven como marco de planificación para la toma de decisiones, por eso el deterioro del territorio por inadecuado uso, conlleva a riesgos naturales y aceleración antrópica de la erosión. Como consecuencia existe una disminución del potencial productivo de los recursos y servicios ecosistémicos, provocando una merma socio productiva asociada al territorio.

Desde un punto de vista hidrográfico, el área de estudio se enmarca en la Cuenca Alta del Arroyo Sauce Chico, partido de E. Tornquist, Buenos Aires. El objetivo general es definir estrategias de manejo para cuencas hidrográficas ante eventos extremos acordes a la situación actual, en un sitio serrano. Para esto se abordaron objetivos específicos como caracterización socio-ambiental del territorio, zonificación espacio-temporal de la pérdida de suelo ante cambios en el uso del suelo con la implementación de información geoespacial, modelización de emisión de sedimentos ante cambios de uso del suelo simulando un fenómeno torrencial y planificación de estrategias de manejo de cuencas hidrográficas.

Para alcanzar los objetivos se realizó un diagnóstico integrado del escenario actual y se procesaron datos utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se logró interpretar respuestas de los elementos hidrográficos, asimismo se generaron datos para la determinación de la lámina de escurrimiento superficial utilizando la metodología de Número de Curva (NC), empleando la herramienta de modelización automática GeoQ. A su vez, se determinó la pérdida de suelo superficial utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE).

Los valores medios ponderados a escala de cuenca se clasificaron como altos tanto para la lámina de escurrimiento superficial como para la pérdida de suelo en la situación actual. Las medidas de restauración, corrección y mitigación propuestas se definieron en relación a la capacidad de respuesta del ambiente, al uso de los recursos, las estrategias para el aprovechamiento y la realidad social. Estas alternativas se simularon y se llegó a disminuir la pérdida de suelo superficial, aumentando la cantidad de superficie clasificada como tolerante a la pérdida. Se concluye que a través de una herramienta como un software SIG se alcanzaron los objetivos planteados y se restablece la pérdida de suelo a valores más bajos.

Planificación de estrategias de manejo de cuencas hidrográficas ante eventos extremos.

INTRODUCCIÓN

La variabilidad del agua en el tiempo y en el espacio ha pasado a ser en la actualidad uno de los temas principales de alto conflicto a escala mundial, regional y local (Torrero, 2009). La creciente extracción de agua de los acuíferos para riego, canales de desagües como la eliminación de la cobertura vegetal en el cambio de uso del suelo, alteran la dinámica del agua superficial como subterránea, debido al aumento del escurrimiento como su posterior sedimentación aguas abajo.

Las cuencas hidrográficas son las unidades físicas que sirven como marco teórico-práctico para la planificación y gestión del desarrollo de una comunidad de manera sostenida en el tiempo, es así que una situación de equilibrio es de suma importancia para el aprovechamiento racional del recurso hídrico-suelo y sus usos potenciales. De este modo, la gestión de riesgos ambientales puede promoverse adoptando medidas y programas de mitigación, a través de alternativas conservacionistas y la aplicación de predicciones estacionales a corto plazo (GWP, 2014). Contribuir a la identificación y regulación de los cursos torrenciales permite definir medidas de protección (cabecera) y corrección (garganta) para regular el caudal pico del torrente, consolidar el lecho del cauce y estabilizar el paisaje.

El desarrollo del trabajo se inició recopilando información en sentido amplio para generar un diagnóstico integrado del escenario. A través de un Sistema de Información Geográfica (SIG), utilizando el software IDRISI TerrSet, se permitió la integración organizada del hardware, software y datos geográficos para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente

referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión (CEISAS, 2010).

Se procesaron a través del software relaciones entre factores hídricos, edáficos, de vegetación, climáticos y la presencia del hombre para la planificación de alternativas de uso de los recursos, estimando la lámina de escurrimiento superficial (q) a través de la metodología de Número de Curva (NC) utilizando el Macro Modeler GeoQ como modelo de procesamiento automático (Rodríguez Vagaría. et al, 2014), y la pérdida de suelo usando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (A) (USLE) (Wischmeier & Smith, 1978), para el año 2017.

ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO

En 1826 con la conquista del Desierto comenzó la colonización de la región pampeana y la llegada del Ferrocarril General Roca al interior del país para generar las primeras colonias de agricultores (alemanes, suizos e italianos) en 1898. En 1905 se crea el Partido de la Sierra, que en 1910 toma el nombre definitivo de Ernesto Tornquist. El área de estudio se enmarca en la cuenca alta del Arroyo Sauce Chico en el partido de E. Tornquist y cuenta con una superficie de 37.353 hectáreas.

La cuenca del Río Sauce Chico nace en el Cerro Luisa a 825msnm, en el Sistema de Ventania, en el suroeste de la provincia de Buenos Aires y desagua en el estuario de Bahía Blanca (Torrero & Campo, 2008). Estas están constituidas por rocas precámbricas (granito de Tornquist), sobre las cuales se asienta un complejo sedimentario paleozoico que incluye areniscas, pizarras, cuarcitas y conglomerados glaciares (Fidalgo. et al, 1975).

En el área de estudio se reconocen 4 ambientes geo-edafológicos: serrano, interaserrano, periserrano y de llanura (Frangi & Bottino, 1995). La inclinación o pendiente del terreno y la costra calcárea (tosca) subsuperficial son las dos

características que definen el dominio edáfico. Esto es consecuencia de una estructura original que se ha desarrollado a partir de sedimentos loésicos que cubrieron los faldeos de las sierras (Gaspari, 2002; Lizzi, 2004; Torrero, 2009), apoyado sobre esta costra calcárea (tosca) de distribución regional que oscila alrededor de los 100 cm de espesor, según los diferentes accidentes que presente su topografía.

Desde el punto de vista fitogeográfico (Frangi & Bottino, 1995) y zoográfico (Ringuelet, 1960), la cuenca se halla incluida en la Región Neotropical, Dominio Chaqueño, distrito Pampeano Austral. El medio físico se caracteriza por presentar un ambiente mixto de áreas serranas con extensas llanuras, pendientes muy suaves y pastizales (Torrero & Campo, 2008). La vegetación natural serrana se manifiesta por un escaso tapiz vegetal de estepa xerófila donde alternan arbustos de bajo porte y pastos duros. Los pastizales constituyen el tipo de vegetación dominante del paisaje donde se los puede clasificar a su vez en asociaciones en función de su posición topográfica en asociaciones de lomadas suaves (pradera de mesófitas); asociaciones de los torrentes y manantiales (pradera de hidrófitas y estepa de halófilas) (IOVIF, 1968).

Los lugares serranos e intraserrano se destinan a ganadería pastoril, utilizando los pastizales naturales como recurso forrajero. Por otro lado, los ambientes periserranos y de llanura se destinan principalmente a la implantación de praderas o cultivos de granos (Barrera & Frangi, 1997), asimismo la zona se caracteriza por su aptitud de uso agrícola-ganadera (INTA EEA Bordenave, 2011). Una actividad importante en la sierra es la explotación turística y la ambientación del entorno con plantaciones con fines paisajísticos de especies leñosas exóticas (*Pinus spp.*, *Cupressus sp.*, *Eucalyptus spp.*, y *Populus spp.*). En la cuenca no se evidencian especies arbóreas nativas, pero en los alrededores aún se pueden ver algunas áreas de relictos de bosquecillos generalmente aislados (Gaspari, 2002).

Las oscilaciones climáticas sufren una tendencia que se manifiesta en el aumento paulatino de la temperatura y su impacto en la cantidad de agua del suelo. Entre

octubre de 2006 y marzo de 2007 se registraron importantes precipitaciones para toda la cuenca, pero los balances hídricos reflejan que la dinámica hidroclimática destaca un aumento y extensión del período de déficit de agua en toda el área (Torrero, 2009). Los procesos de pérdida de suelo por erosión hídrica son evidentes, las consecuencias a estos son factores naturales como aceleración antrópica (Gaspari, 2002). Según Torrero (2009), el avance de la frontera agrícola con cultivos no tradicionales, el desplazamiento de la ganadería a zonas marginales, las oscilaciones climáticas, la falta de política y ausencia del Estado, las malas prácticas y la falta de estudios integrados incrementan los problemas ambientales y económicos que se presentan en este espacio. Alternativas para una restauración agrohidrológica para una zona como esta tienen que estar orientadas a manejar tres factores de manera sistémica, racionalización de la actividad humana y compromiso, control de la cobertura vegetal y creación de obras de corrección de torrentes.

OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS

El presente estudio se centra en la definición de estrategias de manejo integrado para cuencas hidrográficas ante eventos extremos para una cuenca serrana Para esto se abordaron los siguientes objetivos específicos.

- Caracterización socio-ambiental en la cuenca alta del arroyo Sauce Chico.
- Zonificación espacio-temporal de la pérdida de suelo ante cambios en el uso del suelo con implementación de información geoespacial.
- Modelización de emisión de sedimentos en la cuenca testigo ante cambio de uso del suelo simulando un fenómeno torrencial extremo (una precipitación).
- Planificación de estrategias de manejo de cuencas hidrográficas.

- Adquirir experiencia en el manejo de bases de datos geoespaciales y modelos de análisis de las respuestas hidrológicas en la respectiva cuenca hidrográfica.

METODOLOGÍA DE ESTUDIO

1. Procedimiento de análisis.

Inicialmente se planteó un estudio a una escala de reconocimiento de 1:250.000 para visualizar el territorio y características macro de la cuenca en estudio. De acuerdo a los avances que se fueron logrando se seleccionaron áreas representativas para analizar en mayor detalle a escala 1:50.000, para tener referencia del tipo de actividad que se realizan en diferentes sectores del territorio. El plan de trabajo propuesto fue flexible y por tal razón las tareas específicas fueron ajustadas en la medida que se obtuvieron los primeros resultados.

El desarrollo del trabajo comenzó con el diagnóstico integrado del escenario recopilando información en sentido amplio para determinar síntomas de desequilibrio. Se estimaron características morfométricas para evaluar el funcionamiento de la cuenca y a través del SIG IDRISI TerrSet se generaron datos para la determinación de la lámina de escurrimiento superficial utilizando la metodología de Número de Curva (NC), empleando la herramienta GeoQ como procesamiento automático bajo entorno del SIG (Rodríguez Vagaría. et al, 2010). Por otro lado para la pérdida de suelo superficial se usó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) (Wischmeier & Smith, 1978).

2. Caracterización del área de estudio.

2.1 Ubicación geográfica del área de estudio.

La ubicación geográfica-cartográfica de la cuenca en estudio se determinó a partir de la Carta Topográfica Tornquist (Hoja 3963-5-2) y Estancia Gran Chaco (Hoja 3763-35-4) en una escala de trabajo 1:50.000 (IGN, 1970). Se emplearon también datos de cartas de suelo de la provincia de Buenos Aires (INTA Castelar, 1989) e imágenes satelitales de Google Earth (Figura N°1).

2.2 Características climáticas.

Para la clasificación climática se utilizaron los criterios de Thornthwaite a través de la clasificación de Burgos (1963), debido a que esta metodología es la que mejor refleja las condiciones naturales (Torrero, 2009). El clima regional del área en estudio se clasifica como templado, con heterogeneidad estacional que presenta inviernos húmedos y veranos secos. Existe una tendencia hacia un clima cálido húmedo tropical (Torrero & Campo, 2008).

Los datos fueron proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para la localidad serrana La Gruta, correspondientes a la Estación Meteorológica Tornquist (20) en la provincia de Buenos Aires (Ubicación geográfica: Lat.: 38°09' S; Long: 62°22' O; Elevación: 293 msnm.), con un registro entre 1991-2016. Los mismos sirvieron para generar un climograma y su tabla representativa para la situación (Figura N°2; Tabla N°1).

2.3 Marco social-económico.

Según los datos arrojados por el último Censo Nacional (INDEC, 2010), el partido tiene una población total de 12.723 habitantes, con una densidad poblacional de 3 habitantes por kilómetro cuadrado. La ciudad de Tornquist cuenta con una población de 6.473 habitantes y es el centro de la actividad económica, cabecera del partido

concentrando instituciones jurídicas-sociales y bancarias. La Villa Serrana La Gruta se encuentra en la cuenca alta del arroyo Sauce Chico contra el arroyo alto de la Ventana cuenta con una población de 52 personas. (Tabla N°1).

Nombre	Estado	Población	Población	Población
		Censo	Censo	Censo
		15/05/1991	17/11/2001	27/10/2010
Tornquist	Partido	10.742	11.769	12.723
- Densidad: 3 hab./km² [2010] – Incremento: +0,89%/año [2001 → 2010]				
Buenos Aires	Provincia	12.594.974	13.827.203	15.625.084
Nombre de Localidades del Partido de Tornquist	Estado	Población	Población	Población
		Censo	Censo	Censo
		15/05/1991	17/11/2001	27/10/2010
Chasicó	Localidad rural	185	209	203
La Gruta (Villa Serrana)	Localidad rural	8	41	52
- Incremento: +2,69%/año [2001 → 2010]				
Saldungaray	Localidad rural	1.21	1.292	1.351
Sierra de la Ventana	Localidad urbana	895	1.514	2.165
Tornquist	Localidad urbana	5.635	6.066	6.473
- Incremento: +0,73%/año [2001 → 2010]				
Tres Picos	Localidad rural	101	98	82
Villa Ventana	Localidad rural	100	446	609

Tabla N°1. Datos de habitantes en la región de Tornquist. *Fuente: Elaboración en base a datos del Instituto de Estadísticas y Censos.*

La principal actividad económica de la región se concentra en las tareas agropecuarias observándose distintos tipos de actores, con un predominio de pequeños a medianos productores, los que en algunos casos puntuales tienen relación con entidades municipales, integran un Comité de Cuenca del Río Sauce Chico, tienen asesoramiento técnico como INTA o la Universidad Nacional del Sur (UNS) (Torrero, 2009). El turismo en torno a las sierras es una actividad importante en el marco del Parque Provincial Ernesto Tornquist. La actividad industrial es muy escasa, la explotación de canteras para la obtención de arena, canto rodado, etc., es otra actividad en forma permanente (DINREP, 2010).

2.4 Geomorfología.

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 glaciáricos (Fidalgo. et al, 1975).

Estas sierras alcanzan las máximas alturas de la provincia y su nivel de cumbres oscila entre los 900 a 1.200 msnm. La cuenca del arroyo Sauce Chico nace en el Cerro Luisa (825 msnm), en el Sistema de Ventania, en el suroeste de la provincia de Buenos Aires (Torrero & Campo, 2008). Las divisorias de aguas yacen sobre las formaciones rocosas de Curamalal y Ventana, donde se definen por los cerros La Sofía (959 msnm), C° Pan de Azúcar (741 msnm) al Oeste; hasta el Abra del C° 27 de Diciembre y continúa al Este con los C° Guanaco (929 msnm), C° La Providencia (914 msnm), C° Destierro Primero (1.172 msnm) y C° de la Ventana (1.134 msnm), concluyendo en el Abra de la Ventana, donde nace el arroyo homónimo. El límite Sur queda definido por la divisoria que pasa por el C° Fundación Funke (678 msnm) y C° Tornquist (591 msnm) como alturas dominantes de este pequeño cordón (Gaspari, 2002).

El paisaje en general forma parte de la denominada Pampa interserrana y pedemontana (Fidalgo. et al, 1975) y la morfología es resultado del relieve zonal (Torrero & Campo, 2008). Este marco determina usos de las tierras bien definidos y distintos.

La configuración del terreno es muy variable registrando una altura mínima de 260 msnm. Desde dicha planicie, se eleva un cordón serrano hacia el Noreste hasta alcanzar una altitud de 1.100 msnm. La trayectoria del cauce principal hacia la desembocadura adquiere un recorrido de forma semicircular en sentido Este-Oeste, prácticamente toda la cuenca está bien encausada (Torrero, 2009). El terreno se caracteriza por un relieve mixto, con predominio de llanura en un 75% en donde no se superan los 300msnm (Torrero & Campo, 2008). Esta variedad de relieve evidencia la

presencia de diversos rasgos de erosión hídrica, donde los más sobresalientes son surcos, regueros, cárcavas y vaguadas, distribuidas en todo el territorio.

2.5 Usos actuales del suelo.

Actualmente la zona se caracteriza por su aptitud agrícola-ganadera (INTA EEA Bordenave, 2011). La actividad que se desarrolla depende de la ubicación del predio y de la actividad productiva final del propietario. El uso del suelo dentro del sistema serrano es exclusivamente pecuario en la ladera alta y agropecuario en el pie de sierra (Torrero & Campo, 2008). La única industria que funciona y utiliza agua del río es la Papelera del Sur, localizada en la cuenca media del río Sauce Chico (Campo de Ferreras. et al, 2004).

La actividad ganadera bovina en algunos predios es de ciclo completo (cría, recría y engorde), estableciéndose una carga promedio de 0.47 EV/Ha (Lizzi, 2004). Los ambientes serranos y intraserranos se destinan para ganadería pastoril, utilizando los pastizales naturales como recursos forrajeros, por otro lado los ambientes periserranos y de llanura se destinan principalmente a implantación de praderas o cultivos de granos (Frangi & Barrera, 1997; Lizzi, 2004).

La actividad agropecuaria se destaca por cultivos de especies forrajeras (generalmente consociadas o puras) como son: *Bromus sp* (Cebadillas), *Festuca sp*, *Trifolium sp*, *Dactalis sp* (Pasto ovillo), *Sorghum vulgare*. Dentro de los cultivos agrícolas encontramos cereales como: *Triticum aestivum* (trigo), *Avena sativa* (avena), *Hordeum distichum* (cebada cervecera), *Secale cereale* (centeno), *Sorghum spp*; *Zea mays* (maíz); y oleageinosas como: *Glycine max* (soja), *Brassica napus* (colza) y *Helianthus annus* (girasol). Si bien la actividad principal es agropecuaria, en las cercanías de la localidad de Tornquist existen explotaciones de cebolla, papa, y soja las cuales emplean riego por pivote central (Campo de Ferreras. et al, 2004).

La actividad forestal para fines productivos es muy escasa, solo como apoyo de las actividades tradicionales de montes ornamentales y protectores (montes de abrigo, monte ribereño, cortinas) en pequeña superficie. Por otro lado existe una explotación turística intensiva en temporada de vacaciones en el Parque Ernesto Tornquist donde especies con fines paisajísticos de plantas leñosas exóticas (*Pinus sp*, *Cupresus sp*, *Eucalyptus sp*, y *Populus sp*) (Frangi & Bottino, 1995; Long & Grassini, 1997) y las sierras generan un ambiente particular.

3. Análisis morfométrico.

El funcionamiento de una cuenca hidrográfica se asemeja al de un colector que recibe la precipitación y la convierte en escurrimiento (Gaspari. et al, 2013). Las propiedades morfométricas son descripciones físicas y espaciales que se pueden comparar con otras unidades determinando la cosecha hídrica del área de estudio, siendo parámetros para determinar la influencia de la forma en una cuenca en el movimiento y captación de agua (Rodríguez Vagaría, 2010). Los parámetros de forma, parámetros de relieve y parámetros de red hidrográfica se pueden utilizar como herramientas metodológicas en programas SIG, y a través de la interpretación se puede realizar una caracterización espacio temporal de las propiedades morfométricas y red de drenaje (Gaspari. et al, 2010).

3.1 Parámetros de forma.

Perímetro (P): Es la medición lineal del límite de una figura. Se utilizó el SIG para definir el límite por medio de las divisorias de agua. Su unidad de medida es en kilómetros.

Longitud axial (La): Es la distancia existente entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca. Su unidad de medida es en kilómetros.

Área (Sup de la Cuenca): Es la superficie encerrada por la divisoria de aguas. Su unidad de medida es en hectáreas (ha) o kilómetros cuadrados (km²).

Ancho promedio (Ap): Es la relación entre la superficie de la cuenca con la longitud axial. Su unidad de medida es el kilómetro. $Ap = \text{Sup de la Cuenca} * La^{-1}$

Factor de forma (IF): Es un factor adimensional que regula la concentración de escurrimiento superficial. Este es función del ancho promedio de la cuenca y de la longitud axial o la longitud del río hasta su punto más alto. Cuando el IF es similar a 1, la cuenca presenta una forma redondeada (generan mayores crecidas), con IF bajos se representan cuencas alargadas (generan menores crecidas). $IF = Ap * La^{-1}$

Coefficiente de compacidad de Gravelius (Kc): 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 coeficiente de compacidad de Gravelius, es un índice adimensional que 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 (Gaspari, 2002). Este índice aumenta con la irregularidad de la forma de la cuenca.

El tiempo de concentración también depende de la forma (López Cadenas. et al, 1987), este valor está relacionado con el tiempo que tarda una gota de lluvia en moverse desde la parte más lejana hasta la salida. En este momento ocurre la máxima concentración de agua, puesto que están llegando las gotas de todos los puntos de la cuenca. Su valor crecerá con la irregularidad de la forma de la cuenca, a medida que su Kc tiende a 1 la cuenca tiende a ser redondeada, por ende la peligrosidad de crecidas es mayor porque las distancias relativas de los puntos de la divisoria con respecto a uno central no presentan diferencias mayores y el tiempo de concentración se hace menor, por lo tanto mayor será la posibilidad de crecidas continuas (Gaspari. et al, 2013). $Kc = \text{Perímetro} / (2 * \sqrt{(\pi * \text{Sup de la Cuenca})})$

3.2 Parámetros de relieve.

Curvas hipsométricas: Proporcionan información sintetizada sobre la altitud de la cuenca, representando gráficamente la distribución de la cuenca vertiente por tramos de altura, además es un indicador del estado de equilibrio dinámico de la cuenca.

