



**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de Postgrados**

**APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN  
CUENCAS DEL RÍO AGRIO, República Argentina.**

**Vanesa Yanina Cappelletti**

Tesis de posgrado presentada como requisito para la obtención del título de  
Magíster en Sistema de Información Geográfica

Quito, 2011

**Universidad San Francisco de Quito**

**Colegio de Postgrados**

**HOJA DE APROBACION DE TESIS**

**APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRAFICO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN  
CUENCAS DEL RÍO AGRIO, República Argentina.**

**Vanesa Yanina Cappelletti**

Richard Resl, PhD(c)  
Director de Tesis .....

Pablo Cabrera, MSc  
Miembro del Comité de Tesis .....

Stella de la Torre, PhD  
Miembro del Comité de Tesis .....

Richard Resl, PhD(c)  
Director de la Maestría en Sistema de Información Geográfica .....

Víctor Viteri, PhD  
Decano del Colegio de Postrado.....

Quito, 2011

© Derechos de autor  
Vanessa Yanina Cappelletti  
2011

## Resumen

La erosión hídrica es uno de los problemas más relevantes en el aspecto ambiental y socioeconómico que tienen los paisajes de la Patagonia. Entre las principales causas que conducen a los procesos erosivos pueden mencionarse el sobrepastoreo, el desmonte y las labranzas. En el presente trabajo se realizará un diagnóstico del estado erosivo de subcuencas que conforman la cuenca hidrográfica del Río Agrío en el Norte de la Patagonia Argentina. En el mismo se aplicará el método de estimación de la degradación del suelo de la FAO y luego se realizará un análisis comparativo de los resultados obtenidos con otro modelo empírico de erosión hídrica denominado ICONA. Estos métodos permiten determinar las pérdidas de suelo en una cuenca hidrográfica, predecir niveles de erosión, etc. Para ello se implementará como herramienta para el análisis espacial, el Sistema de Información Geográfica, que permitirá obtener cartografía temática, realizar una evaluación del territorio y aplicar la metodología mencionada. En la actualidad los SIG son de gran utilidad en la gestión del medio ambiente y la planificación territorial, porque facilitan las herramientas necesarias para lograr la conjunción de diferentes variables ambientales del territorio, desarrollando estudios de análisis espacial.

## Abstract

Erosion is one of most important environmental and socioeconomics problems in Patagonian landscapes. Overgrazing, clearing and tillage are the main causes to increase erosion process. This study is to carry out a diagnosis about erosion rate at catchment scale of the río Agrio basin in the North of Patagonia (Argentina). Was applied the FAO methodology to evaluate erosion rate and next results was compared to the second erosion empiric model ICONA. These methods allow determining erosion rate at catchment scale. First was used GIS to obtain thematic cartography, then was make a territorial evaluation and finally to apply the mentioned methodology. Actually, GIS are useful tools in environment management and territorial planning, because this tool to facilitate to obtain many environmental variables from the territory.

## TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCION	1
2. FUNDAMENTOS TEORICOS	1
2.1.1. Características del Area de Estudio	3
2.1 HIPOTESIS	4
2.2. OBJETIVOS	4
3. METODOLOGIA	4
3.1. Desarrollo	5
3.1.1 Sistemas de Información Geográfica	5
3.1.2. Técnicas de Teledetección	9
3.1.3. Producción de Mapas Temáticos	11
3.1.4. Previsión	12
3.1.5. Características Generales de las Subcuencas Hidrográficas del Río Agrio	12
3.1.5.a. Geología	14
3.1.5.b. Geomorfología	15
3.1.5.c. Suelos	15
3.1.5.d. Vegetación	16
3.1.5.e. Uso Actual de la Tierra	17
3.1.6. Evaluación de la Erosión Hídrica	18
3.1.6.a. Erosividad de las Precipitaciones (E)	18
3.1.6.b. Erodabilidad del Suelo (K)	20
3.1.6.c. Índice de Pendiente (P)	21
3.1.6.d. Índice de Uso del Suelo (U)	23
3.1.6.e. Erosión Hídrica Actual (A)	23
3.1.6.f. Erosión Hídrica Potencial (AP)	24
4. RESULTADOS	25
4.1. Erosión Hídrica Actual	25
4.2. Erosión Hídrica Potencial	27
4.3. Porcentaje de Superficie de Uso de Suelo Afectada por Erosión Hídrica Alta y erosión Hídrica Potencial Alta y Muy Alta	28
5. DISCUSION/ANALISIS DE RESULTADOS	29
5.1. En relación a las Técnicas	29
5.2. En relación al Método	32
5.3. En relación al Estudio	34
6. CONCLUSIONES	36
7. RECOMENDACIONES	38