Se pueden determinar con el modelo de elevación digital del terreno (D.E.M) para generar la curva hipsométrica (Gaspari. et al, 2013). Este consiste en un conjunto de capas raster que representan distintas características de la superficie del terreno derivadas de una capa de elevación, sean las curvas de nivel.

3.3 Parámetros de drenaje.

Densidad de drenaje (Dd): Se define como la suma longitudinal de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca con respecto al área de la misma (López Cadenas. et al, 1987). Este parámetro caracteriza la red hidrográfica por medio del grado de relación entre el tipo de red y la clase de material predominante (Gaspari. et al, 2013), cuanto mayor sea la densidad del drenaje, más rápida será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando el agua en menos tiempo.

En su determinación se utilizó la fórmula de Horton (Gaspari. et al, 2010) y su unidad de medida es km/km^2 . $Dd = \text{Long Total} / \text{Sup de la Cuenca}$.

Longitud del cauce principal (Long A° S. Ch): Es la sumatoria de las longitudes de todos los cursos de agua que conforman el cauce principal (km).

Pendiente media del cauce (J%): Manifiesta el proceso de degradación, debido a que el poder erosivo se expresa en mayor o menor medida de acuerdo a los distintos grados de pendientes (López Cadenas. et al, 1987). En su determinación se utilizaron las cartas topográficas (IGN, 1979) y se deduce a partir del desnivel topográfico sobre el cauce principal y la longitud del mismo. Se expresa en porcentaje (%). $J\% = ((\text{Cota Máx.} - \text{Cota Mín.}) / (1000 * \text{Long A}^\circ \text{ S. Ch})) * 100\%$.

Tiempo de concentración (Tc): Es el tiempo que tarda el flujo superficial en contribuir al caudal de salida y depende de la forma de la cuenca. Se calcula particularmente con la relación entre la longitud del cauce principal y la pendiente media del cauce y su unidad de medida es en horas (hs). La metodología que se utilizó fue la fórmula de la Dirección General de Carreteras (Gaspari. et al, 2010) la que mejor se ajustó por comparación con otras fórmulas. $Tc=0,3*((Long\ A^{\circ}.S.Ch / J\%^{0,25})^{0,76})$.

4. Caracterización geoespacial de la cuenca.

La utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG) como herramienta de análisis en parámetros espaciales, requiere que se consideren diversos aspectos antes de comenzar con el ingreso de datos al sistema (Gaspari, 2002). Estos deben llevar un formato de ingreso determinado, para poder ser utilizados, clasificándose en archivo vectorial, raster y formato tabular de características cuali-cuantitativas (Gaspari. et al, 2013).

Los archivos de trabajo para ser integrados al SIG se procesaron a una escala de trabajo basada en el sistema de coordenadas cartográficas de los mapas temáticos base Gauss-Krüger (IGN, 1994) y procesadas en Posgar 07, sobre una grilla de coordenadas planas integradas por filas y columnas gráficas.

4.1 Topografía y Drenaje.

La información para definir las características del drenaje y topografía del terreno fueron proporcionadas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), se descargaron archivos de cursos de agua y curvas de nivel escala 1:250.000 provenientes de la misión SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de la NASA. Se procesaron y proyectaron a las coordenadas de trabajo, utilizando como sistema de referencia Argentina faja 5 del SIG.

Las curvas de nivel de la cuadrícula 3963-5-2, descripta por el Atlas de Suelo del INTA referida a Cartas de Suelo escala 1:50.000 para la provincia de Buenos Aires (INTA Castelar, 1989), se procesaron con el SIG para generar un D.E.M, a partir de este un mapa raster de exposición de ladera y un mapa de aspecto calculado a partir de la topografía y orientaciones generando una imagen de iluminación del relieve.

Con la cartografía topográfica, el modelo digital del terreno, el mapa de drenaje y la implementación del SIG se determina el límite de la cuenca drenaje, información que fue generada por la Cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas de la Facultad de Cs Agrarias y Forestales de UNLP.

4.2 Relevamiento edafológico.

El estudio y reconocimiento de las características productivas e hidrológicas de los suelos predominantes en la cuenca se realizó en forma analógica y digital por medio de tablas y cartografía (IGN, 1968-1979). Además, se estableció por unidad cartográfica un diagnóstico cuali y cuantitativo edafológico por medio de índices de productividad (IP), aptitud de uso (INTA, 1995) y ordenamiento territorial siguiendo la clasificación del Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos.

Las unidades cartográficas para la clasificación taxonómica se observaron en distintas escalas, comenzando desde escala 1:500.000 para distinguir diferentes elementos que hacen a los tipos de suelos como órdenes y grandes grupos dominantes, como así también condiciones específicas de aptitud y manejo. El desarrollo del trabajo se realizó a escala de asociación y complejo de suelos a escala 1:50.000 descripta por el Atlas de Suelo del INTA, referida a Cartas de Suelo para la provincia de Buenos Aires (INTA Castelar, 1989) y la clasificación de Capacidad de Uso e Índice de Productividad (IP) según USDA (2014).

El procesamiento de datos para la obtención del mapa de dominio edáfico fue el resultado de la digitalización de un archivo "shape (Esri Shape)" de suelos

proporcionado por la Cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas de la Facultad de Cs Agrarias y Forestales de la UNLP.

4.3 Relevamiento de la cobertura vegetal y usos del suelo.

La información sobre la vegetación se generó a partir de un relevamiento digital y a campo con su posterior digitalización, la información base fue proporcionada por la Cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas de la Facultad de Cs Agrarias y Forestales de UNLP. Se distinguen seis categorías para vegetación más relevantes para la zona.

4.4 Pendiente del terreno.

A partir del D.E.M en tres dimensiones (x, y, z) formato raster, elaborado y reclasificado para la altitud correspondiente, se obtuvo el mapa de pendiente (en %). Este a su vez fue reclasificado utilizando los valores establecidos por Mintegui Aguirre (1988), para la obtención del mapa de rangos porcentuales de pendiente, por medio del SIG.

4.5 Grupos Hidrológicos.

Los diferentes suelos se ordenaron en grupos hidrológicos (GH). Esta denominación se establece cuando tienen características texturales del horizonte superficial similares (Torrero, 2009). El GH caracteriza la capacidad de infiltración, capacidad de saturación y la generación de escurrimiento superficial (Gaspari. *et al*, 2010).

4.6 Base de precipitación.

La tormenta simulada se seleccionó para un período de retorno de 10 años, según la probabilidad de ocurrencia de los aguaceros de la región, utilizando la formula de V.T.Chow (Gaspari, 2002). Toda la cuenca recibe en un instante la misma lámina de

precipitación, para esto se generó un archivo vectorial con un valor de 100 que corresponde a la lámina de lluvia precipitada expresada en milímetro.

5. Caudales Líquidos.

A fin de determinar la respuesta hidrológica para la cuenca en forma de escurrimiento directo frente a una tormenta determinada, se aplicó el método del Número de Curva (NC) (Gaspari. et al, 2013). Esta metodología se puede utilizar para gestionar y manejar cuencas hidrográficas, para proyectos ambientales, sociales e hidrológicos, estimar descargas y predecir la respuesta según se asocie a posibles cambios (Rodríguez Vagaría. et al, 2012).

La estimación de la lámina de escurrimiento superficial se determinó a través del modelo de procesamiento automático Macro Modeler GeoQ bajo el entorno del software SIG Figura N°13. Para la aplicación se tuvo que recurrir a archivos de mapas bases de inicio para poder realizar la operación, dentro de esos se generaron:

- Tres archivos vectoriales de tipo polígonos: el *límite de la cuenca hidrográfica*, la *zonificación en grupos hidrológicos (GH)* y la *distribución de la vegetación o usos del suelo*.
- Un archivo de tributo de valor con el dato de la tormenta a modelar en milímetros (*base de precipitación*).
- Un archivo de inicio (*Initial*) raster que contenga las especificaciones para la rasterización automática de los archivos vectoriales (Rodríguez Vagaría, et al. 2010).

Denominando a la interacción de todos estos factores como numero de curva (NC), se calcularon las abstracciones iniciales de la precipitación de una tormenta, que por diferencia se establece el escurrimiento superficial. El mismo determina que cada complejo suelo - vegetación le corresponde un NC que define sus condiciones

hidrológicas, por lo tanto, la representación del NC ($0 \leq NC \leq 100$) expresa que a mayores NC la escorrentía es mayor, determinando menor infiltración (Torrero, 2009; Gaspari et al, 2010).

Una vez que se inicia el procesamiento con GeoQ, se generan mapas de segundo orden, a través de la “corrida” (Run), de número de curva (NC), y posteriormente de lámina de escurrimiento superficial “q”. Este modelo determina la escorrentía de manera indirecta, ya que calcula la lluvia efectiva como una función de la lluvia acumulada, la cobertura del suelo, el tipo de suelo y sus condiciones de humedad antecedente del suelo.

A partir del mapa de NC se obtuvo información para ser aplicada a la estimación y zonificación de áreas según el riesgo de erosión. Este mapa se generó a partir del cruzamiento tabular entre los rangos de pendientes y los rangos de número de infiltración o NC a través del SIG. Las categorías obtenidas por la reclasificación mencionada, se extrajeron del manual de “Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas” (Gaspari. et al, 2013).

6. Caudales Sólidos.

La estimación del caudal sólido o pérdida de suelo superficial se determinó utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). Este modelo paramétrico fue generado para estimar la pérdida promedio anual de suelo en tierras agrícolas (Wischmeier & Smith, 1978).

Permite estimar la pérdida de suelo (A) en (tn/ha*año) bajo determinadas características pluviométricas o erosividad pluvial (R), intrínsecas o erodabilidad del suelo (K), de la longitud y grado de pendiente (LS), del tipo de cobertura superficial del suelo (C) y de las prácticas de cultivo bajo manejo conservacionista (P) (Gaspari. et al, 2013).

La ecuación de pérdida de suelo superficial de Wischmeier & Smith (1978), se expresa como: $A = R * K * L * S * C * P$ (tn/ha*año).

La aplicación de la USLE se ha realizado con SIG, donde para cada factor que influye en la ecuación, se generó su cartografía digital en formato vectorial y raster, para ser aplicados al cálculo de la estimación de pérdida de suelo actual y pérdida potencial, con los valores reclasificados, mediante la operación de calculador de imágenes y modelación logística del software SIG, que consiste en la combinación matemática y algebraica de las capas temáticas definidas.

6.1 Erosividad pluvial (R):

Factor que representa la potencia del aguacero para erosionar superficialmente al suelo, se lo considera un índice que expresa la torrencialidad de las precipitaciones. Establecido por Wischmeier en 1959 tras analizar datos de la distribución del tamaño de las gotas de lluvia y la velocidad de la gota de lluvia provenientes de una serie de investigaciones.

El factor R toma diferentes valores según las regiones climáticas del planeta alcanzando valores cercanos a 100 (en áreas con baja precipitación) y hasta 2.500 J*cm/m²*hs (en zonas de alta intensidad y cantidad de precipitación) (Gaspari, 2002). En la región centro-oeste de Argentina, el valor de potencialidad erosiva anual fue desarrollado mediante la metodología descrita por Rojas y Conde, donde el factor R se define como el producto de la energía cinética (EC) de un aguacero por su máxima intensidad en 30 minutos (I_{30}), dividido 100 (Wischmeier & Smith, 1978). Se representan en un mapa el valor de R a partir de isoerodentas de Índice de erosión pluvial para la Provincia de Buenos Aires (Rojas & Conde, 1985). $R = (EC * I_{30}) / 100$

6.2 Erodabilidad del suelo (K):

Expresa la susceptibilidad de un suelo a ser erosionado y está relacionado con la estabilidad estructural del mismo. Se determinó a partir de datos de Cartas de Suelo a escala 1:50.000 para la provincia de Buenos Aires, su cálculo se realizó a partir del porcentaje de las distintas fracciones granulométricas, porcentaje de materia orgánica, permeabilidad y estructura, siendo sus unidades de medida expresadas en $\text{tn}^* \text{mts}^2 * \text{hs} / \text{ha} * \text{J} * \text{cm}$ ó tn / J y los parámetros de **M**, **a** y **b** se tomaron de los 15 a 20 cm superiores del perfil edáfico. (Irurtia & Cruzate, 2007; Gaspari. et al, 2013). Los datos base fueron determinados y calculados en función a los perfiles edáficos que corresponden a la cuenca alta del arroyo Sauce Chico, para lo cual se elaboró una base de datos de uso informático para que pueda ser utilizada por el SIG y generar la cartografía digital correspondiente. $100 * K = 10^{-4} * 2,17 * M^{1,14} * (12 - a) + 4,2 * (b - 2) + 3,23 * (c - 3)$.

6.3 Longitud y Grado de pendiente (LS):

El efecto de la pendiente sobre la pérdida de suelo influye en aumentos progresivos de cantidad de suelo erodado a medida que aumenta el grado y la longitud de pendiente (Henaó, 1988). Para la determinación del factor topográfico en la cuenca de estudio se utilizó un mapa de curvas de nivel (IGN) que coincide con la cuadrícula 3963-5-2 Tornquist descripta por el Atlas de Suelo del INTA, referida a Cartas de Suelo para la provincia de Buenos Aires. Los factores de gradiente y longitud de pendientes se originaron a partir del mapa topográfico (IGN) y su procesamiento a través del software SIG para generar un D.E.M. A partir del mismo se procesó el mapa rangos de pendientes siendo luego reclasificado en rangos de pendientes establecidos por Mintegui Aguirre, 1988.

6.4 Cobertura del suelo (C):

Es importante para estudiar el impacto de la erosión en una cuenca, 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 (Mintegui Aguirre. et al; Gaspari. et al; 1990a; 2013b).

Se utilizó el mapa base de cobertura vegetal y usos del suelo del suelo donde se ajustaron a valores de C. El uso de tablas y gráficos de diferentes tipos de especies herbáceas, forestales y prácticas de cultivos agrícolas permitió obtener valores de C para las condiciones particulares del medio (Wischmeier & Smith, 1978; Gaspari. et al, 2013). Las diferentes características del territorio se analizaron con imágenes satelitales (Google Earth), y se confeccionó un mapa de las categorías más relevantes de cobertura vegetal del suelo para la cuenca alta del arroyo Sauce Chico.

6.5 Prácticas de manejo (P):

Para identificar el tipo de prácticas de conservación de suelos, se han utilizado tablas confeccionadas para diferentes tipos y medidas de protección según la pendiente del terreno, son valores a largo plazo que permiten obtener valores de P para las condiciones particulares de la cuenca (Wischmeier & Smith, 1978; Gaspari. et al, 2013).

Las prácticas de conservación se han establecido y delimitado por toma de datos a través imágenes satelitales (Google Earth) y antecedentes históricos del suelo (INTA). El mapa de prácticas de manejo generado mediante el procesamiento de los datos en el SIG, utilizando tabulación cruzada entre el mapa digitalizado con prácticas de manejo con el mapa de rango de pendiente.

6.6 Zonificación de la Pérdida de suelo superficial.

A partir de la metodología planteada se obtienen las pérdida de suelo actual según la clasificación en grado de erosión hídrica superficial de FAO, PNUMA y UNESCO (Gaspari, 2002) para la cuenca alta del Arroyo Sauce Chico.

Para tener otra apreciación se han reclasificado los valores de pérdida anteriores, en valores de pérdida de tolerancia admisible de suelo para el grado de erosión hídrica superficial. Este nuevo rango considera pérdidas máximas tolerables, con un límite inferior medio de 8tn/ha*año (Irurtia & Cruzate, 2007) y como límite superior medio de 12 tn/ha*año, dependiendo del tipo de suelo (PACD, 2003). Estos fueron útiles para realizar comparaciones entre diferentes escenarios.

Con la modificación de la fórmula de la pérdida de suelo actual se obtienen las pérdidas potenciales de suelo. Se determinaron utilizando las mismas condiciones de lluvia, edafológicas y topográficas pero sin considerar el efecto protector de la cobertura vegetal ni las prácticas de manejo del suelo. Solo considera los factores físicos del lugar poco modificables por el hombre, que representan la pérdida de suelo que ocurriría en ese sitio si todo el año el suelo estuviese desnudo (Gaspari, 2003; Irurtia & Cruzate, 2007). $A.Pot = R * K * L * S$ (tn/ha*año).

7. Alternativas de Manejo del suelo.

Algunos proyectos de ordenación agro-hidrológica se basan en posibles aptitudes de uso mejorando la provisión hídrica, una mejor ocupación sitio, la retención del suelo, regulando las avenidas, el transporte y sedimentación del material removido. En el marco de las alternativas de manejo se tuvo como punto de vista aspectos relacionados con los problemas generados por eventos torrenciales, los referidos a la utilización antrópica de la misma y las potencialidades vegetativas de uso en las diferentes zonas de la cuenca (Mintegui Aguirre. et al, 1994; Gaspari, 2013b), como

también los grupos hidrológicos y los rangos de pendientes (Rodríguez Vagaría. et al, 2010).

Para las propuestas de manejo se utilizaron labores agropecuarios conservacionistas (FAO, 2000) y prácticas de conservación en función del rango de pendiente (Kikby.et al, 1984). El criterio de elección se corresponde con los síntomas que se describen en el diagnóstico.

Cada propuesta de uso va a coincidir con un rango de pérdida de suelo actual. Para pérdidas menores a 24tn/ha*año se propone intervenir sobre el sistema de producción agropecuario, de tal modo se podrán aplicar agricultura con prácticas conservacionistas como cultivos en curvas a nivel y cultivos en fajas en los sitios con mayor pendiente.

Para valores superiores a 24 tn/ha*año tender a tomar medidas de restauración y control inmediato de la situación, principalmente para frenar el proceso de erosión hídrica. Se puede contribuir a realizar clausuras temporales del terreno para evaluar como este responde, es decir, observar que resiliencia tiene el ambiente, y después seguir con alternativas productivas.

Una vez generada la información sobre las alternativas de manejo, se determinó la pérdida de suelo simulando la ejecución de las propuestas. Finalmente para contrastar los resultados, se realizó una comparación entre las tres situaciones de pérdida de suelo solo admitiendo que superficie es admisible o no tolerante a la pérdida de suelo según los valores propuestos.

Según estimaciones de erosión hídrica para la República Argentina se toma como valor medio tolerante 11 tn/ha*año (INTA, 2017). En nuestro caso, se considera que la tolerancia máxima admisible sea de 8 tn/ha*año, debido a que una tolerancia de 12 tn/ha*año solo se alcanza en suelos profundos (mayor a 1,5m) (PACD, 2003) que si bien en el territorio existen, no son generales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Procedimiento de análisis.

Las metodologías descritas permitieron evaluar y zonificar con un SIG la respuesta de la cuenca alta del arroyo Sauce Chico ante la simulación de un fenómeno extremo de gran poder erosivo y poder plantear alternativas de manejo para la condición actual.

2. Caracterización del área de estudio.

2.1 Ubicación geográfica del área de estudio.

La cuenca está ubicada entre 37°53' y 38°05' de latitud sur y 62° 00' y 62° 15' de longitud oeste. El aforo de cierre de la cuenca alta del arroyo Sauce Chico se ubica al noroeste de la ciudad de Tornquist, por donde pasa la Ruta Nacional 33 y sobre el límite sur de la cuenca se ubican las vías del ferrocarril F.C.G.R. T 1676. Figura N°1.



Figura N°1. Ubicación de la “Cuenca Alta del Arroyo Sauce Chico” en la provincia de Buenos Aires, partido de Tornquist.

2.2 Características climáticas.

En el climograma y su respectiva tabla para la situación (Figura N°2; Tabla N°2) se puede apreciar que la precipitación media anual es de 748 mm*año⁻¹, con valores

máximos anuales registrados de 1056 mm y mínimos de 396 mm, con picos de 102 mm en el mes de marzo y mínimas de 27 mm en agosto, pero repartidas a lo largo del año, es decir, que en todo momento hay agua disponible para una normal actividad vegetativa.