**LISTA DE MAPAS**

1. Mapa de Ubicación Geográfica de las Cuencas del Río Agrío
2. Mapa de Alturas de las Cuencas del Río Agrío.
3. Mapa Geológico
4. Mapa Geomorfológico
5. Mapa de Tipos de Suelo
6. Mapa de Vegetación
7. Mapa de NDVI (Normalize Difference Vegetation Index)
8. Mapa de Usos del Suelo
9. Mapa de Erosividad de las Precipitaciones
10. Mapa de Erosionabilidad del Suelo
11. Mapa de Zonificación de Pendientes
12. Mapa de Índice de Usos del Suelo
13. Mapa de Erosión Hídrica Actual
14. Mapa de Erosión Hídrica Potencial

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Capas Cartográficas

Figura 2. Tipos de Datos

Figura 3. Formato raster

Figura 4. Sistema de Teledetección. Fuente: CONAE

Figura 5. Espectro Electromagnético. Fuente UNIGIS para América Latina, MO2.

Figura 6. Gama de Reflexión para la vegetación (según HILDENBRANDT 1996). Fuente UNIGIS para América Latina, MO2.



## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Clasificación de los datos geográficos, según fuente de origen y formato.

Tabla 2 Porcentaje de la superficie con los distintos aspectos litológicos.

Tabla 3. Porcentaje de Cobertura de la Vegetación.

Tabla 4. Medias Mensuales de Estaciones Hidrometeorológicas.

Tabla 5. Porcentaje de Superficie Total afectada por Erosión Hídrica Actual.

Tabla 6. Porcentaje de Superficie afectada por Erosión Hídrica por Subcuencas.

## **LISTA DE GRAFICOS**

1. Gráfico: Porcentaje de Superficie de Usos del Suelo en las Cuencas.

2. Gráfico: Porcentaje de Superficie Afectada por Erosión Hídrica por Cuencas.

3. Gráfico: Porcentaje de Superficie Afectada por Erosión Hídrica Potencial en el total de las Cuencas.

4. Gráfico: Porcentaje de Superficie Afectada por Erosión Hídrica Potencial por Cuencas.

5. Gráfico: Porcentaje de Superficie de las cuencas según Uso de la Tierra, afectadas por Erosión Hídrica Alta  
4.6. Gráfico: Porcentaje de Superficie de las cuencas según Uso de la Tierra, afectadas por una Erosión Hídrica Potencial Alta y Muy Alta.

6. Gráfico: Porcentaje de Superficie de las cuencas según Uso de la Tierra, afectadas por una Erosión Hídrica Potencial Alta y Muy Alta.

7. Gráfico: Superficies de Usos del Suelo Afectadas por Erosión Hídrica Actual Alta y por Erosión Hídrica Potencial Alta – Muy Alta.

## **B - CUERPO DE TESIS**

### **1. INTRODUCCION**

Dada la necesidad de determinar el grado de erosión hídrica que presentan algunas cuencas hidrográficas de la Patagonia norte, se pretende hacer un análisis comparativo entre las diferentes metodologías utilizadas para realizar una evaluación de la erosión hídrica actual y potencial.

La mayoría de los modelos establecidos para el estudio de la erosión hídrica son de tipo empírico y están basados en la definición de los factores de erosión más importantes que regulan este proceso, mediante el uso de observaciones, experimentos y técnicas de análisis estadísticos, que permitan establecer relaciones significativas entre estos factores y las pérdidas de suelo. Este análisis puede limitarse simplemente a los principales “inputs” y “outputs” del sistema, puede identificar algunas de las relaciones causa-efecto dentro del sistema, establecer ecuaciones simplificadas de todos los procesos que intervienen en el fenómeno o basarse en la resolución de las ecuaciones físicas que regulan el fenómeno.

“Los modelos de erosión hídrica han sido diseñados para predecir y controlar las alteraciones en las condiciones del suelo debido a la erosión superficial, que puede darse tanto en forma natural como provocada por las actividades humanas”<sup>1</sup>. Con estos métodos se puede determinar las pérdidas de suelo en una cuenca hidrográfica, predecir niveles de erosión o un aporte excesivo de sedimentos a los cursos de agua.

Las consecuencias de la erosión no sólo tienen efecto en el área donde se produce, sino que sus consecuencias van más allá del territorio en cuestión. El aumento de la carga de sedimentos de los cursos de agua, provoca que los cauces disminuyan su profundidad aumentando los desbordes con frecuencias y en algunos casos cambiando su dirección y morfología. La sedimentación produce la colmatación de embalses, pérdida de fertilidad de las tierras ribereñas, obstrucción de las vías de comunicación y procesos de eutrofización de embalses. Además la disminución de la cubierta vegetal de laderas y zonas de pendientes pronunciadas, aumenta el riesgo de procesos de remoción en masa.

En el presente trabajo se aplicará un método de estimación de la degradación del suelo de la FAO, para luego hacer un análisis comparativo de los resultados obtenidos con otro modelo empírico denominado ICONA.

### **2. FUNDAMENTOS TEORICOS**

El 85% del Territorio de la Patagonia Argentina presenta algún signo de desertificación en sus tierras. La desertificación ha sido definida por la Convención de las Naciones Unidas para el combate de la Desertificación (CNU-CN), como la

---

<sup>1</sup> Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico. Contenidos y metodología. Pág. 547. Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría General de Medio Ambiente.

degradación de las tierras que ocurre en las zonas áridas, semiáridas y secas subhúmedas, causada por una combinación de factores climáticos y actividades humanas. Las regiones áridas y semiáridas son especialmente sensibles a sufrir procesos degradatorios ya que las condiciones climáticas (escasas precipitaciones, distribución irregular de las lluvias, altos valores de evaporación y de evapotranspiración), favorecen la erosión del suelo. A estas condiciones se le agregan los procesos degradatorios producidos por la actividad humana, traducida en un uso inadecuado o sobreintensivo de las tierras, urbanización, sobrepastoreo, un mal uso de los recursos hídricos, la tala de bosques y desmonte y otras prácticas económicas que rompen el equilibrio ecológico. La combinación de estos procesos que actúan sobre el ambiente, provoca la erosión tanto hídrica como eólica y la sedimentación, como signos primarios de la degradación.

En la mayoría de las cuencas hidrográficas de la Patagonia, predomina el uso pastoril, donde las tierras son utilizadas mediante explotaciones extensivas, en campos abiertos o grandes potreros y donde el control del impacto del pastoreo es limitado. La ganadería extensiva que se practica en algunos sectores del territorio, utilizan los pastizales naturales para el pastoreo del ganado. Cuando el impacto de esta práctica es frecuente y continuo, produce alteraciones importantes en la cobertura vegetal y en la estabilidad y protección de los suelos.

Comprender como la cobertura de la tierra, la hidrología y la infraestructura se relacionan con el clima, el relieve, la geología y los suelos, es fundamental para comprender la degradación de la tierra. El análisis de estas relaciones y de los problemas relacionados, debería ser llevado a cabo en forma preliminar y tentativa como parte del trabajo preparatorio sobre la evaluación de la degradación del suelo.

La acción de distintos organismos internacionales como FAO, PNUMA o CEPAL, está encaminada a alertar sobre el deterioro de las tierras, proponiendo metodologías y el intercambio riguroso de experiencias y resultados.

Los procesos de degradación de las tierras principalmente son: el deterioro de la cubierta vegetal, la erosión hídrica, la erosión eólica y la salinización. Estos procesos determinativos principales (FAO, 1984), son denominados así porque sus efectos están más extendidos y tienen mayor repercusión en la productividad de las tierras y en las condiciones de vida (FAO, 1984).