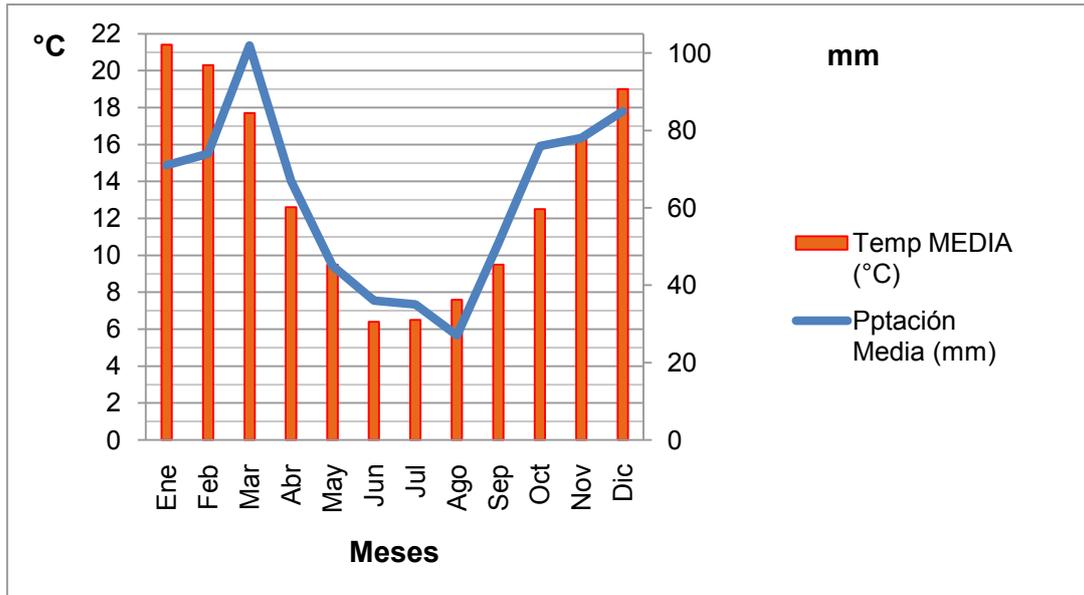


Figura N°2. Climograma año 1991-2016. Fuente: Elaboración en base a datos del SMN. Estación meteorológica Tornquist.

Tabla N°2. Valores medios mensuales y anuales del clima de la región de Tornquist.

Fuente: Elaboración en base a datos del SMN. Estación meteorológica Tornquist.

Meses	T(°C)MÍN ABS	T(°C)MÍN MEDIA	T(°C) MEDIA	T(°C)MÁX MEDIA	T(°C)MÁX ABS	Humedad relativa (%)	Pptación MEDIA (mm/mes)
Ene	5	13,4	21,4	29,4	42,3	61	71
Feb	3,5	12,7	20,3	27,9	40,8	65,6	74
Mar	2	11,1	17,7	24,4	40	70,9	102
Abr	-1,5	6,3	12,6	18,9	31,3	73,8	67
May	-4,5	4	9,5	15	28,1	77,3	46
Jun	-8	1,9	6,4	11	25,1	78,7	36
Jul	-7,1	1,5	6,5	11,5	25	76,5	35
Ago	-5,2	1,5	7,6	13,7	28,8	69,2	27
Sep	-2,8	3,2	9,5	15,9	28,5	69	51
Oct	-3	5,8	12,5	19,3	33,3	68	76
Nov	0,5	9,1	16,3	23,5	37,2	63,8	78
Dic	1,5	11,3	19	26,8	40,8	58,5	85
ANUAL	-1,6	6,8	13,3	19,8	33,4	69,4	748

La temperatura media anual es de 13,3 ° C con valores extremos de 6,4°C a 21,4 °C en el rango de la media anual. Los valores absolutos anuales, alcanzan valores máximos de 42,3 °C en el mes de febrero y valores mínimos de -8°C en el mes de junio. En la zona las heladas son frecuentes entre los meses de Abril y Octubre, con 162 días, siendo el mes Agosto de máxima probabilidad de ocurrencia. La ocurrencia fue de 39 días para heladas anuales (INTA EEA Castelar, 2015). La Humedad Relativa anual es del 69,4%, alcanzándose valores máximos mensuales de 78% para Junio, y valores mínimos mensuales de 58,5% para Diciembre (ORA, 2015).

La Evapotranspiración real anual para esta estación (20) es de 517 mm*año⁻¹, con déficits hídricos en otoño, primavera y verano que aumentan hacia el Sur de la cuenca (Torrero, 2009).

2.3 Diagnóstico Integrado.

Por medio del relevamiento temático de la información se determinaron indicios, a escala de paisaje, de erosión hídrica laminar y/o vulnerabilidad del complejo agua-suelo-vegetación. Un factor muy importante que actúa sobre la modificación del paisaje es la acción antrópica (Gaspari, 2002) como los ciclos geológicos.

Las condiciones de clima, drenaje, materiales parentales y grado de inclinación del terreno, en lo referente a riesgos, evidencian erosión eólica e hídrica como la salinización por riego (Uriarte. et al, 1985) en la cuenca del Río Sauce Chico. Hoy en día el área está sufriendo reactivación tectónica que provoca el rejuvenecimiento de la cuenca generando una etapa de desequilibrio que se le asocia un importante potencial erosivo (Torrero & Campo, 2008).

Las diferencias altimétricas destacan el desarrollo de una red de drenaje subdendrítica en el sistema serrano de Ventana, con pendientes mayores al 8% (Campo de Ferreras. et al, 2004) denotando conjunto a características topográficas la aparición de procesos de erosión hídrica superficial y en profundidad. Los factores que favorecen la

generación de cárcavas en la cuenca alta son: el gradiente topográfico asociado a la formación montañosa y la escasa vegetación (Torrero, 2009) del pastizal nativo a causa del sobrepastoreo (Barrera & Frangi, 1997).

En las Sierras de la Ventana el efecto de la atenuación de la radiación causado por la topografía y la orientación determina variaciones climáticas locales y asociadas a ellas cambios en la estructura vegetal (Frangi & Bottino, 1995) y los usos del suelo se asocian también a condiciones edáficas (Torrero, 2009), estas condicionan el volumen escurrido en función de la estructura, textura, permeabilidad y condiciones de humedad antecedentes. Los procesos de erosión son mayores en épocas de escasas precipitaciones cuando la cobertura vegetal es pobre y no cumple con su función de intercepción del agua (Campo de Ferreras. et al, 2009), además existe un déficit estival en la oferta energética del forraje, tanto por calidad como cantidad, donde la situación se agrava cuando las aguadas naturales se secan y pastorea el ganado (Lizzi, 2004) de forma extensiva.

La zona presenta de un manejo tradicional con poca planificación de medidas con manejo 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 regional. Asimismo existe un proceso de agriculturación por cambios tecnológicos y productivos que tiende a concentrar los recursos naturales, generando un éxodo rural que afecta principalmente a los pequeños y medianos productores, reduciendo las familias agrarias.

Cabe destacar que el hombre es el primer agente modificador de los parámetros hidrográficos, es el más afectado por las alteraciones y variaciones que se producen en el sistema natural, sean por sus propias causas y mecanismos o por el accionar antropogénico (Torrero, 2009). Una consecuencia evidente de la falta de manejo de los recursos es el sobrepastoreo del deterioro del estrato gramíneo y la arbustificación de los mismos por la *Eupatorium bunifolium* (chirca) (Barrera & Frangi,

1996), así como la presencia de cursos de agua y llanura aluvial desprotegidos que estimula el desarrollo de márgenes inestables favoreciendo la erosión lateral y como consecuencia se disminuyen las áreas aptas para cultivo agrícola (Gaspari, 2002) (Foto N°1), la explotación turística intensiva en la Sierra de la Ventana y las plantaciones con fines paisajísticos de plantas leñosas exóticas (*Pinus sp*, *Cupressus sp*, *Eucalyptus sp*, y *Populus sp*) han invadido grandes extensiones montañosas (Zalba. et al; 2002).

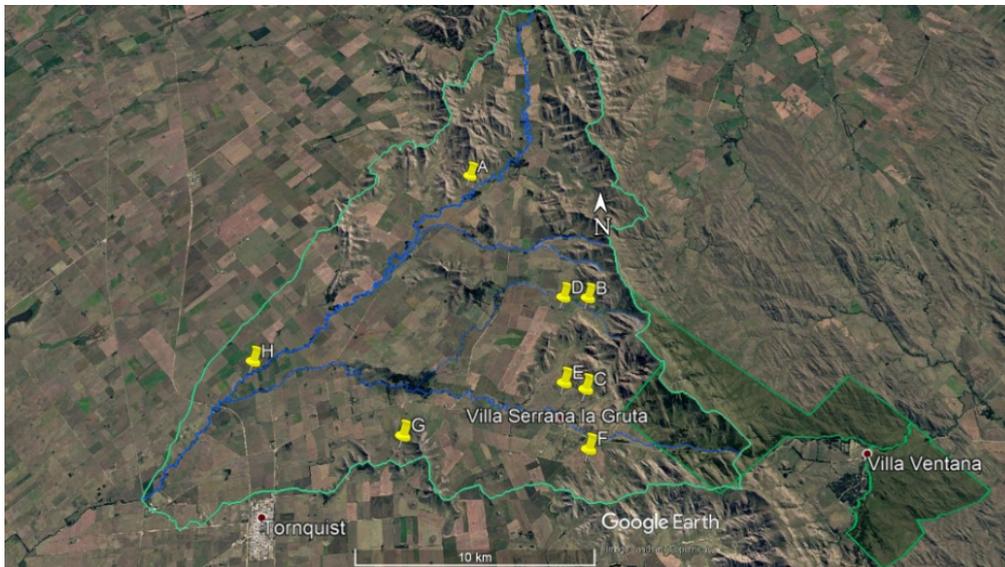


Foto N°1. T: Puntos de georreferenciados de presencia de erosión hídrica. *Fuente:*

Elaboración propia en base a imágenes Google Earth.



Foto N°1: A: Cárcava y escurrimiento superficial en medidas de conservación.

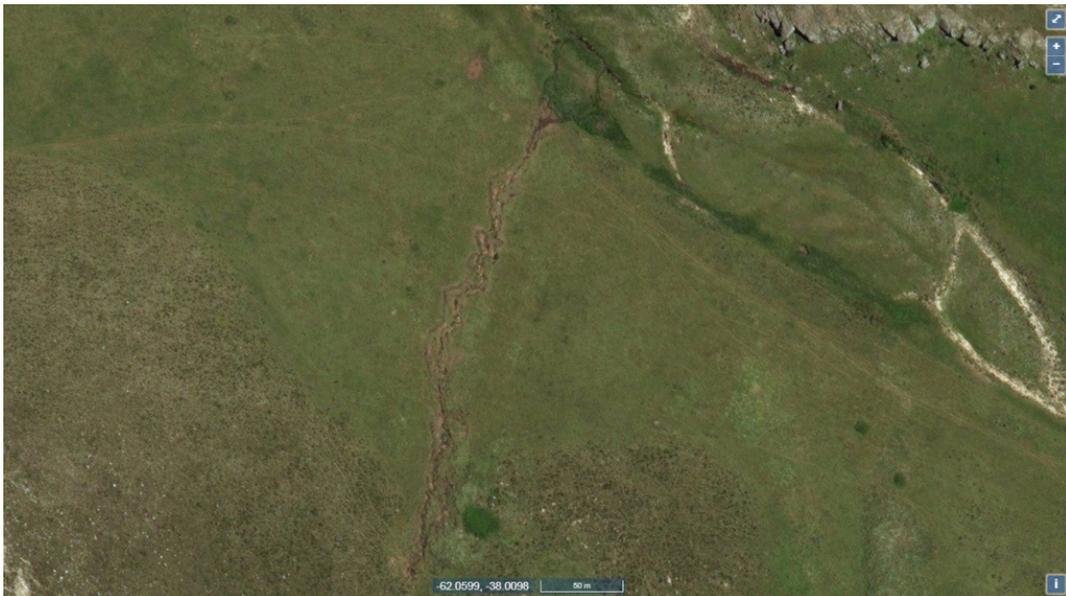


Foto N°1: B: Manifestación de una cárcava en desarrollo en pedemonte, causado por un camino de vaca.



Foto N°1: C: Cárcava y escurrimiento superficial en pedemonte.



Foto N°1: D: Cárcava y escurrimiento superficial en medidas de conservación.



Foto N°1: E: Manifestación de cárcava ante un manejo tradicional en lomas suaves.



Foto N°1: F: Cárcava y escurrimiento superficial en medidas de conservación.



Foto N°1: G: Manifestación de una cárcava y surcos, en planicie aluvial, producto del ganado.



Fotos N°1: H: Degradación superficial provocada por el ganado.

Se analizó la región con fines proteccionistas, productivos y de sostenibilidad. Pero debe resaltarse algunos factores muy importantes que actúa sobre la modificación del paisaje como “la acción antrópica y la falta de información”. Términos que se entienden por un decremento del potencial productivo, un deficiente abastecimiento de agua y la pérdida de calidad del paisaje, a causa de inadecuadas prácticas de manejo de los recursos en sitios con pendientes y el turismo desordenado (Denegri. et al, 2012). A su vez el desconocimiento de los pagos por servicios ambientales (PSA).

3. Análisis morfométrico.

3.1 Parámetros de forma.

En Tablas N° 3 se presentan los valores de perímetro, longitud axial, superficie de la cuenca, ancho promedio, factor de forma, coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc) correspondientes a los parámetros de forma para la cuenca alta del arroyo Sauce Chico.

Tablas N° 3: Parámetros de forma. Fuente: Elaboración en base a Gaspari. et al (2013).

Parametros de forma						
Categoría	Perimetro (km)	Longitud axial (km)	Área (ha)	Ancho promedio (km)	Factor de forma	Coef de compacidad
Cuenca Alta A° S Ch	140,27	39,88	37.352,58	9,36	0,23	2,04

El Factor de forma indica que estamos en presencia de una cuenca con una forma irregular, siendo oblonga–triangular según coeficiente de compacidad (Kc).

3.2 Parámetros de relieve.

El grafico que ilustra la curva hipsométrica para la cuenca posee una altura máxima de 1110 m, una altura mínima de 260m y altura media (cota correspondiente al 50% de

proporción de área) de 570 m. La distribución en el terreno de sierras empinadas se observa en el 20% del área, con alturas superiores a 710 m Figura N°3.

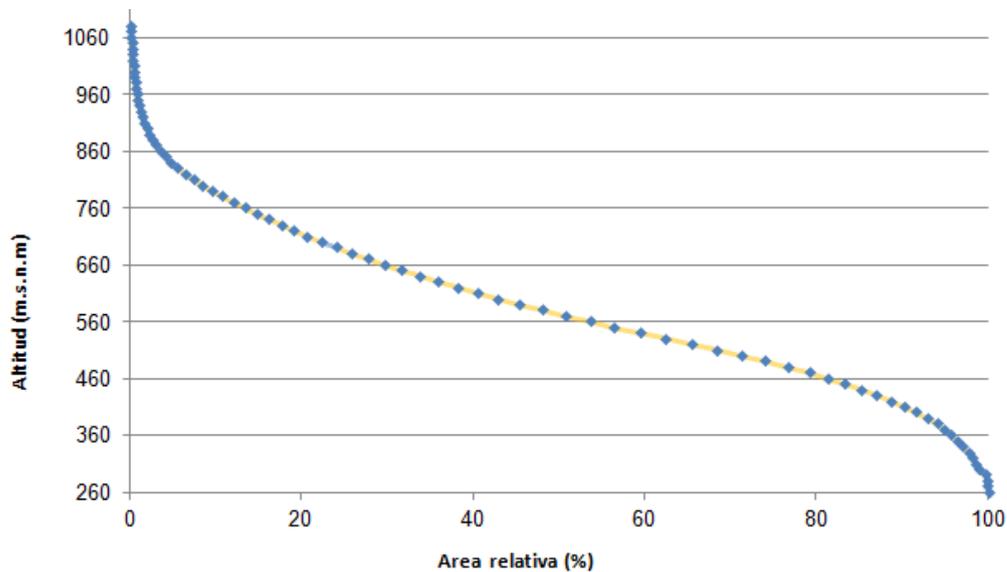


Figura N° 3: Parámetros de relieve: Curva hipsométrica. Fuente: Elaboración en base a Gaspari. et al (2013).

Existe evidencia que el área está sufriendo reactivación tectónica, provocada por una etapa intermedia entre la fase de equilibrio y juventud, y que evoluciona hacia la etapa de madurez, generando desequilibrios que se le asocia un importante potencial erosivo. (Torrero & Campo, 2008).

3.3 Parámetros de drenaje.

Los valores de densidad de drenaje, pendiente media del cauce y tiempo de concentración se exponen en la Tabla N°4.

Tabla N° 4: Parámetros de drenaje. Fuente: Elaboración en base a Gaspari (et al 2013).

Categoria	Parametros relativos de la red de drenaje				Tiempo de concentración
	Densidad de drenaje (km/km ²)	Longitud del cauce primario (km)	Longitud total e los curso de agua (km)	Pendiente media del cauce (%)	
Cuenca Alta A° S Ch	1,06	39,88	395,8	2,24	4hs23'

El valor medio estimado para la densidad de drenaje en la cuenca es de 1,06 km²/km², considerándose como media a alta según Horton, esta situación genera que la escorrentía recorra rápidamente disminuyendo el tiempo de concentración e incrementando el pico de crecida al haber menos infiltración. Existe una mayor densidad en la zona norte (arroyo Sauce Chico) de la cuenca de 1,2 km²/km² y 0,86 km²/km² para la zona sur del arroyo Ventana (Torrero, 2009). Esta disposición de los cursos permanentes y estacionarios conforman un diseño integrado subdendrítico (Uriarte. et al, 1985), con pendientes mayores al 8% (Torrero & Campo. 2008). La elevada densidad de drenaje suma una longitud entre todos los cursos de agua de 395,8 km.

La pendiente media estimada para la cuenca alta del Arroyo Sauce Chico es de 2,24% considerándose suave, característica de un relieve mixto con predominio de llanuras en un 75% en donde no se superan los 300 msnm (Uriarte. et al, 1985). Otros autores para toda la cuenca del Rio Sauce Chico estimaron valores de 2,36% (Torrero, 2009). Para el territorio la escorrentía recorre rápidamente la superficie debido a la elevada pendiente y al tipo de suelo (principalmente Hapludoles líticos), disminuyendo el tiempo de concentración pero incrementando el pico de crecida por la menor infiltración, siendo este para el colector principal de 4hs 23'.

4. Caracterización geoespacial de la cuenca.

El sistema de referencia para la cartografía de trabajo fue Argentina Faja 5 que se corresponde con la representación cartográfica de la cuenca alta del arroyo Sauce

Chico cuyo límite espacial expresado en coordenadas Gauss-Krüger con distanciamiento en kilómetros es el siguiente:

X mínimo: 5299 km. X máximo: 5326 km.

Y mínimo: 5780 km. Y máxima: 5809 km.

La grilla de filas y columnas de trabajo está referenciada y homogeneizada bajo la siguiente estructura: cantidad de columnas: 2000 y cantidad de filas: 2000.

Como resultado se obtienen capas temáticas de 27 km por 29 km de lado y representado en coordenadas X-Y de igual orientación que las columnas – filas de coordenadas planas en la grilla, respectivamente. Considerando que la grilla está compuesta por dichas unidades gráficas, entonces cada mapa está compuesto por un total de 400.000 (uno por cada columnas y fila), donde el píxel (elemento pictórico) estrictamente posee un tamaño cada uno en la grilla sobre el eje X mide 13,5 metros y sobre el eje Y mide 14,5 metros.

4.1 Topografía y de Drenaje.

La topografía del terreno está bien definida por las sierras, el procesamiento de las curvas de nivel (Figura N°4) a través de SIG para generar un D.E.M (Figura N°5) mostró puntos elevados donde la sierra se extiende y la caída de la altitud a medida que se alejan de las sierras, acentuándose en lomadas suaves.

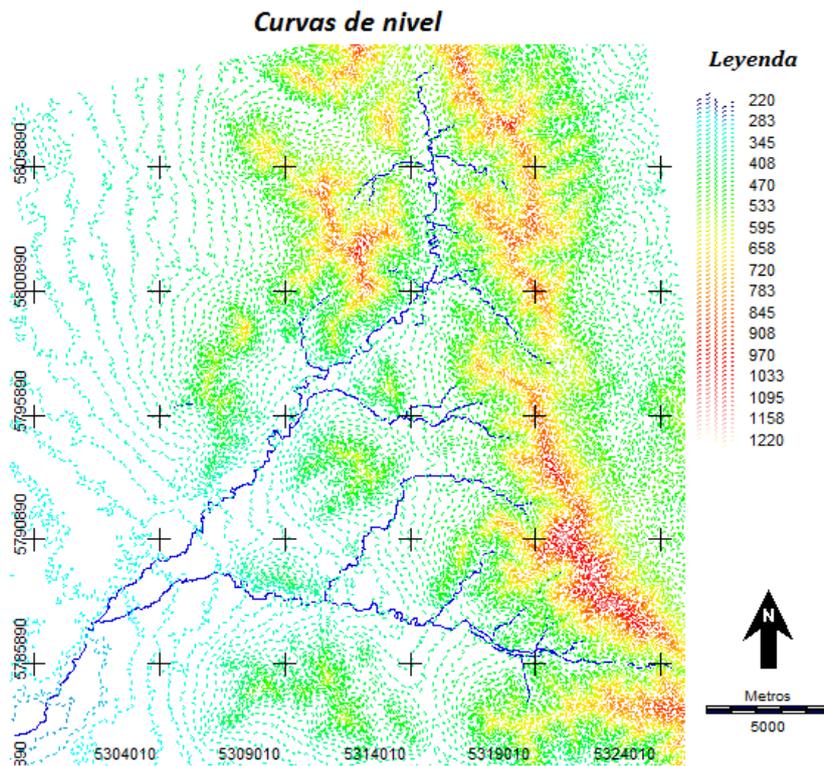


Figura N°4. Fuente: Elaboración en base a Cartas Topográficas. IGN (2015).