La erosión hídrica es uno de los problemas más relevantes en el aspecto ambiental y socioeconómico que tienen los paisajes de la Patagonia norte. Entre las principales causas que conducen a los procesos erosivos pueden mencionarse el sobrepastoreo, el desmonte y las labranzas.

El sobrepastoreo es una de las actividades que contribuye a los procesos de degradación del suelo, ya que se manifiesta por una sobrecarga animal en los campos con escasa vegetación acelerándose el proceso por la acción de los vientos y las lluvias torrenciales. Las formas hídricas de la erosión en el territorio, se evidencia mediante la presencia de cárcavas y barrancos de grandes dimensiones tanto en laderas como en mallines. También la erosión laminar puede

observarse en áreas de suelo desnudo en laderas de pendientes medias a suaves. “En los mallines de la zona extra-andina la degradación se manifiesta por una salinización generalizada, la aparición de manchones y excavaciones, y a medida que se produce el desecamiento, un aumento de los procesos de deflación combinados con arrastre laminar del material de superficie. El congelamiento del suelo, el sobrepastoreo y el pisoteo en épocas críticas determinan la aparición de estas formas o agravan las existentes”<sup>2</sup>.

“En la provincia del Neuquén, la mayor parte de la superficie agropecuaria está destinada al uso ganadero (más del 90% de la misma y del 50% del total del territorio se encuentran dedicados a esa actividad) y el es principal medio de sustento de la escasa población dispersa en la provincia”<sup>3</sup>.

### 2.1.1. Características del Area de Estudio

Las cuencas hidrográficas que componen la cuenca superior del Río Agrio, se ubican en la ladera oriental de la cordillera de los Andes, entre la latitud 37° y 38° Sur y tienen una disposición transversal, ya que sus cursos de agua corren en sentido oeste-este hasta desembocar en el Río Agrio, que en su curso superior drena en sentido norte-sur. Ver Mapa Anexo 1.

En estas cuencas hidrográficas, se observan evidencias de un inadecuado manejo del recurso suelo, ya que se ha detectado una disminución de la cobertura vegetal, especialmente sobre pastizales naturales<sup>4</sup>, un incremento del escurrimiento superficial, traducido en crecidas abruptas de los caudales de los ríos y signos de la acción del agua y el viento.

Por tal motivo, para el estudio de las mismas se implementará un método empírico que permita determinar la erosión hídrica actual de las cuencas. En el Territorio Patagónico, la Metodología hasta el momento utilizada para la determinación de la Degradación de las Tierras, es la de la FAO (1980, Proyecto de la FAO), en la que se discriminan los tipos de degradación del suelo<sup>5</sup>. En el presente trabajo se utilizará dicha metodología, considerando las restricciones en cuanto a la cantidad y calidad de los datos espaciales disponibles.

Para realizar el presente trabajo se implementará como herramienta para el análisis espacial, el Sistema de Información Geográfica. A través de esta herramienta se obtendrá cartografía temática que permitirá realizar una evaluación del territorio en estudio, de manera de prevenir futuros escenarios ante procesos potenciales de erosión hídrica. “El Sistema de Información Geográfica es una nueva

<sup>2</sup> Movia. C. Metodología Regional del Proceso de Desertificación. Cap. Metodologías Aplicables a la Evaluación de la Desertificación de la Patagonia. Pág. 168. Facultad de Ciencias Agrarias. Dpto. Ecología y Facultad de Humanidades. Dpto. de Geografía. Universidad Nacional del Comahue 1984.

<sup>3</sup> Coordinadora María Rosa Colantuono. Neuquén. Una Geografía Abierta. Dpto. de Geografía. Facultad de Humanidades. Universidad Nacional del Comahue. Cap IV autor Julio Anguita, pág. 91.

<sup>4</sup> Estudio realizado por Lic. Cappelletti. Análisis de Mallines. Subcuencas del Río Agrio. SPyD. AIC. Noviembre 2008.

<sup>5</sup> Ferrer J.A., Mendía J., Irisarri J.A., Figueira H.L., “Degradación de los Suelos en la Alta Cuenca del Río Neuquén”. Aplicación de la Metodología de la F.A.O. Facultad de Ciencias Agrarias. UNCo. Dirección General de Agricultura y Ganadería de Neuquén. 1984.

tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial<sup>6</sup>. Con este sistema se podrá integrar en formato digital, distintos elementos del terreno, para realizar consultas y análisis espaciales y para la toma de decisiones ante la evaluación de posibles eventos naturales y/o antrópicos, que provocan la erosión hídrica.

La información espacial disponible, en algunas capas temáticas, ha sido relevada a una escala de análisis menor a la trabajada en el presente. En dicho trabajo se pretende abordar la temática a escala 1:250.000. Dicha aclaración es importante ser considerada ya que la obtención de resultados deberá ser limitada para abordar algunos lineamientos de planificación del recurso hídrico. En la Metodología se detalla la información de base utilizada.

## 2.1. Hipótesis

La Metodología de Evaluación de Tierras de la FAO en comparación con la Metodología ICONA, es un método de mayor precisión para determinar la erosión hídrica de las cuencas hidrográficas.

## 2.2. Objetivos

- Realizar una evaluación de la degradación de los suelos de las cuencas del Río Agrío, mediante la aplicación de metodologías de análisis de erosión hídrica, con la utilización de variables cualitativas.
- Desarrollo de parámetros como pendiente, usos del suelo, tipos de suelo y condiciones climáticas, para la determinación de la erosión hídrica de las cuencas del Río Agrío.
- Integración de estos parámetros mediante el uso de la herramienta SIG, para la implementación de la Metodología de Evaluación de la Erosión Hídrica de FAO.
- Análisis y comparación entre los resultados obtenidos de la Metodología ICONA y la de FAO.
- Elaboración de conclusiones y recomendaciones para una gestión sustentable de las cuencas hidrográficas.

## 3. METODOLOGIA

- 1) Se realizará un diagnóstico de la degradación de las tierras a escala 1:250.000, mediante la determinación del grado de erosión hídrica.

---

<sup>6</sup> Llopis, J.P. Sistemas de Información Geográfica Aplicados a la Gestión del Territorio. Entrada, manejo, análisis y salida de datos espaciales. Teoría general y práctica para ESRI ArcGIS 9. Departamento de Ecología. Universidad de Alicante. Pág 3.

- 2) Implementación de distintas herramientas de SIG y de Teledetección para la confección de diferentes mapas temáticos y su integración espacial, de las características físicas y socioeconómicas de las cuencas hidrográficas.
- 3) Límites de las cuencas hidrográficas, obtenidos a partir del Modelo Digital de Terreno SRTM 90 mts.
- 4) Caracterización física de la cuenca en base a sus características climáticas, geológicas, topoaltimétricas, hidrológicas, geomorfológica, de tipo suelo y vegetación y el uso de la tierra. La información tanto geológica, como geomorfológico y de usos de suelo ha sido relevada y digitalizada a escala 1:500.000.
- 5) Los tipos de vegetación han sido actualizados sus límites, mediante la interpretación visual y de valores de NDVI de una imagen Landsat del año 2000.
- 6) Desarrollo de la Metodología de FAO (1984), utilizando los parámetros de agresividad climática de las precipitaciones, erodabilidad del suelo, zonificación de pendiente y uso del suelo. Para la cuantificación de la erosión hídrica se aplicará la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos USLE (Wischmeir y Smith, 1978).
- 7) Las herramientas de los Sistemas de Información Geográfico que se utilizarán serán para la implementación de distintas operaciones con las capas vectoriales y con las capas raster. En el caso de los vectores, se realizará reclasificación de clases, reasignación de atributos y operaciones booleanas. Para las capas raster se aplicará álgebra de mapas e interpolaciones espaciales.

### 3.1. Desarrollo

#### 3.1.1 Sistemas de Información Geográfica

Cómo herramienta de captura de datos, procesamiento, análisis y resultados, se trabajó con el Sistema de Información Geográfica ArcGis. Para el tratamiento digital de las imágenes se utilizó *Erdas Imagine* y *Global Mapper*.