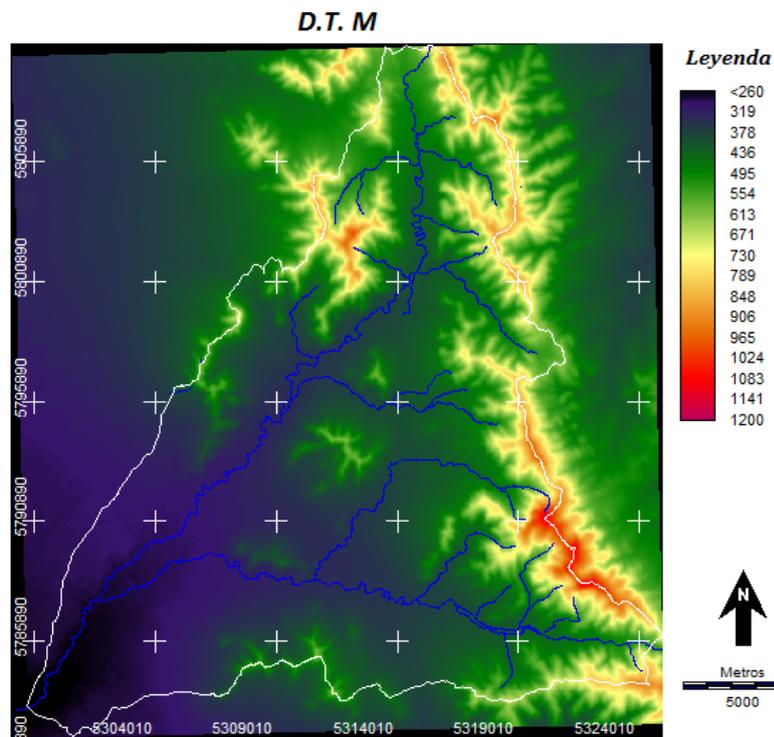


Figura N°5. Fuente: Elaboración en base a Cartas Topográficas IGN (2015).

Las imágenes raster ortogonales del terreno permitieron determinar la dirección del flujo de agua según ángulos de ladera, los cursos de agua temporarios y permanentes se demarcan en el paisaje siendo el colector principal el arroyo Sauce Chico y sus afluentes primarios son el arroyo Barril y arroyo Ventana, por otra parte este último es el afluente más caudaloso por recibir los aportes de los arroyos San Juan y San Pedro (Campo. et al, 2009) (Figura N°6).

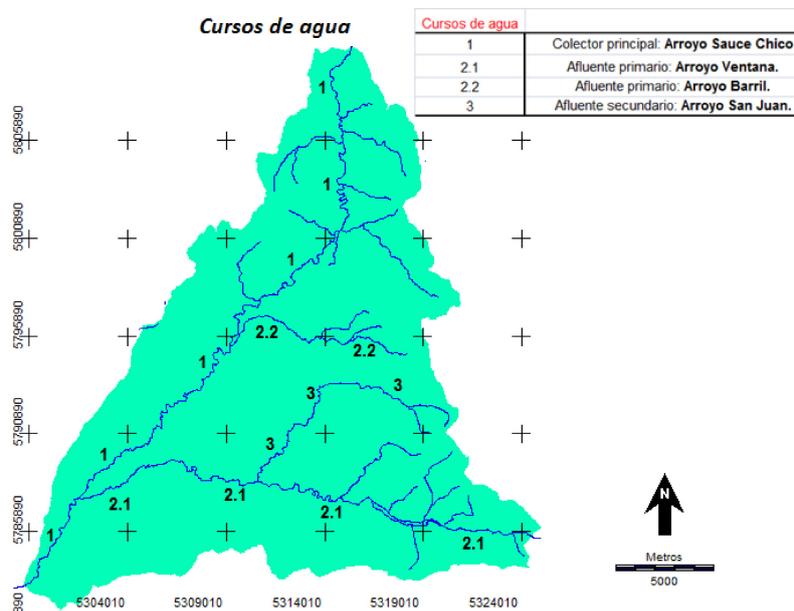


Figura N°6. Fuente: Elaboración en base a la red de drenaje de IGN (2013).

Con la cartografía topográfica, el modelo digital del terreno, el mapa de drenaje y la implementación del SIG se determina la digitalización del límite de las cuencas drenaje (Figura N°7).

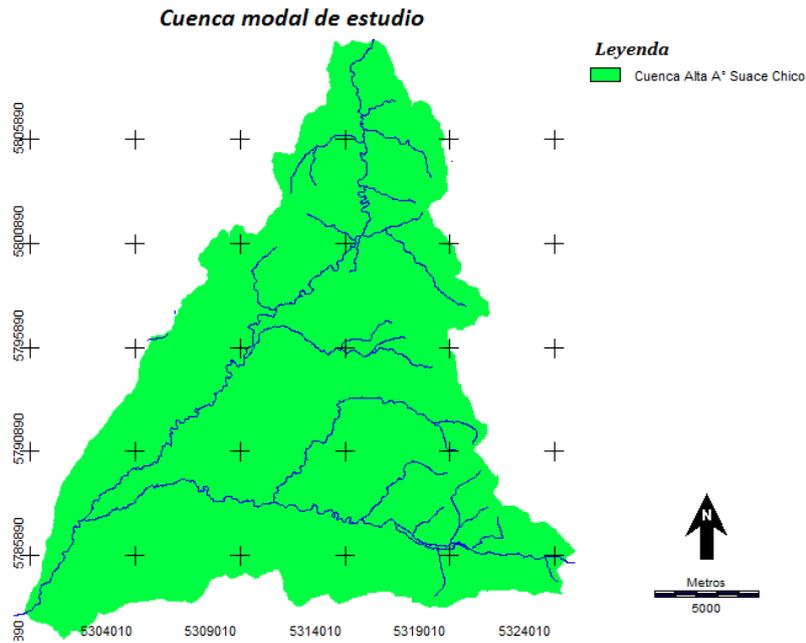


Figura N°7. Fuente: *Elaboración en base a Gaspari, et al. 2013.*

4.2 Relevamiento edafológico.

Dentro de los Grandes Grupos Dominantes de suelos para el área de estudio se desarrollan 16 Complejos de suelos que dan la fisiografía, características paisajísticas y oportunidades de establecer diferentes actividades productivas para el desarrollo de la sociedad vinculada al territorio (Figura N°8; Tabla N°5 y Tabla N°6).

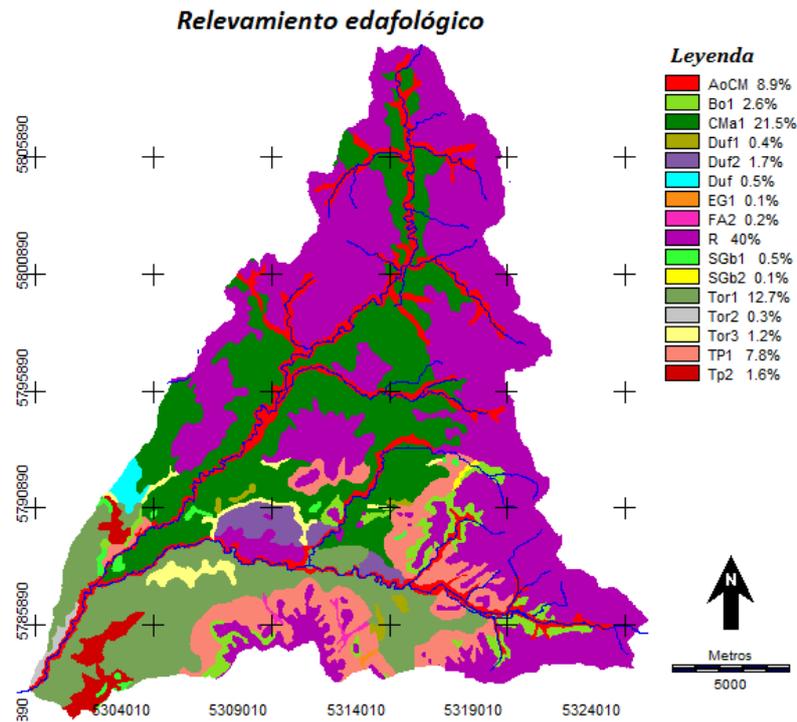


Figura N°8. Fuente: Elaboración en base GeoINTA. Escala 1:50.000.

Tabla N°5. Fuente: Elaboración en base a las Cartas de Suelo (escala 1:50.000) INTA EEA Castelar (1989); Gaspari. et al (2013) y Taxonomía de suelo (USDA, 2014).

Relevamiento edafológico							USDA		
ORDEN	SUBORDEN	Gran Grupo	SubGrupo	Complejos y Series	Textura	Cap. Uso	I.P	Grupo Hidrológico	
	USTOL	Haplustol	tipico	CMa1	Franco limoso fino mixto	Illec	50,4	B	
			petrocalcico	Bo1	Franco-arcillo-arenoso	IVsc	38,4	C	
				SGB1	Franco-arcilloso.	IVsc	20	C	
		Argiustol	tipico	TP1	Franco fino	IVsc	48	B	
				Tp2	Franco-arcilloso	IVsc	43	C	
				Tor1	Franco-arcillo-limoso	Illsc	52	C	
				Tor2	Franco-limoso fino	Illsc	60,4	B	
MOLISOLES				Tor3	Franco-limoso	Illsc	55	B	
		UDOL	Argiudol		SGB2	Franco-arcilloso.	IVsc	38	C
				tipico	Df1	Franco-arcillo-limoso	IVsc	34,4	C
			Df2	Franco-arcillo-limoso	IVsc	24,6	C		
			Duf	Franco-limoso fino	IVsc	39,4	B		
			vertico	EG1	Franco-arcilliso-limoso	Illws	45	C	
	ALBOL		Hapludol	litico	R	Roca	VIII	5	D
				Natrabol	tipico	FA2	Franco-arcillo-limoso hidromorfico	Vllws	15
						AoCM	Franco arcillo	Vllws	5

Ante un análisis cuali y cuantitativo de los tipos de suelos, se visualiza que la mayor proporción del territorio, el 40%, está ocupado por la serie *Roca (R)* en superficie. Aproximadamente el 34% de la cuenca es ocupado por los complejos *Cura Malal 1 (CMa1)* y el complejo *Tornquist 1 (Tor1)*, estos son los principales sitios donde se realiza agricultura. En menor proporción pero de características típico para la zona, por

ocupar los espacios de pedemonte mencionamos al complejo *Tres Pico 1 (Tp1)* con una participación del 8% (nótese que su desarrollo contempla solo el pedemonte de la zona sur de la cuenca) y la serie *Arroyo Cura Malal (AoCM)* con un 9%, que se extiende a lo largo de las llanuras aluviales de los cursos de agua permanentes como temporarios.

Tabla N°6. Porcentaje de ocupación de las series de suelos. *Fuente: Elaboración en base del GeoINTA. Escala 1:50.000.*

Relevamiento edafológico		
Series de suelo	Superficie (ha)	Porcent (%)
Roca	14909,3	40
Cura Malal 1	8012	21,5
Tornquist 1	4717,3	12,7
A° CuraMalal	3302	8,9
Tres Picos 1	2909,4	7,8
Bonete 1	979,7	2,6
Dafaur 2	628,4	1,7
Tres Picos 2	578,4	1,6
Tornquist 3	458,1	1,2
Dafaur	185,9	0,5
San Gabriel 1	179,7	0,5
Dafaur 1	156,6	0,4
Tornquist 2	98,4	0,3
Faustina2	77,9	0,2
San Gabriel 2	34	0,1
El Gavilan 1	19,5	0,1

El resto de los 11 complejos ocupan el 9% del total de la cuenca y su desarrollo se incrusta como pequeños parches o manchas asociadas a los complejos dominantes.

4.3 Relevamiento de la cobertura vegetal y usos del suelo.

Del mapa de uso del suelo o de la vegetación se deduce que existe una distribución en el terreno en función de la aptitud de uso e Índice de Productividad (IP) para los diferentes suelos de la cuenca. Los suelos con mayor IP (INTA, 1989.) son aprovechados en su plenitud para realizar actividades agrícolas por esa razón a

medida que la pendiente del terreno aumenta los suelos son menos profundos y su IP decrece por lo tanto los usos de los mismos se restringen hasta llegar al punto de parcelas que predomina pastizal natural con roca en superficie.

Hoy en día, no se cuenta con cartografía de la vegetación regional de Sierra de la Ventana con un detalle adecuado a su heterogeneidad (Golluscio. et al, 2007). Para el mapa de uso del suelo generado para la condición actual (Figura N°9; Tabla N°7) se puede describir que existe un desbalance y desequilibrio para los destinos del recurso suelo y su uso. Aproximadamente el 50% de la superficie de la cuenca es utilizada para labores de agropecuarios exclusivamente. Un 13,5% de los pastizales categorizados como degradados se encuentran en los pedemontes de las sierras y un 31% del pastizal con roca en superficie.

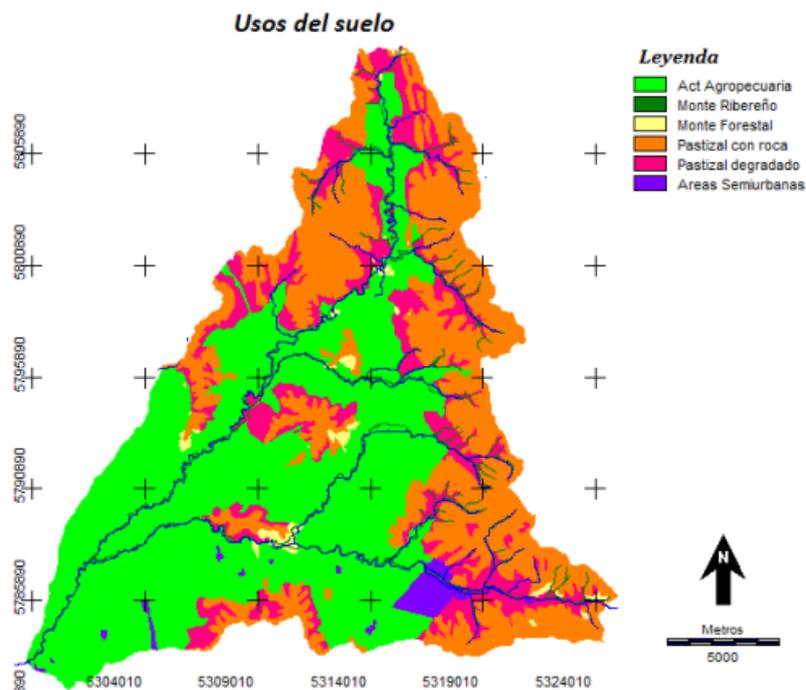


Figura N°9. Fuente: Elaboración en base a Gaspari, et al.2013.

Las últimas dos categorías mencionadas comparten en común el uso extensivo de la ganadería que impacta de manera muy negativa en la composición florística y la óptima recepción de las precipitaciones caídas.

Por otro lado los montes forestales y el arbustal ribereño son considerados al parecer elementos de poca importancia para la viabilidad de la cuenca, ya que su participación es muy acotada respecto de la actividad agrícola que se desarrolla. La pequeña superficie que ocupan los montes forestales de reparo y abrigo es aproximadamente del 1% de la superficie total y la vegetación circundante a la ribera de los arroyos categorizada como arbustal ribereño con un 3,3% de la superficie total.

Tabla N°7. Categorías de uso del suelo. Fuente: Elaboración en base a Gaspari. et al (2013)

Usos del Suelo		
Categorías	Superficie (ha)	Porcent%
Cultivos Agrícolas.	18441,5	49,5
Monte Ribereño.	1231,8	3,3
Monte Forestal.	404,4	1,1
Pastizal con roca.	11623	31,2
Pastizal degradado.	499	13,4
Área semi urbana.	556	1,5

Las categorías mencionadas se encuentran en una decadente proporción sin consideración su importancia en el funcionamiento de la dinámica de retención y desagüe del agua entrante, la estabilización de las márgenes del cauce, contribuir como hábitat de la fauna circundante, en mejorar la calidad del agua, en diversificar la producción, etc. Una buena cobertura y distribución espacial del arbustal ribereño, sin obstruir el cauce, contribuye a mejorar la eficiencia de conducción y estabilizar el ambiente aluvial. Respecto al área semiurbana podemos mencionar algunos cascos de estancias y la Villa La Gruta (localidad serrana).

4.4 Pendiente del terreno.

Existe un predominio de elevadas pendientes en el sistema serrano con una proporción del 18,2% por el otro lado las lomadas suaves y valles son importantes en magnitud, el 64% lo que es una ventaja desde el punto de vista de la producción.

Los rangos se pueden visualizar en el (Figura N°10 y Tabla N° 8).

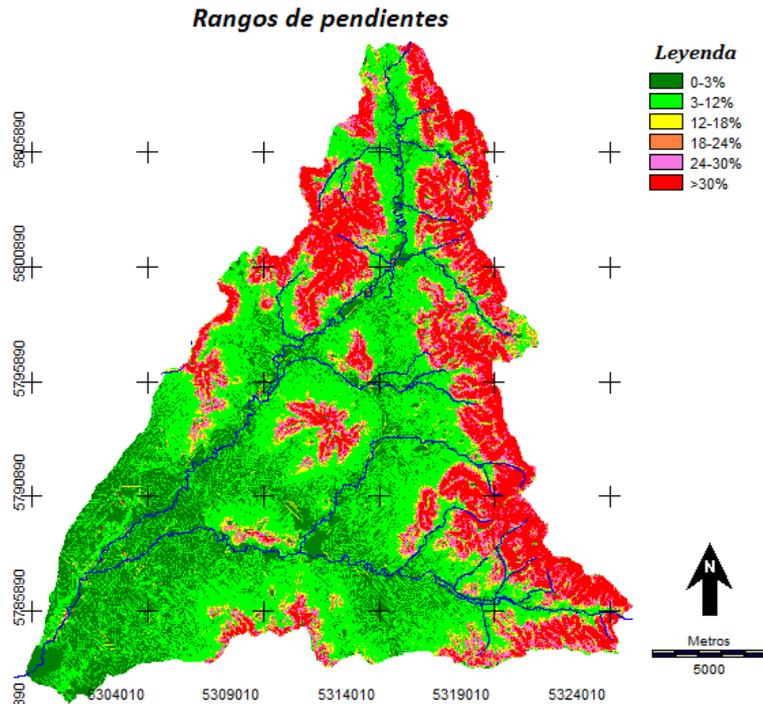


Figura N°10. Fuente: Elaboración en base a Mintegui Aguirre (1988).

Tabla N°8. Rangos de pendientes. Fuente: Elaboración en base a Mintegui Aguirre.

(1988).

%pendientes			
Categorías	Rangos de pendientes%	Superficie (ha)	Porcent%
1	0 - 3.	8161,46	21,85
2	3 - 12.	15950,78	42,7
3	12 - 18.	2117,5	5,67
4	18 - 24.	1555,56	4,16
5	24 - 30.	2650,86	7,1
6	> 30.	6916,53	18,52

4.5 Grupos hidrológicos.

Los complejos de suelos se agruparon en 3 grupos hidrológicos (GH) demarcando una distribución en el territorio complementaria a las formaciones texturales, los rangos de pendientes y la orientación de laderas (Tabla N°9; 10 y 11; Figura N°11).

Tabla N°9. Clasificación de Grupos Hidrológicos (GH). *Fuente: Gaspari. et al. (2013).*

Grupos Hidrológicos	
Categorías	Textura
A	Arenoso; Arenoso-Franco; Franco-arenoso.
B	Franco-limoso; Franco; Limoso.
C	Franco-arcillo-arenoso; Franco-arcilo-limoso; Franco-arcilloso.
D	Arcillo-arenoso; Arcillo-limoso; Arcilloso.

Tabla N° 10. Porcentaje de ocupación en superficie de Grupos Hidrológicos (GH).

Fuente: Elaboración en base a categorías Gaspari. et al (2013).

Grupos Hidrológicos		
Serie	GH	Porcent%
Roca	D	39,9
Cura Malal 1	B	21,4
Tornquist 1	C	12,6
A° CuraMalal	C	8,8
Tres Picos 1	B	7,8
Bonete 1	C	2,6
Dafaur 2	C	1,7
Tres Picos 2	C	1,5
Tornquist 3	B	1,2
Dafaur	B	0,5
San Gabriel 1	C	0,5
Dafaur 1	C	0,4
Tornquist 2	B	0,3
Faustina2	C	0,2
San Gabriel 2	C	0,1
El Gavilan 1	C	0,1

La mayor proporción está representada por suelos del GH D, correlacionándose con Hapludoles líticos, su gran extensión y poca capacidad para infiltrar del agua precipitada, representando el 40% de la superficie de la cuenca, dato no menor a la hora de intervenir. Estos presentan vertientes en la cabecera que se caracterizan como aguas bicarbonatadas cálcica magnésicas y en los cauces inferiores como bicarbonatadas sódicas (Fiorentino, 1999) como consecuencia son suelos salinos, pobres en materia orgánica, con problemas de drenaje y alcalinidad sódica lo cual restringe su uso al pastoreo de la vegetación natural (Torrero & Campo, 2008).

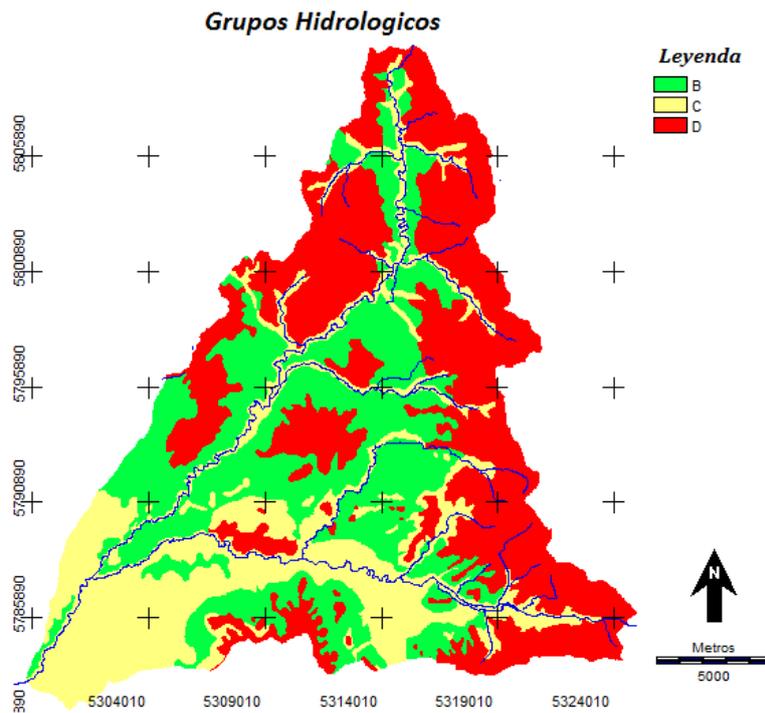


Figura N°11. Fuente: Elaboración en base a categorías Gaspari. et al (2013).

Tabla N°11. Porcentaje de ocupación en superficie de Grupos Hidrológicos (GH) agrupados. Fuente: *Elaboración en base a categorías Gaspari. et a (2013).*

GH		
Categoría	Superficie (ha)	Porcent%
D	14909,3	40
B	11741,8	31,5
C	10595,6	28,4

El GH B representa una proporción de 31,5% en el territorio, son suelos con buena capacidad de infiltración compuestos principalmente por el complejo *CMa1* y complejo *Tp1*.

Por otro lado, el 28,4% del territorio pertenece al GH C, las características son principalmente aportadas por el complejo de *Tor1* y la serie *AoCM* que se desarrolla en la planicie de inundación y llanura aluvial, estos sufren una intensa acción erosiva e inundaciones (Torrero, 2009).

4.6 Base de precipitación.

Toda la cuenca recibió para la modelización una misma lámina de precipitación de 100 milímetros (Figura N°12 y Tabla N° 12).

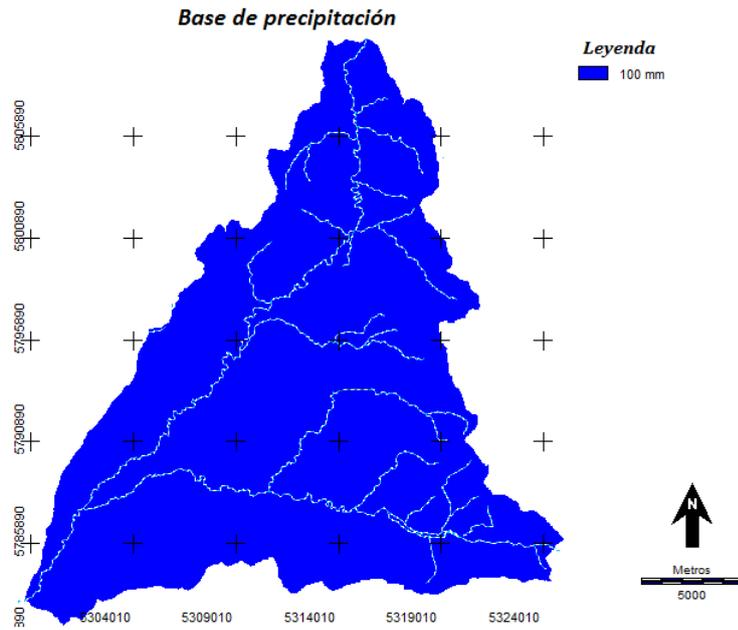


Figura N°12. Fuente: Elaboración en base a Gaspari, et al. 2013.

Tabla N°12. Fuente: Elaboración en base a datos estimados por Gaspari, 2002.

Base de precipitación	
Categoría	Ppción (mm)
Cuenca Alta A° S Ch	100

5. Caudales Líquidos.

La información alcanzada por el Macro Modeler GeoQ (Figura N°13) a través de la metodología del Número de Curva para la estimación de la lámina de escurrimiento superficial (q) y la capacidad de infiltración o número de curva (NC) del ambiente se generó para tres situaciones de humedad antecedente del suelo, considerando una precipitación (mm) de cinco días como “I seco (<12,7)”; “II normal (12,7-38,1)”; “III húmedo (>38,1)”. Esta información permitió por comparaciones visual y cuantitativa ver cómo la cuenca responde a fenómenos torrenciales simulado.

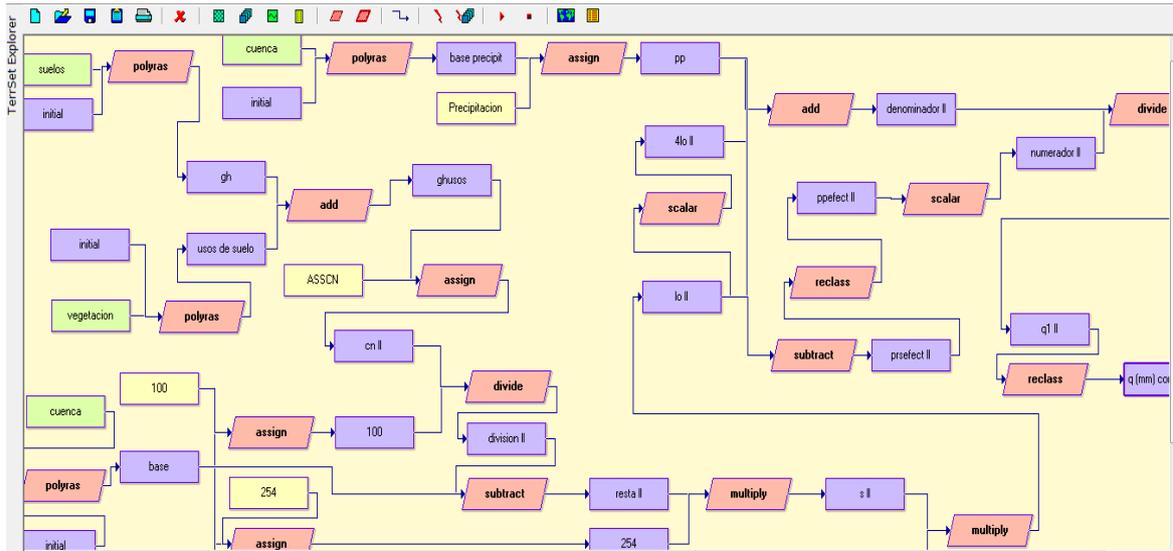


Figura N° 13. Macro Modeler GeoQ. Fuente: Rodríguez Vagaría. et al (2014).

Al aumentar la humedad antecedente del suelo, los parámetros de “q (mm)” y NC se incrementan haciéndose más crítica la situación si no se maneja el uso de los recursos “agua-suelo-vegetación” de una manera correcta. Asimismo el escurrimiento superficial será mayor cuando la cobertura vegetal sea más pobre (Campo de Ferreras. et al, 2004).

Para la condición seca de déficit hídrico (I), los valores medios ponderados para el “NC” resulto de 67,7 y el “q I” (mm) de 30,6. Los valores se asemejan a una condición donde no existen un elevado escurrimiento debido al estrés hídrico que sufre el ambiente (Figura N°14 y N°15; Tabla N°13 y N°14).

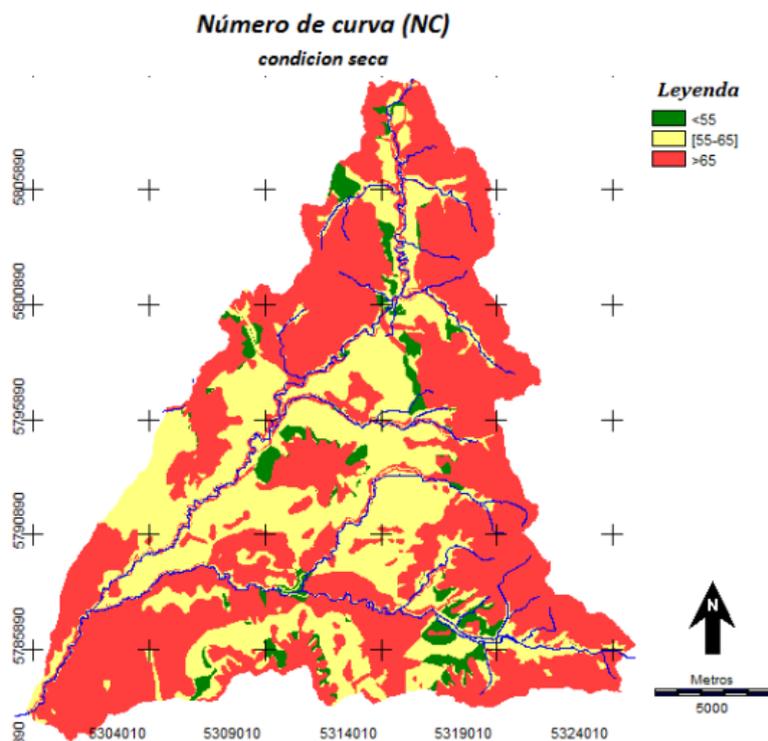


Figura N°14. Fuente: Elaboración en base a la proyección automática del Macro Modeler GeoQ.

Tabla N°13. Superficie de ocupación del NC de la Condición de humedad antecedente del suelo: déficit hídrico. Fuente: Elaboración propia.

Número de Curva condición I		
NC	Superficie (ha)	Porcent%
> 65	22846,2	60,4
[55-65]	13079,1	35,2
< 55	1321,4	4,4
NC medio pond	67,7	

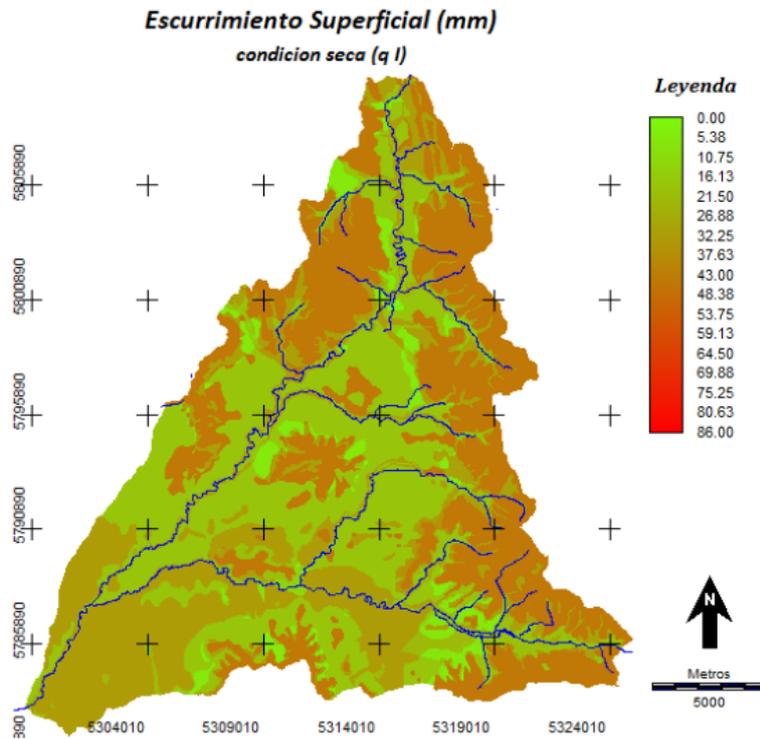


Figura N°15. Fuente: Elaboración en base a la proyección automática del Macro Modeler GeoQ.

Tabla N°14. Superficie de ocupación en la Condición de humedad antecedente del suelo: déficit hídrico. Fuente: Elaboración propia.

Lámina de escurrimiento supcondición I		
q (mm)	Superficie (ha)	Porcent%
> 25	22575,7	60,4
[15-25]	13133,8	35,2
< 15	1640,8	4,4
q medio pond	30,6	

En la condición normal de análisis (II), donde los valores de potencial mátrico se sitúan entre punto de marchites y capacidad de campo, los valores medios ponderados para el “NC” resulto de 83,1 y el “q II” (mm) de 57,6. Queda evidenciado que a nivel de cuenca existe un importante escurrimiento superficial y una capacidad de retención

pobre, ya que burdamente la cuenca actúa como un pastizal ralo con roca en superficie (Figura N°16 y N°17; Tabla N°15 y N°16).

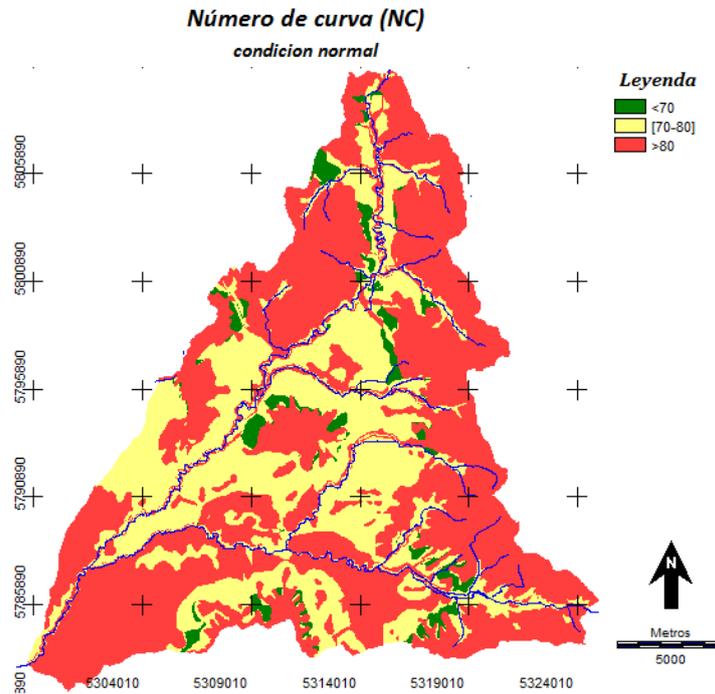


Figura N°16. Fuente: Elaboración en base a la proyección automática del Macro Modeler GeoQ.

Tabla N°15. Superficie de ocupación del NC de la Condición de humedad antecedente del suelo: normal. Fuente: Elaboración propia.

Número de Curva condición II		
NC	Superficie (ha)	Porcent%
> 80	22575,7	60,4
[70-80]	13448,3	36.0
< 70	1326,2	3,6
NC medio pond	82,9	

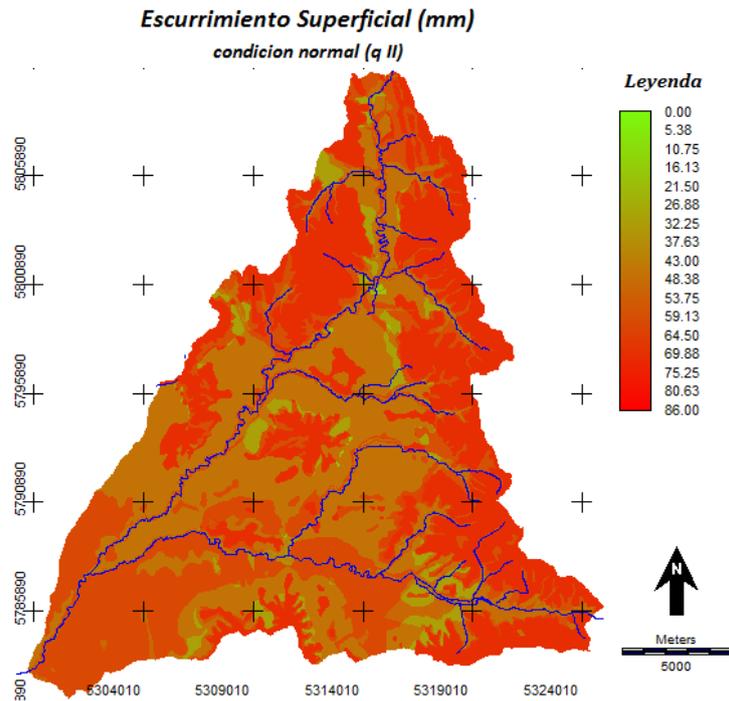


Figura N°17. Fuente: Elaboración en base a la proyección automática del Macro Modeler GeoQ.

Tabla N°16. Superficie de ocupación en la Condición de humedad antecedente del suelo: normal. Fuente: Elaboración propia.

Lámina de escurrimiento sup condición II		
q (mm)	Superficie (ha)	Porcent%
> 65	12405,3	33,2
[55-65]	10170,5	27,2
< 55	14774,6	39,6
q medio pond	57,6	

La condición de saturación hídrica (III), los valores medios ponderados para el “NC” resultado de 91,8 y el “q III” (mm) de 77,5, es decir, prácticamente todo lo que precipita se escurre aguas abajo (Figura N°18 y N°19; Tabla N°17 y N°18).

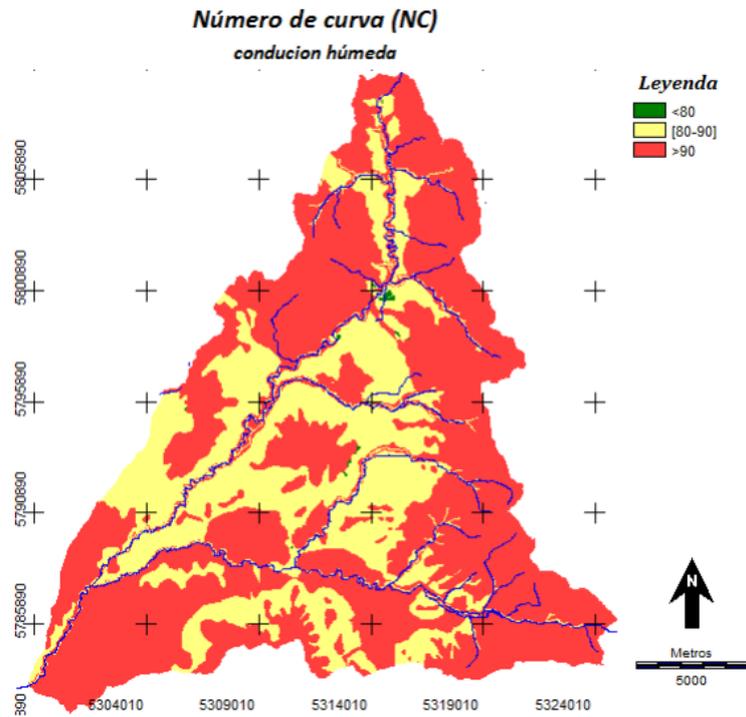


Figura N°18. Fuente: Elaboración en base a la proyección automática del Macro Modeler GeoQ.

Tabla N°17. Superficie de ocupación del NC de la Condición de humedad antecedente del suelo: exceso hídrico. Fuente: Elaboración propia.

Número de Curva condición III		
NC	Superficie (ha)	Porcent%
> 90	22575,7	60,4
[80-90]	14723,9	39,4
< 80	50,7	0,1
NC medio pond	91,8	

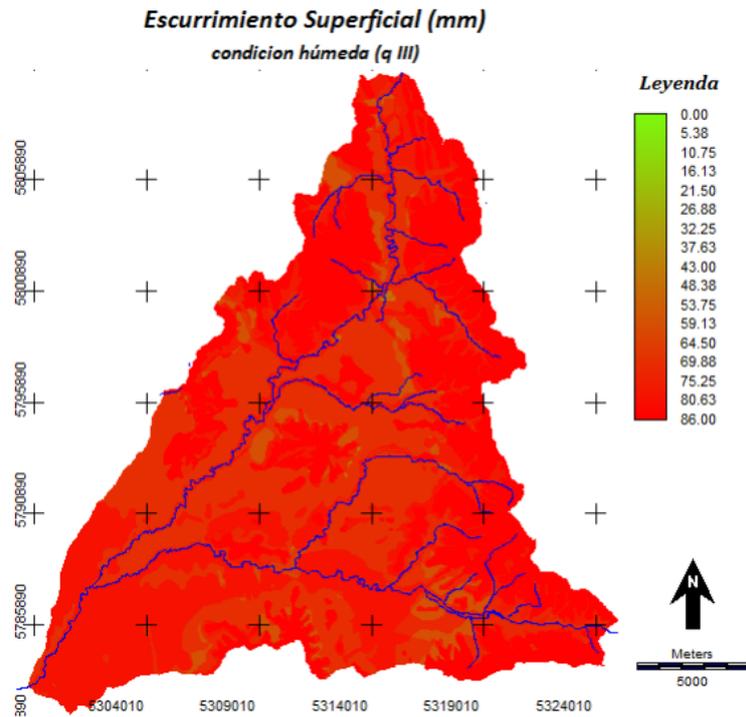


Figura N°19. Fuente: Elaboración en base a la proyección automática del Macro Modeler GeoQ.

Tabla N°18. Superficie de ocupación en la Condición de humedad antecedente del suelo: exceso hídrico. Fuente: Elaboración propia.

Lámina de escurrimiento sup condición III		
q (mm)	Superficie (ha)	Porcent%
> 75	22575,7	60,4
[65-75]	13133,8	35,2
< 65	1640,8	4,4
q medio pond	77,5	

Varios autores consideran para la condición normal una media ponderada de 82 para NC en la cuenca alta del arroyo Sauce Chico (Gaspari, 2002). Otras experiencias de trabajo en la cuenca del arroyo Sauce Chico estimaron un NC de 60 para condiciones de suelo seca, el NC de 78 para la condición de humedad del suelo normal y un NC de 89 para una condición de suelo con exceso hídrico (Torrero, 2009).

Para la condición normal los mayores valores medios ponderadas de “q” y de NC se reflejan en las áreas con mayor pendiente que se correlacionan con los suelos Hapludoles líticos, estos suelos son por su naturaleza de escasa capacidad de infiltración y poseen escasa cobertura vegetal, además existe un empobrecimiento de la vegetación natural a causa del sobrepastoreo y la ausencia de manejo. Las áreas de pastizales degradados, considerando la extensión y el sitio específico que ocupan en el territorio, son fundamentales para la amortiguación y reserva de agua en la cabecera de la cuenca, otros valores elevados debido al nulo mantenimiento del ambiente aluvial atenta contra funcionalidad que cumple el arbustal ribereño, se ve disminuido a causa de la degradación y presión por la presencia de ganado en la ribera de los cauces.

Los valores medios ponderados más bajos de “q” y “NC” para las tres situaciones se corresponden con montes forestales y pastizales naturales en el pedemonte. Si bien el pastizal se consideró como degradado, nótese el impacto positivo que tienen estos en la infiltración y de manera indirecta en el escurrimiento superficial. Al contrario y dejando de lado el área que ocupa el Parque Ernesto Tornquist, existe una reducida superficie de montes forestales en toda la cuenca, apenas un 1% de la superficie total repartida, de modo que no se pueden apreciar los servicios tanto paisajísticos como ambientales, el abastecimiento de bienes maderables y no maderables.

El conocimiento del funcionamiento hidrológico de la cuenca es el elemento fundamental para ejecución de obras civiles y forestales (Jordán Díaz. et al, 2004).

Si bien la capacidad de respuesta del ambiente es función del tipo de suelo y del uso del mismo, las estrategias de manejo no acompañan un equilibrio entre entradas y salidas de agua en la cuenca.

Los valores del mapa de riesgo de erosión (Figura N°20; Tabla N°19). aportaron información del grado de susceptibilidad a la erosión de los suelos, alrededor del 47% de la superficie total se encuentran en una categoría de riesgo baja a muy baja y más

del 50% está por encima de estos valores, consecuencia de la amplia extensión de superficie con roca en superficie. Las áreas susceptibles a un alto escurrimiento superficial a muy alto, se concentran en la zona de nacientes (Torrero, 2009). No obstante existe un riesgo medio a alto en los suelos que ocupan las menores pendientes debido a su naturaleza textural y orientación de ladera, son más susceptibles a la erosión. Además, que se acompaña con una actividad agropecuaria que no ayuda a reducir el escurrimiento superficial. Por ejemplo, los suelos del complejo *Tornquist 1 (Tor1)*, GH C, en la parte suroeste de la cuenca evidencian una menor capacidad de infiltración que los del complejo *Cura Malal (CMA1)*, GH B, que están al noreste de la cuenca, con mayor pendiente y orientación contraria.

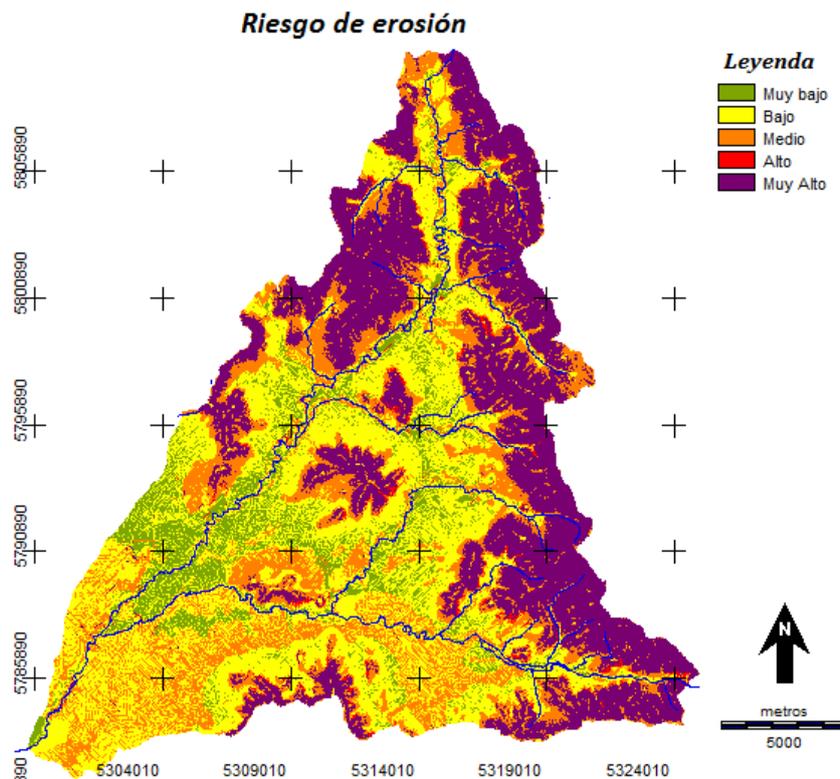


Figura N°20. Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°19 Fuente: Elaboración en base a rangos descriptos por Gaspari. et al (2013).

Riesgo de Erosión		
Categoría	Superficie (ha)	Porcent%
Muy bajo	3880,0	10,4
Bajo	13736,2	36,8
Medio	8613,5	23,1
Alto	403,6	1,1
Muy Alto	10719,4	28,7

Si no se realizan manejo con medidas de conservación existe una tendencia a que las categorías vayan escalando de niveles, es decir, que gran parte de la categoría de riesgo medio pase a la categoría de riesgo potencial alto, lo mismo ocurriría con la categoría de bajo riesgo (Gaspari, 2002).

6. Caudales sólidos.

6.1 Erosividad pluvial (R):

Se consideró un valor de R anual de 289,65 J/ha*año (Anexo I. Figura N°21) teniendo en cuentas las isoerodentas (Rojas & Conde, 1985) más cercanas, donde en este caso es la localidad de Coronel Suárez, en el límite norte de la cuenca (Gaspari, 2002). El valor del Factor R es un valor único y constante para toda la cuenca (Tabla N°20).

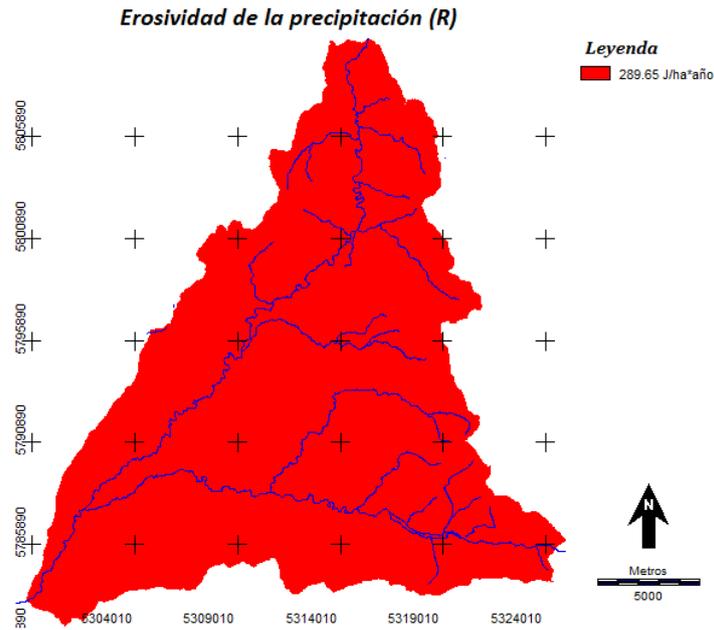


Figura N°21. Fuente: Elaboración en base de Rojas & Conde (1985).

Tabla N°20. Fuente: Elaboración propia en base de Rojas & Conde (1985).

Factor R	
Categoria	R (J*cm/mts ² *hs)
1	289,65

6.2 Erodabilidad del suelo (K):

El valor de K dentro de la cuenca varía desde 0,19 hasta 0,95 (tn*mts²*hs/ha*J*cm) para los 16 complejos de suelos analizados. Alrededor del 57% de los suelos tienen una erodabilidad menor a 0,40 tn*mts²*hs/ha*J*cm siendo la mayoría los principales para actividades agropecuarias y el 43% tienen un K elevado debido a que pertenecen a suelos con formación lítica. Se estimó un K medio ponderado para la cuenca alta del arroyo Sauce Chico de 0,46 tn*mts²*hs/ha*J*cm, considerando la erodabilidad del suelo como media a baja (Wischmeier, 1971; Torrero, 2009) (Figura N°22; Tabla N°21).

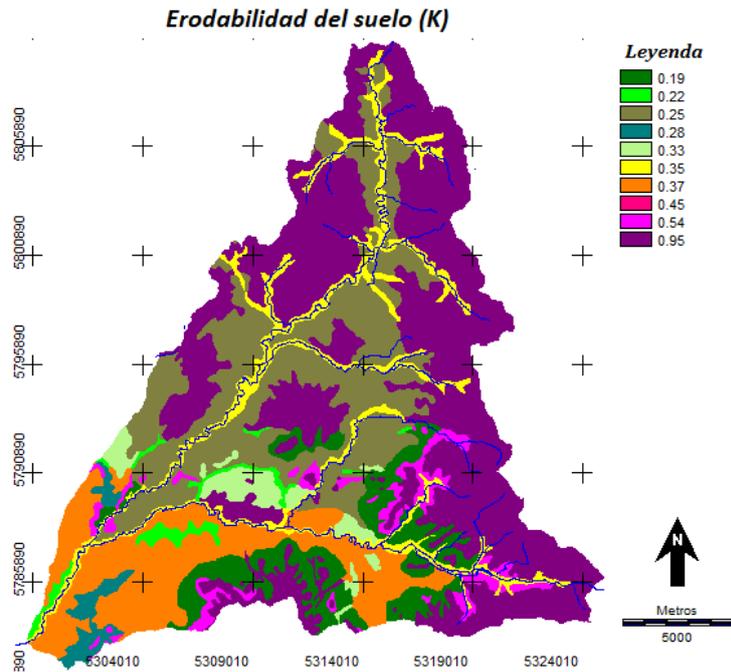


Figura N°22. Fuente: Elaboración en base a cartas de suelos Esc 1:50.000. INTA (1989)

Tabla N°21. Fuente: Elaboración en base a cartas de suelos Escala 1:50.000. INTA (1989).

Factor K	
Series	K complejo (tn/J)
A° CuraMalal	0,35
Bonete 1	0,55
Cura Malal 1	0,26
Dafaur 1	0,35
Dafaur 2	0,35
Dafaur	0,35
El Gavilan 1	0,33
Faustina2	0,59
Roca	0,95
San Gabriel 1	0,55
San Gabriel 2	0,55
Tornquist 1	0,38
Tornquist 2	0,24
Tornquist 3	0,22
Tres Picos 1	0,19
Tres Picos 2	0,28

Algunos valores estimados del factor K tienen similitud con valores estimados por otros autores como el grupo de los Argiudoles típicos, Argiustoles típicos, Haplustoles típicos y petrocálcicos; Hapludoles líticos y típicos (Irurtia & Cruzate, 2007; Gaspari & Degenari, et al, 2007; Gaspari & Vagaría, 2014) y algunas series como *El Gavilán (EG1)*; *San Gabriel (SGr)*; *Claudio Molina (CMI)* 0,36; 0,26 y 0,55 $\text{g}\cdot\text{m}^2\cdot\text{hs}/\text{J}\cdot\text{cm}$ respectivamente (Gaspari. et al, 2013).

6.3 Longitud y Grado de pendiente (LS):

La representación de las categorías para los rangos de LS son propuestos por Mintegui Aguirre (1988) derivan en rangos de porcentaje de pendientes (Figura N°23; Tabla N°22).

Alrededor del 65% del territorio posee un LS menor a 1,5 lo que equivale una pendiente inferior media del 12%, condición para que la actividad agropecuaria ocupe la mayoría de los sitios. Un 18,4% del territorio se estimó un LS de 14,6, es decir pendientes mayores al 30%, estos se ubican en los suelos Hapludoles líticos principalmente. Los rangos intermedios corresponden a zonas de pedemontes donde se realiza ganadería extensiva y agricultura con manejo conservacionista pero en su minoría.

Un LS medio ponderado de 4,3 que corresponden a 15% de pendiente media para cuenca alta del arroyo Sauce Chico. Autores como Torrero (2009) estimaron rangos entre 9 y 18% para la cuenca del Río Sauce Chico determinando estos valores en las dos subcuencas altas (Arroyo Sauce Chico y Arroyo Ventana), considerando las pendientes como medias a altas.

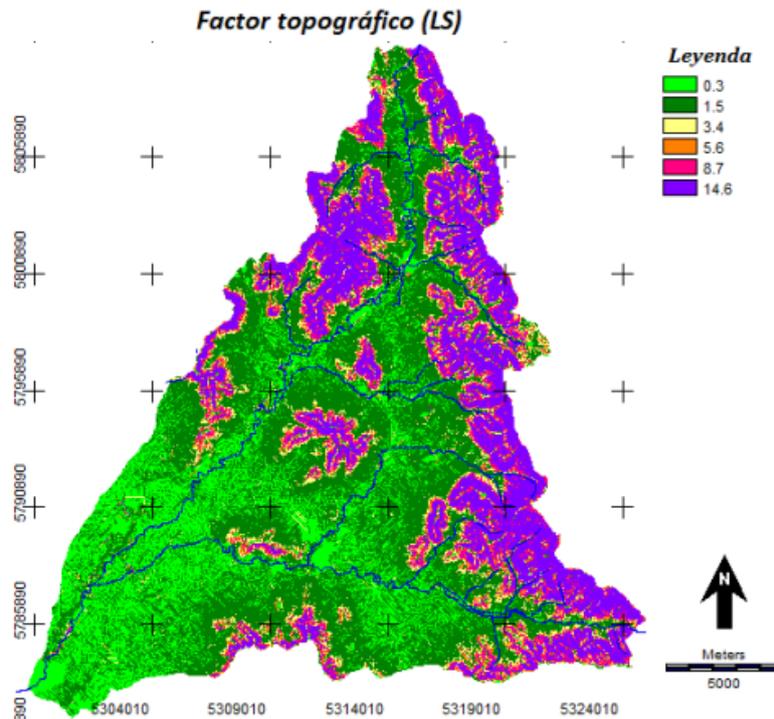


Figura N°24 (Derecha). Fuente: Elaboración en base de Wischmeier & Smith. 1978.

Tabla N°22. Fuente: Elaboración en base a los rangos de LS propuestos por Mintegui Aguirre. 1988.

%pendientes y LS					
Categorías	Rangos de pendientes%	LS	Superficie (ha)	Porcent%	
1	0 - 3.	0,3	8161,5	21,85	
2	3 - 12.	1,5	15950,8	42,7	
3	12 - 18.	3,4	2117,5	5,67	
4	18 - 24.	5,6	1555,6	4,16	
5	24 - 30.	8,7	2650,9	7,1	
6	> 30.	14,6	6916,5	18,52	

6.4 Cobertura del suelo (C):

Las seis categorías de cobertura vegetal identifican al valor de C entre los extremos 0,036 para montes forestales y 0,13 para la localidad serrana La Gruta (Figura N°24; Tabla N°23). El 49,5% del territorio se destina para actividad agropecuaria con un valor de C igual a 0,08 tomando como criterio un sistema de producción con siembra directa rotando trigo y soja con un 60% de la cobertura del suelo y un 50% de conopeo

vegetal. Un 31,2% de la superficie de la cuenca lo representa el pastizal con roca, tomando un valor de C igual a 0,092, valores aproximados fueron estimados por Gaspari y Vagaría (2015), y como criterio se consideró una cubierta vegetal en contacto con el suelo del 40%. El pastizal de pedemonte considerado degradado debido al sobrepastoreo, ha inducido la modificación de la composición florística de los pastizales de Sierra de la Ventana (Barrera & Frangi. 1997), se determinó con un factor de cobertura igual a 0,072 considerando un 60% de la cobertura del suelo y un 50% de canopy vegetal representando un 13,4% del territorio. El resto se reparte entre el monte ribereño, el monte forestal y el área semiurbana o localidad serrana, si bien los dos primeros son los de menor valor de factor C, estos son inapreciables ya que ocupan entre los dos el 4,4% del territorio. Consecuencia de un mal manejo de la tierra, la presencia de la vegetación arbustiva es típica de las condiciones semiáridas cuando los suelos presentan estrés hídrico permanente (Lizzi, 2004). Respecto al área semiurbana se la considero con un valor de C igual a 0,13.

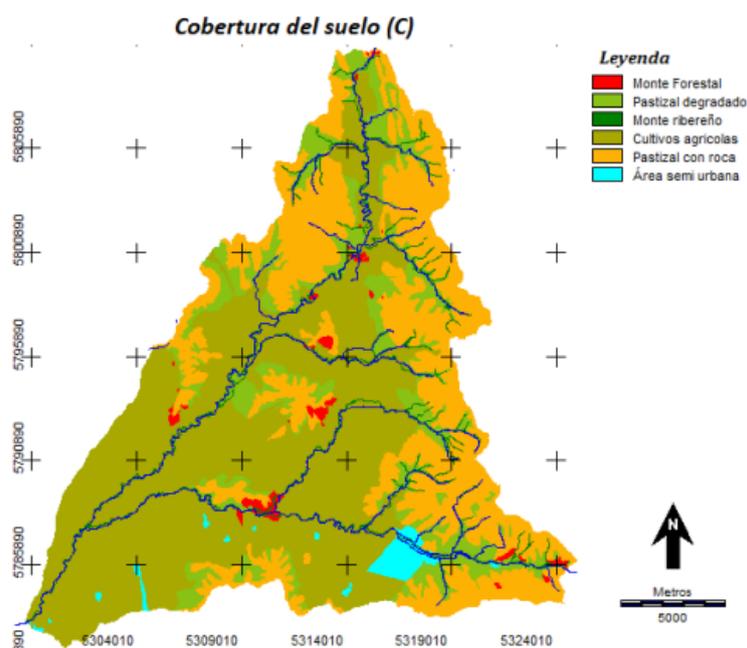


Figura N°24. Fuente: Elaboración en base a tablas de Wischmeier & Smith 1978.

Tabla N°23. Fuente: Elaboración en base de Wischmeier & Smith. 1978.

Factor C	
Cobertura del suelo	C
Cultivos agrícolas	0,08
Monte Ribereño	0,06
Monte Forestal	0,036
Pastizal con roca	0,092
Pastizal degradado	0,072
Área semi urbana.	0,13

La evaluación del factor de cobertura (C) es a menudo difícil de determinar (Gaspari, 2007) debido a los múltiples factores hacen variar la percepción de como son los sistemas de cultivo y los manejos, además los procesos de erosión son mayores en época de escasas precipitaciones cuando la cobertura vegetal es pobre y no cumple con su función de interceptación del agua (Torrero, 2009) desvirtuando así el valor de C. Se puede apreciar el desequilibrio de cobertura que va a repercutir en los resultados finales.

6.5 Prácticas de conservación (P):

Cuando se cultivan suelos con pendiente se requiere generalmente de prácticas conservacionistas que disminuyan la lámina de escurrimiento superficial para reducir y/o controlar la erosión hídrica. En estas situaciones los cultivos agrícolas y pasturas implantadas característicos para la zona se deben realizar mediante la aplicación de técnicas de manejo como cultivos en curvas a nivel y cultivos en fajas. Estas prácticas de conservación contrarrestan actividades de laboreo a favor de la pendiente que favorecen la erosión hídrica con la consiguiente formación de surcos o cárcavas en la cuenca del arroyo Sauce Chico (Torrero, 2009). Complementando a esto los campos que lindan con los cursos de agua generalmente no protegen las márgenes por lo cual se generan erosiones laterales cuando se desencadenan avenidas producto de intensas lluvias (Gaspari, 2002; Torrero, 2009).

El mapa de prácticas de conservación sólo considera una categoría temática debido a que el procesamiento de los datos dio una pequeña porción de territorio donde se realizan prácticas conservacionistas. Por cuestiones de superficie total, solo ocupaban el 1,1% del total y no se consideraron para el análisis (Figura N°25; Tabla N°24).

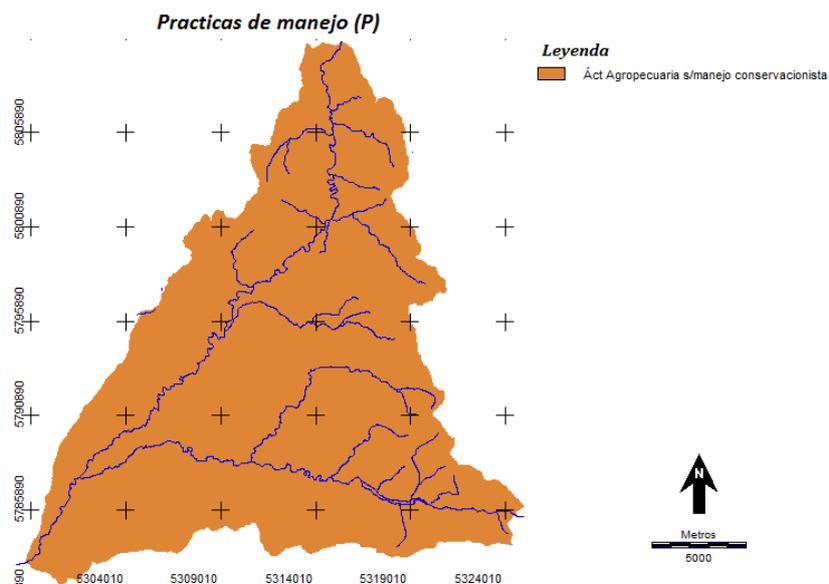


Figura N°25. Fuente: Elaboración en base de Wischmeier & Smith. 1978.

Tabla N°24. Fuente: Elaboración en base de Wischmeier & Smith. 1978.

Factor P		
Categoría	Superficie (ha)	Porcent%
C/Manejo	410,9	1,1
S/Manejo	36941,8	98,9

Consecuente a esto se verifica una tendencia a la implementación de manejo del suelo con técnicas de conservación, por lo tanto en análisis similares o más detallados hay que considerar este factor P, ya que se aprecia una notable disminución de las parcelas de suelo al descubierto y un reemplazo de los suelos arados (en agosto) por pasturas y vegetación en crecimiento (Torrero & Campo, 2008).

6.6 Zonificación de la Pérdida de suelo superficial.

La pérdida de suelo actual estimada para la totalidad de la cuenca tiene una media ponderada de 68.12tn/ha*años o 4 mm/ha*año y se clasifica como alto según FAO (Figura N°26; Tabla N°25).

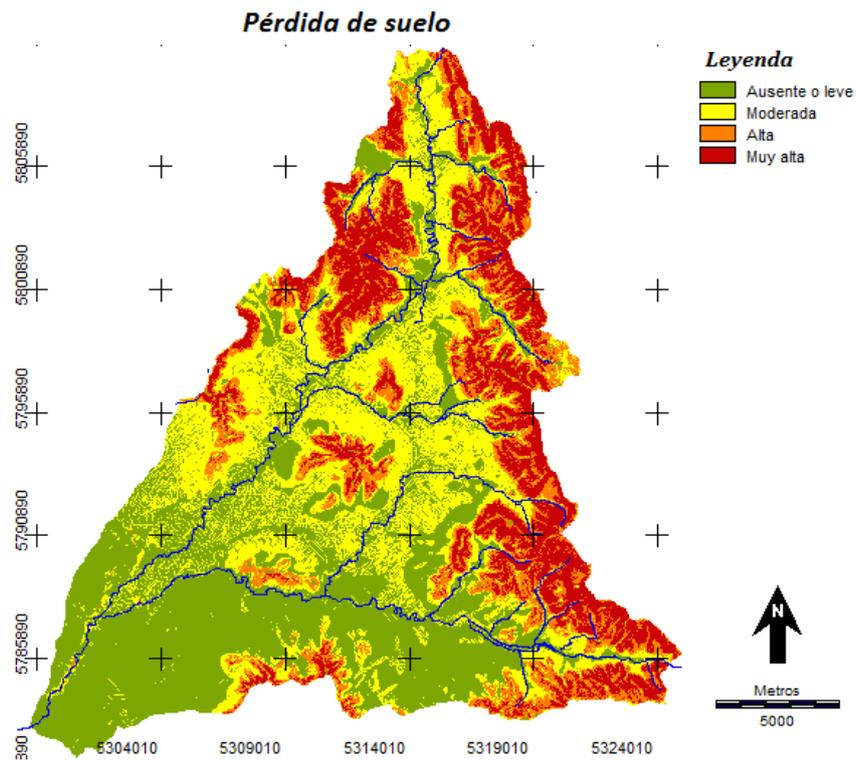


Figura N°26. Fuente: Elaboración en base a FAO, PNUMA y UNESCO (1981).

Tabla N°25. Superficie de ocupación en la cuenca. Fuente: Elaboración en base a FAO, PNUMA y UNESCO (1981.)

Pérdidas de suelo "Actual" (A)				
(tn /ha*año)	mm/ha*año	Grado de Erosión Hídrica	Superficie (ha)	Porcent%
< 10	<0,6	Ausente o leve	14656,4	39,3
10 – 50	0,6-3,3	Moderada	11204,3	30
> 50 – 200	3,3-13,3	Alta	5129	13,7
> 200	>13,3	Muy alta	6343,5	17
A media ponderada				68,12

Otros autores han estimado en la cuenca del arroyo Ventana que más de la mitad del territorio presenta pérdidas entre 25-50 tn/ha*año y un 25% del área con pérdidas mayores a 50 tn/ha*año (Gaspari. et al, 2007), a su vez otros estudios estiman pérdidas de suelo a causa de la erosión hídrica en la región de las sierras de la Ventana, mayores a 30 tn/ha*año para perdidas actuales y valores mayores a 80 tn/ha*año para pérdidas potenciales (INTA, 2017).

Las elevadas pérdidas de suelo están muy influenciadas por la pendiente, por la formación textural y por la cobertura vegetal. Las situaciones con menor pérdida se observaron en pendientes medias a bajas con cobertura de pastizal, montes forestales y con suelos del *GH B*.

La reclasificación de los rangos de pérdida suelo actual, permitió observar mejor la redistribución de la superficie. La tolerancia mínima para una pérdida de 8 tn/ha*año abarca el 37.2% de la superficie total y 19% para el limite medio superior de 12 tn/ha*año. El 31 % de la superficie restante posee una pérdida de suelo alta, muy correlacionada con los suelos de formación lítica y la elevada pendiente. Más aún, la situación esta agravada por el pastizal degradado a causa del pastoreo extensivo (Barrera & Frangi, 1996) (Figura N°27; Tabla N°26).

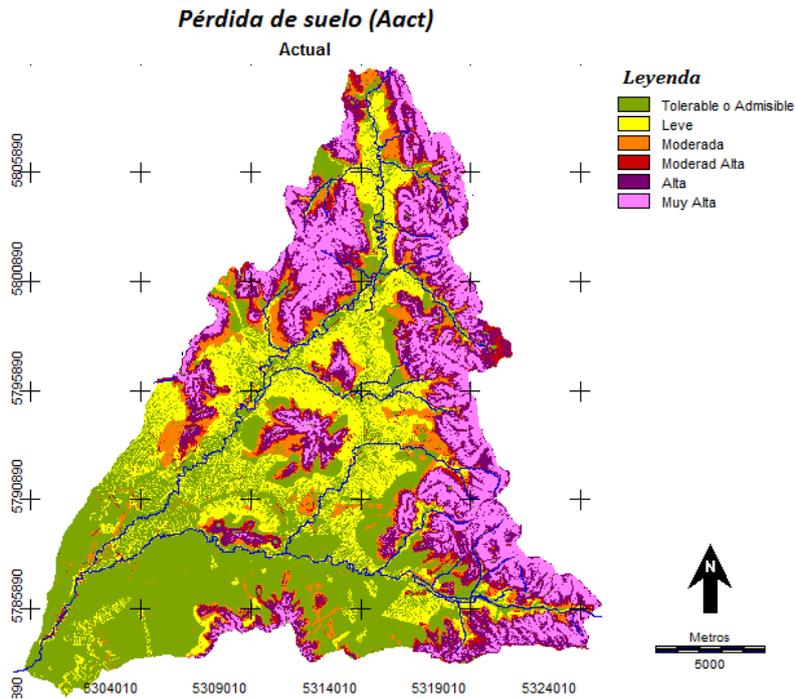


Figura N°27. Fuente: Elaboración en base a estimaciones realizadas por Irurtia & Cruzate (2007) y PACD (2003).

Tabla N°26. Pérdida de suelo Actual reclasificada. Fuente: Elaboración en base a estimaciones realizadas por Irurtia & Cruzate (2007) y PACD (2003).

Pérdidas de suelo "Actual" (A)				
(tn /ha* año)	mm/ha* año	Grado de Erosión Hídrica	Superficie (ha)	Porcent%
≤8	≤0,48	Tolerable o Admisible	13890,3	27,2
8-12.	0,48-0,72	Leve	7090,9	19
>12-24	>0,72-1,44	Moderada	2854	7,6
>24-50	>1,44-3,33	Moderadamente Alta	2025,4	5,4
>50-200	>3,3-13,3	Alta	5129	13,7
>200	>13,3	Muy alta	6343,5	17
A media ponderada			68,12	

Las pérdidas potenciales del suelo indican que la erosión hídrica va a continuar, tendiendo a 80.68 tn/ha*año o 4.8mm/ha*año, considerándose alta (Figura N°28; Tabla N°27).

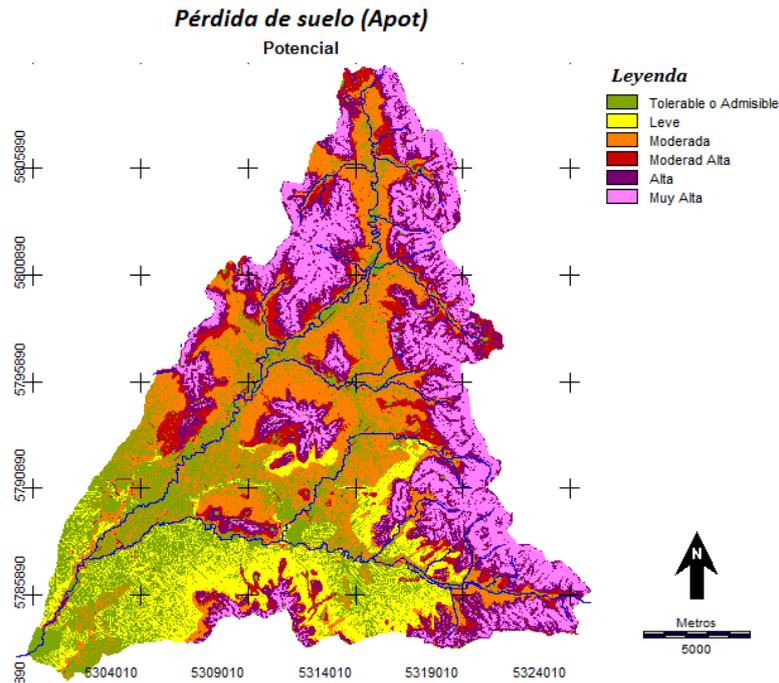


Figura N°28. Fuente: Elaboración en base a estimaciones realizadas por Irurtia & Cruzate (2007) y PACD (2003).

Tabla N°27. Superficie de ocupación en la cuenca. Fuente: Elaboración en base a estimaciones realizadas por Irurtia & Cruzate (2007) y PACD (2003).

Pérdidas de suelo "potencial" (Apot)				
(tn /ha*año)	mm/ha*año	Grado de Erosión Hídrica	Superficie (ha)	Porcent%
≤8	≤0,48	Tolerable o Admisible	8157,7	21,9
8-12	0,48-0,72	Leve	4646,6	12,4
>12-24	>0,72-1,44	Moderada	8652,5	23,2
>24-50	>1,44-3,33	Moderadamente Alta	3290,3	8,8
>50-200	>3,3-13,3	Alta	5775,4	15,5
>200	>13,3	Muy alta	6810,7	18,2
			A media ponderada	80,68

7. Alternativas de Manejo del suelo.

El uso excesivo sin manejo del recurso agua-suelo-vegetación conlleva a una aceleración de la dinámica natural, degradando el ambiente. Se presentan alternativas de manejo para situaciones diagnosticadas, la cuantificación de caudales líquidos y

solidas. Se enfatizan principalmente en la cabecera donde se produce el mayor arrastre de sedimentos:

- **Sobrepastoreo:** Producto de un sistema de producción de ganadería extensiva, característico de la zona. Se recomienda un manejo rotativo del rodeo, separando las diferentes categorías de animales, delimitar bien los potreros, mejorar las aguadas tanto artificiales como naturales y manejar la carga animal en función de la receptividad del sitio.
- **Pasturas degradadas:** Falta de planificación forrajera. Se recomienda realizar un balance forrajero para ordenar el recurso y complementar los baches invernales - estivales con verdeos y/o suplemento. Proteger y enriquecer el pastizal nativo con promociones, implementando cultivos en fajas, con siembra de pasturas entre faja.
- **Ausencia de Sistemas Complejos:** Una alternativa de planificación puede ser un Silvopastoriles ajustando diversos objetivos.
- **Riberas inestables:** Clausuras para el control del ganado. Determinar estrategias para regeneración del arbustal nativo e introducción de especie arbustiva o arbórea, nativa o exótica domesticada con buenas características de enraizamiento para la contención de sedimento.
- **Falta de servicios forestales y ecosistémicos:** Existe una reducida superficie forestada. Se recomienda la adopción de sistemas agroforestales, como la implantación de montes de reparo, montes para leña y cortinas rompe vientos.
- **Elevada pérdida de Caudales Líquidos y Sólidos:** Se evidencia una importante lámina de escurrimiento superficial y un arrastre de sedimentos sólidos hacia aguas abajo. Se recomienda una buena cobertura del suelo y la construcción de estructuras de consolidación para retener los sedimentos

transportados, para generar una pendiente de compensación y así estabilizar los cursos. Por ejemplo: diques de consolidación.

Las tablas y figura de alternativas de manejo (Figura N°29; Tabla N°28; Tabla N°29; Tabla N°30) sirvieron como soporte a técnicas para aplicar en el territorio, a su vez la cartografía puede servir como modelo para realizar prácticas culturales en diferentes zonas. La distribución de las alternativas de manejo, para mejorar la dinámica hídrica y disminuir el caudal sólido, se reflejan en un 37,2% del territorio para prácticas de cultivo en curvas de nivel (tierras que poseen pérdidas actual ≤ 8 tn/ha*año), un 26,6% con siembra de cultivo con fajas protectoras (tierras que poseen una pérdida actual ≤ 24 tn/ha*año). Asimismo, se pueden implementar técnicas como rotación de cultivos, barbechos, cultivos de cobertura, trabajos mecánicos de bajo impacto acorde a la secuencia de cultivo, que generen estructura y no compacte el suelo. Favorecer los montes forestales como ribereños, la remediación y conservación de estas masas forestales es de suma importancia para la estabilidad ambiental y estos últimos para la dinámica del escurrimiento encausado.

Los valores de pérdida de suelo mayores a 24tn/ha*año con un el 36% del territorio, incidir sobre el sobrepastoreo de la cabecera y la rotación animal, a su vez la restauración del componente agua-suelo-vegetación utilizando las alternativas recomendadas además de clausuras periódicas en diferentes ambientes.

Tabla N°28. Valores para realizar labores agropecuarios conservacionistas. Fuente:

FAO. 2000.

Pendiente (%)	Ancho de franja empastada (m)	Ancho de franja cultivable (m)	Relación de anchos Cultivos/Pradera	% de suelo con Pradera
Hasta 1	8	48	6	14
Hasta 3	12	36	3	25
Hasta 6	12	24	2	33
>6	20	20	1	50

Tabla N°29. Valores para el Factor P en función del rango de pendiente y tipo de práctica conservacionista. Fuente: Kirkby. et al, 1994; Mintegui Aguirre. et al, 1994b.

Pendiente (%)	Cultivo a nivel	Cultivos en fajas	Cultivos en terrazas	
			Terraza de desagüe	Terraza de infiltración
2-7.	0,5	0,25	0,1	0,05
8-12.	0,6	0,3	0,12	0,05
13-18	0,8	0,4	0,16	0,05
19-24	0,9	0,45	0,18	0,06

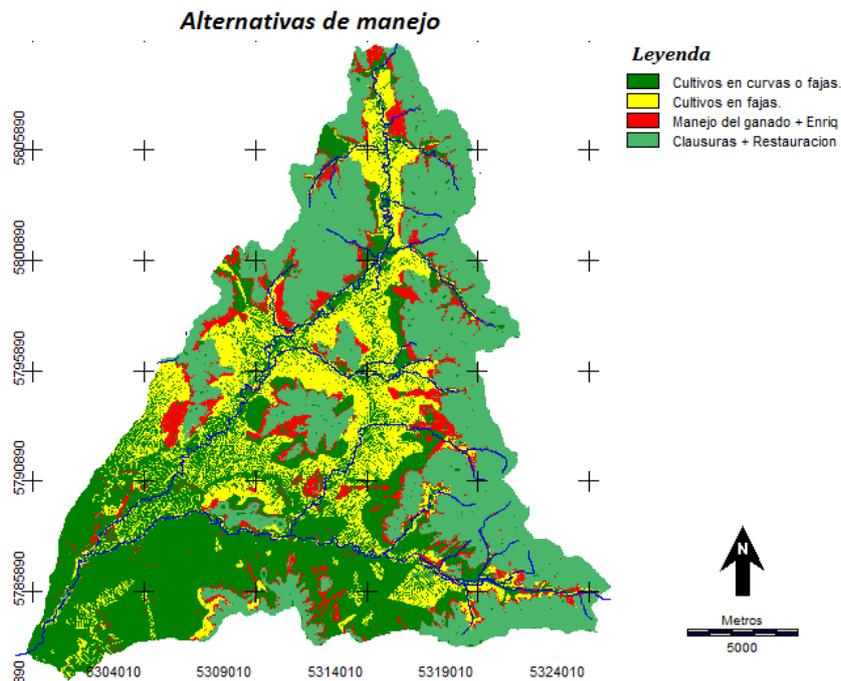


Figura N°29: Fuente: Elaboración en base a estimaciones de Kirkby. et al (1994); Mintegui Aguirre. et al (1994); FAO (2000).

Tabla N°30. Superficie de ocupación en la cuenca. Fuente: Elaboración propia en base a valores estimados con la USLE.

Alternativas de manejo.		
Categoría.	Superficie (ha)	Porcent%
Siembra de cultivos curvas a nivel o fajas.	13890,3	37,2
Siembra de cultivos en fajas.	7090,9	19
Manejo del ganado + Enriquecimiento.	2854	7,6
Clausuras periódicas + Restauración.	13497,9	36,2

Para contrastar las propuestas de manejo, se estimó la pérdida de suelo admisible y se visualizó una diferencia importante en término de las superficies que no poseen erosión o la toleran. La pérdida media ponderada se determinó en 40 tn/ha*año categorizada como media a alta, con una reducción total de las superficies que ocupaban una erosión hídrica superficial muy alta y un aumento en las superficies que entran en los límites de tolerancia (Figura N°30 Tabla N°31).

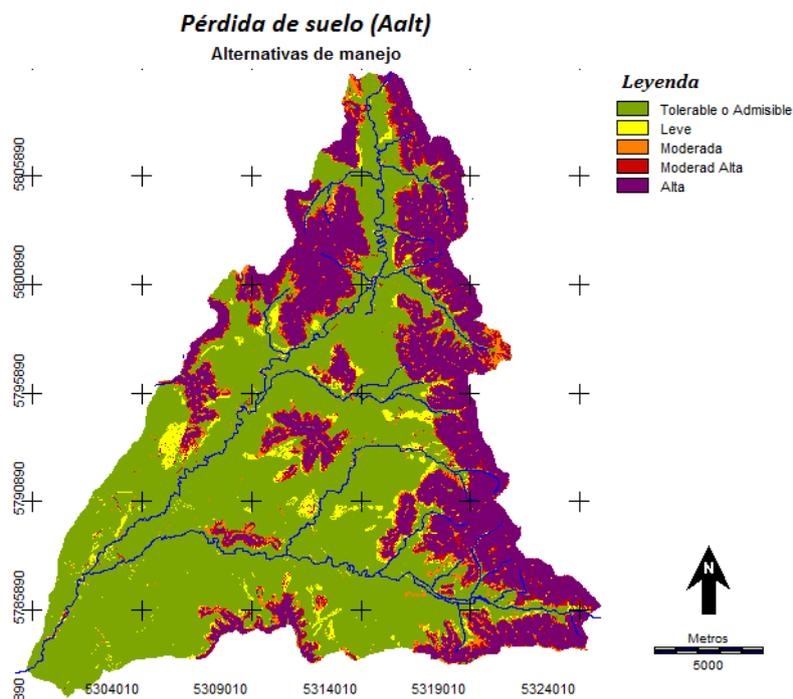


Figura N°30. Fuente: Elaboración en base a estimaciones realizadas por PACD (2003); Irurtia & Cruzate (2007).

Tabla N°31. Superficie de ocupación en la cuenca. Fuente: Elaboración en base a estimaciones realizadas por PACD (2003); Irurtia & Cruzate (2007).

Pérdidas de suelo "c/ Alt. de manejo" (Aalt)				
(tn /ha*año)	mm/ha*año	Grado de Erosión Hídrica	Superficie (ha)	Porcent%
≤8	≤0,48	Tolerable o Admisible	22409,3	60
8-12	0,48-0,72	Leve	1466,2	3,9
>12-24	>0,72-1,44	Moderada	1541,8	4,1
>24-50	>1,44-3,33	Moderadamente Alta	1898,1	5,1
>50-200	>3,3-13,3	Alta	10017,8	26,8
>200	>13,3	Muy alta	0	0

A media ponderada 39,98

En las situaciones de pérdida de suelo admisible para la condición actual, la potencial y la condición con manejo, se pudo observar y cuantificar que categoría de pérdida de suelo va a incrementar su superficie y cual se va a ver disminuida, ante las distintas simulaciones. Las superficies que abarcan los rangos de pérdida entre 0 a 8 y de 8 a 12 tn/ha*año, respecto a la pérdida actual, se verán disminuidos en 8177,1 ha para la condición potencial. En una situación con manejo la superficie tolerante a la erosión hídrica aumenta en 14143,7 ha (Tabla N°32).

Tabla N°32 Fuente: *Elaboración en base a estimaciones realizadas por FAO (2000); PACD (2003); Iruetia & Cruzate (2007).*

Conversión de "Pérdida de suelo" (A)		Grado de Erosión Hídrica	Superficie (ha)			Diferencias Porcents%	
(tn /ha*año)	mm/ha*año		A actual	A potencial	A c/alt.manejo	A potencial	A c/alt.manejo
≤8	≤0,48	Tolerable o Admisible	13890,3	8157,7	22409,3	-15,4	22,8
8-12	0,48-0,72	Leve	7090,9	4646,6	1466,2	-6,5	-15,1
>12-24	>0,72-1,44	Moderada	2854	8652,5	1541,8	15,5	-3,5
>24-50	>1,44-3,33	Moderadamente Alta	2025,4	3290,3	1898,1	3,4	-0,3
>50-200	>3,3-13,3	Alta	5129	5775,4	10017,8	1,7	13,1
>200	>13,3	Muy alta	6343,5	6810,7	0	1,3	-17
						-8177,1	14143,7

De este modo, los resultados obtenidos reflejan las diferencias en cuanto a la importancia que tienen las prácticas de manejo y la cobertura del suelo (Figura N°31; Figura N°32 y Figura N°33; Tabla N°33 Tabla N°34 y Tabla N°35).

Finalmente las diferencias porcentuales entre superficie tolerante y la que no lo es, se puede visualizar que más del 60% de la superficie total para la condición actual, no entra en el rango de tolerancia. Estos valores quedan contrarrestados cuando se analizan las pérdidas de suelo con manejo, donde la superficie no tolerante representa el 40% y el 60% restante se categoriza como superficie con erosión hídrica admisible.

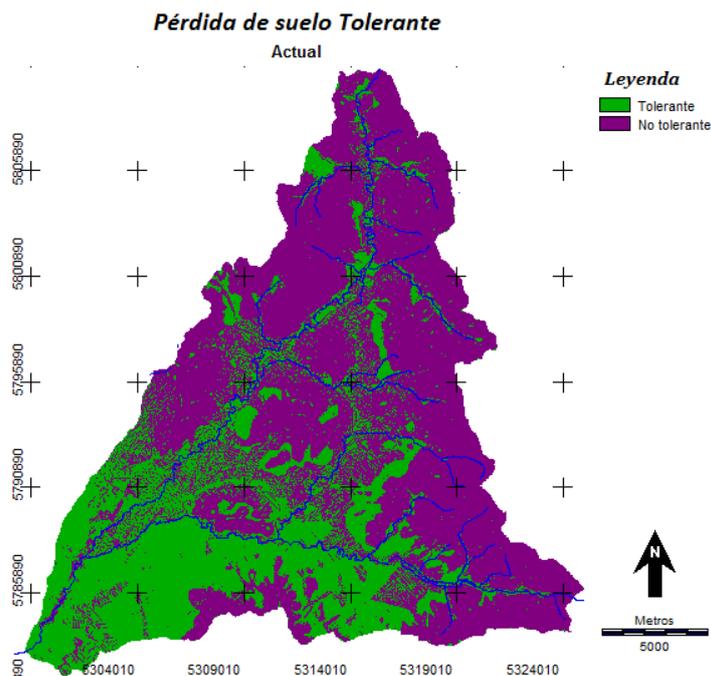


Figura N°31. Fuente: Elaboración en base a estimaciones realizadas por PACD (2003); Iruetia & Cruzate (2007).

Tabla N°33. Superficie de ocupación en la cuenca. Fuente: Elaboración en base a estimaciones realizadas por FAO (2000); PACD (2003); Iruetia & Cruzate (2007).

Pérdida de suelo admisible "Actual" (A)		
Categoría	Superficie (ha)	Porcent%
Tolerante	13890,3	37,2
No tolerante	23442,9	62,8

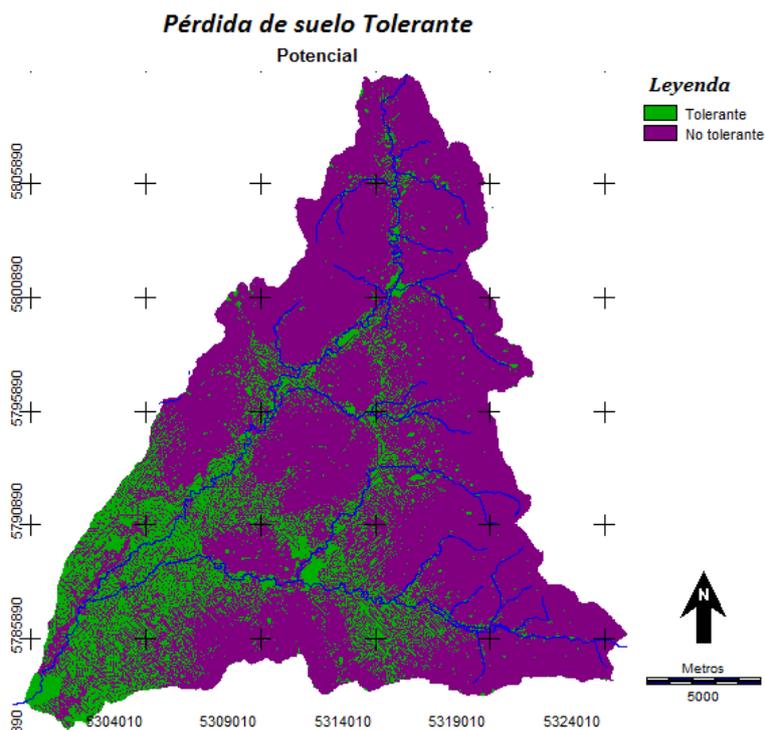


Figura N°32. Fuente: Elaboración en base a estimaciones realizadas por 2000; PACD (2003); Iruña & Cruzate (2007).

Tabla N°34. Superficie de ocupación en la cuenca. Fuente: Elaboración en base a estimaciones realizadas por FAO (2000); PACD (2003); Iruña & Cruzate (2007).

Pérdida de suelo admisible "potencial" (Apot)		
Categoría	Superficie (ha)	Porcent%
Tolerante	8157,7	21,9
No tolerante	29175,6	78,1

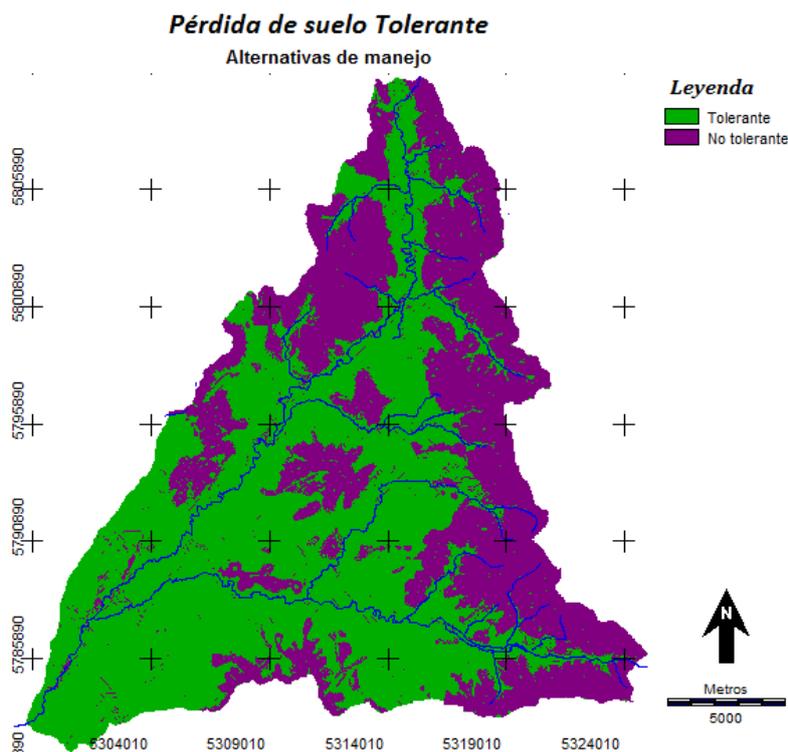


Figura N°33. Fuente: Elaboración en base a estimaciones realizadas por PACD (2003); Iurtia & Cruzate (2007).

Tabla N°35. Fuente: Elaboración en base a estimaciones realizadas por FAO (2000); PACD (2003); Iurtia & Cruzate (2007).

Pérdida de suelo admisible "c/ Alt, de manejo" (Aalt)		
Categoría	Superficie (ha)	Porcent%
Tolerante	22409,3	60
No tolerante	14923,9	40

CONCLUSIÓN.

El presente trabajo final permitió elaborar, a través del software SIG IDRISI TerrSet, una base de datos de cartografía digital temática, caracterizando ambientalmente la Cuenca Alta del Arroyo Sauce Chico en el partido de Tornquist.

Como base del estudio se consideró importante, tomar a las cuencas hidrográficas como unidades físicas que sirven de marco práctico y objetivo para la planificación y gestión de los recursos.

La aplicación de la metodología de diagnóstico integrado, parámetros morfométricos, la estimación de caudales líquidos y la estimación del caudal sólido, resultaron adecuadas como versátiles al momento de evaluar e interpretar los resultados para el cumplimiento de los objetivos planteados. De esta manera, los resultados alcanzados brindan información sobre pérdida de suelo, características in situ, sus relaciones y como responde el área de estudio a la simulación de un evento extremo.

El empleo de información cualitativa-cuantitativa, su representación y relación territorial contribuyen a identificar oportunidades y restricciones que sirven como fundamento técnico para la toma de decisión y planificación de estrategias multisectoriales como multiactorales. Por lo tanto, la utilización de un SIG facilita la elección de alternativas para la solución de problemas territoriales como es el uso del suelo.

Las medidas de restauración, corrección y mitigación se definen en relación a la capacidad de respuesta del ambiente, al uso de los recursos, las estrategias para el aprovechamiento y la realidad social. Su aplicación como utilización de los recursos debe generar un equilibrio ambiental y un proceso de aprendizaje acompañado por entidades estatales y técnicamente para frenar el arrastre de sedimento, como la regulación de entradas y salidas de agua al sistema para mejorar la calidad de vida, satisfaciendo bienes y servicios sin comprometer futuras poblaciones.

BIBLIOGRAFIA.

Barrera. M. D; Frangi J. L. 1997 Modelo de estados y transiciones de la arbustificación de pastizales de la Sierra de la Ventana, Argentina. LISEA. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales-Facultad de Ciencias Naturales y Museo. UNLP.

Barrera. M. D; Frangi J. L. 1996 Biodiversidad y dinámica de pastizales en las Sierra de la Ventana provincia de Buenos Aires, Argentina. LISEA. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales-Facultad de Ciencias Naturales y Museo. UNLP.

Campo de Ferreras. A. M; Capelli de Steggens. A. M; Díaz. P. G. 2004. El clima del Suroeste Bonaerense. Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. 99 pp.

Campo. A. M; Ramos. M. B; Zapperi. P. A. 2009. Análisis de las variaciones anuales de precipitación en el suroeste bonaerense, Argentina.

Campo. A. M; Silva A. M; Gil. V. 2009. Aplicación de cartografía temática para la identificación y análisis de la exposición al peligro de inundaciones por crecidas repentinas. Sierra de la Ventana, Buenos Aires, Argentina. Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur.

Claves para la Taxonomía de Suelos. Décima segunda Edición, 2014. USDA.

Denegri. G. A; Gaspari. F. J; Delgado. M. I; Rodríguez Vagaría. A; Senisterra. G. 2012. Principios para un sistema de pago por servicio ambiental (PSA) en la cuenca alta del Río Sauce Grande (provincia de Buenos Aires) para mitigar problemas ambientales. VII Congreso de Medio Ambiente. 19pp

FAO. 1984. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y agua VIII.

FAO-PNUMA-UNESCO. 1981. Clasificación Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos.

Fidalgo F., De Francesco, F. O. y Pascual, R., 1975. Geología Superficial de la Llanura Bonaerense. *Relatoría de Geología de la Provincia de Buenos Aires*, 103-138.

Frangi, J. y O. Bottino. 1995. Comunidades vegetales de la Sierra de la Ventana, PBA, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía de La Plata*, Tomo 71(1), 93-133.

Gaspari F. J. 2002. Plan de ordenación territorial en cuencas serranas degradadas utilizando sistemas de información geográfica (SIG). Tesis de Maestría. Universidad internacional de Andalucía sede iberoamericana de la rábida Huelva. España.

Gaspari F. J.; M. I. Delgado; G. A Denegri. 2007 Estimación espacial, temporal y económica de la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial.

Gaspari F. J.; Rodríguez Vagaría. A. M; G. E. Senisterra; M. I. Delgado; S. I. Besteiro. 2010. Manual de Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas. Primera edición.

Gaspari F. J.; Rodríguez Vagaría. A. M; G. E. Senisterra; M. I. Delgado; S. I. Besteiro. 2013. Elementos Metodológicos para el Manejo de Cuencas Hidrográficas. Curso de manejo de cuencas hidrográficas. Facultad de Cs Agrarias y Forestales. UNLP.

Gaspari F. J.; Rodríguez Vagaría. A. M. 2014 Estimación de la admisibilidad de pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del arroyo Napaleofú, Buenos Aires. Argentina

Golluscio. R. A; Garbulsky. M. F; Lizzi. J. M; Deregibus. A. V. 2007. Mapeo indirecto de la vegetación de Sierra de la Ventana, provincia de Buenos Aires. UBA Agronomía.

Instituto geográfico Nacional (IGN). 1994 Sistemas de proyecciones cartográficas Gauss-Krüger.

Instituto Geográfico Nacional (IGN). 1968-1979. Carta Topográfica de Tornquist (Hoja 3963-5-2) y de Estancia Gran Chaco (Hoja 3763-35-4). Esc 1:50.000.

Instituto Geográfico Nacional (IGN). 1968-1979. Carta Topográfica y Cursos de Agua de la Republica Argentina actualizados a 2013 y 2015.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) EEA INTA Castelar. 1989. Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires. Secretaria de Agricultura y Pesca. Proyecto PNUD ARG85/19. 525 pp.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). EEA Castelar. 1995. Carta de Suelos de la Republica Argentina, Hoja 3763-36 Quiñihual. Instituto de Suelos, Área de Investigación en Cartografía de Suelos y Evaluación de Tierras. 56pp.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). EEA Castelar. 2015. Instituto de Clima y Agua. Castelar. Datos climatológicos 1991-2016.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) EEA Bordenave. 2011. Publicación desafío 21 N° 33. Especial ganadería.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 2017. Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la Republica Argentina.

Instituto de Ordenación de Vertientes e Ingeniería Forestal (I.O.V.I.F.). 1968. Escuela Superior de Bosques de la Facultad Ciencias Agrarias y Forestales. U.N.L.P.

Irurtia. C. B; Cruzate. G. 2007 Aplicación de la USLE en la provincia de Buenos Aires. INTA Castelar.

Jordán Díaz. C; Pizarro Tapia. R; Tapia Cornejo. M. 2004. Coeficientes de escorrentía instantáneos, para la cuenca del Tutuvén. Región del Maule, Chile. Aprovechamiento de Aguas y Suelos. Universidad de Talca. Estándares de Ingeniería para aguas y suelos. Chile. 27pp.

Kirkby, M.J y R.P.C. Morgan. 1994. Erosión de Suelos. UTEHA Noriega Ed. México.

Lizzi. J. M. 2004. Caracterización regional de la estructura y el funcionamiento de los pastizales de Sierra de la Ventana. UBA Agronomía.

López Cadenas de Llano F; Mintegui Aguirre. 1987. Hidrología de Superficie. Tomo I. Ed.Fund.Conde Salazar. ETSI. Montes. Madrid.

Long, M.A; C.M. Grassini 1997. Actualización del conocimiento florístico del Parque Provincial Ernesto Tornquist. Informe Final del Convenio de Colaboración Recíproca Ministerio de Asuntos Agrarios Provincia de Buenos Aires y Universidad Nacional del Sur. 257 p. Inédito.

Mintegui Aguirre. J.A. 1988. Análisis de la influencia del relieve en la erosión hídrica. Hipótesis de estudio para correlacionar la pendiente con la longitud del declive en un terreno. V Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Madrid p. 2229-2245.

Mintegui Aguirre. J.A; López Unzú. F. 1990. La Ordenación Agro hidrológica en la Planificación. Ed. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. pp. 308. Y d. pp. 349.

Mintegui Aguirre. J.A; Robredo Sánchez. J. C. 1994. Caracterización de las cuencas hidrográficas, objeto de restauración hidrológico-forestal, mediante modelos hidrológicos.

Ringuelet. L. 1960. Clasificación Biogeografía Pampeana. Tomo II. INTA.

Rodríguez Vagaría. A. M; Gaspari. F. J. 2010. GeoQ: Herramienta para la determinación del Numero de Curva y Escorrentía bajo entorno de SIG Idrisi Andes®.

Rodríguez Vagaría. A. M; Gaspari. F. J. 2010. Manual para Macro Modeler GeoQ. Automatización del procesamiento de cálculo de la escorrentía bajo entorno S.I.G. Idrisi Andes®.

Rodríguez Vagaría. A. M. 2010. Efecto de la restauración agro-hidrológica sobre el escurrimiento superficial en la Sierra de Pillahuinco.

Rodríguez Vagaría. A. M; Gaspari. F. J; Senisterra; M. I. Delgado; S. I. Besteiro. 2012. "Evaluación del efecto de la restauración agro-hidrológica mediante la aplicación de modelos hidrológico GeoQ". Reviste de Investigación Venezolana.

Rodríguez Vagaría. A. M; Gaspari. F. J; Kruse. E. E. 2014. Simulación espacio-temporal del escurrimiento por la interacción entre los cambios del uso del suelo y evolución pluvial.

Rojas. A. E; Conde. A. A. 1985. Estimación del Factor "R" de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo para el centro-este de la Republica Argentina. Ciencia del Suelo. Volumen 3. N°1-2.

Plan Andaluz de Control de la Desertificación (PACD). 2003. Documento Técnico. Manuales de Restauración Forestales N°7. Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente.

Servicio Meteorológico Nacional. Estadísticas climática 1951-2016. Estación meteorológica Tornquist (20).

Torrero. M. P; Campo. A. M. 2008. Hidrogeomorfología de la cuenca en el río Sauce Chico, Argentina. Rev. Gergr. Valpso. N°41. 13pp

Torrero. M. P. 2009. Río Sauce Chico. Estudio hidrográfico para un desarrollo sustentable. Tesis Doctoral. Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional de Sur, Bahía Blanca.243 pp.

Uriarte, M. Gonzales; H. Kgruger; G. Arbanesi. 1985. Determinación de unidades geoedáficas para la valoración expeditiva de suelos y como base del diagnostico agropecuario. Departamento de Agronomía- UNS- Bahía Blanca.

Wischmeier and Smith's. 1978. Empirical Soil Loss Model (USLE).

Zalba, S. M; C.B. Villamil 2002. Woody plant invasion in relictual grassland. *Biological Invasions* 4: 55-72.

Fuentes electrónicas

- **Introduction to the word water partnership (Global Water Partnership South America).**

<http://www.gwp.org/es/GWP-Sud-America/>

- **Cronología de la historia Argentina.**

<http://www.lagazeta.com.ar/cronologia.htm>

- **Editorial Eudeba.**

<https://www.eudeba.com.ar/>

- **Instituto Nacional de Estadística y Censo. Republica Argentina. INDEC.**

2010.

<https://www.indec.gov.ar>

- **Sistema de Información Clima y Agua INTA. 2011.**

[http://climayagua.inta.gob.ar/estad%C3%ADsticas_de_precipitaciones.](http://climayagua.inta.gob.ar/estad%C3%ADsticas_de_precipitaciones)

- **Laboratorio Unidad Pacifico Sur CIESAS. 2010**

<http://www.ciesas.edu.mx/pacifico-sur/>

- **Oficina de Riesgos Agropecuarios. 2015**

[http://www.ora.gob.ar.](http://www.ora.gob.ar)