“Un Sistema de Información Geográfico es un conjunto de datos, medios y actividades, así como las relaciones entre estos distintos elementos, que permiten un adecuado tratamiento de la información”<sup>7</sup>. Estos componentes conforman un sistema que están interrelacionados y que son interdependientes. De acuerdo a la definición de Burrough (1998)<sup>8</sup>, entiende a los SIG como una poderosa “caja de herramientas” para la recolección, almacenaje, recuperación, transformación y visualización de datos del mundo real.

---

<sup>7</sup> Guimet, Pereña, J. “Introducción Conceptual a los Sistemas de Información (S.I.G.). Estudio Gráfico Madrid 1992. España. Pág. 17.

<sup>8</sup> Turbau E., Strobl J., Resl R. “Módulo 1: Introducción a los Sistemas de Información Geográfica”. UNIGIS América Latina. Programa Avanzado Diplomado en SIG. Unigis Professional. 1era. Edición 2007. Pág. 25.

También se atribuye al concepto de Sistema de Información Territorial, cuando “(...) los datos-información consisten en características o atributos del espacio territorial o ligados a éste, y con capacidad para sintetizar la dinámica de los fenómenos que pretende reflejar”<sup>9</sup>. Los Sistemas de Información Geográfica son herramientas, entonces que permiten utilizar diversas técnicas de procesamiento de información espacial. La base de un SIG es una serie de capas de información espacial en formato digital que representan diversas variables (ya sea en formato raster o vectorial). “Los datos son la representación concreta de hechos y constituyen el antecedente necesario para el conocimiento. La información se obtiene para una finalidad determinada y es fruto de un proceso interpretativo. (Comas y Ruiz (1993))”<sup>10</sup>.

La información geográfica es información sobre un elemento de la superficie terrestre, que tiene como característica poder definir su posición a partir de dos dimensiones (x,y) que le dan la posición espacial y se le puede asignar además un atributo o característica. De esta manera, la información geográfica se convierte en un dato geográfico, compuesto por una entidad que es la representación digital del rasgo geográfico y por un atributo (z), que es la característica que califica y describe el aspecto de la entidad. Estas dos características conforman la capa cartográfica, como puede observarse en la Figura 1 del Anexo.

De acuerdo a Comas y Ruiz (1993) “Los datos son la representación concreta de hechos y constituyen el antecedente necesario para el conocimiento. La información se obtiene para una finalidad determinada y es fruto de un proceso interpretativo”.

Una vez identificados los objetos del mundo real a representar por medios de los datos, se los identifican a partir de sus atributos, el tipo de geometría y elemento espacial y se determina la forma en que van a ser representados en un SIG. Para ello se debe definir el método de organización que se implementará en la estructura del SIG, para llevar a cabo diferentes tareas relacionadas con el diseño, creación y funcionamiento de los SIG. “El método tiene la finalidad de establecer la estructura de un SIG y en concordancia con ello implementar aplicaciones que sustenten la toma de decisiones”<sup>11</sup>.

Entre las tareas que se desarrollarán en este trabajo son:

a. Organización de los datos disponibles en el área de estudio. “La mayoría de operaciones SIG requieren el uso de una combinación de los dos tipos de fuentes de datos, primario y secundario, se adquieren datos digitales y analógicos, a diferentes escalas y proyecciones y en diferentes formato. Tendremos que convertir estos datos a modelos y estructuras compatibles con

<sup>9</sup> Guimet, Pereña, J. “Introducción Conceptual a los Sistemas de Información (S.I.G.). Estudio Gráfico Madrid 1992. España. Pág. 19.

<sup>10</sup> Turbau, E. Introducción a los Conceptos y Operaciones Fundamentales. Lección 1: ¿Qué tiene de Especial lo Espacial”. Cap 7. La Naturaleza de los datos geográficos. Pág 2. 9ª Edición 2006.

<sup>11</sup> Turbau E., Strobl J., Resl R. “Módulo 1: Introducción a los Sistemas de Información Geográfica”. UNIGIS América Latina. Programa Avanzado Diplomado en SIG. Unigis Professional. 1era. Edición 2007. Pág. 49.

nuestro paquete SIG<sup>12</sup>. Esto implica unificar escalas, proyecciones cartográficas y formatos digitales (raster y vector). Esta organización de los datos permitirá diseñar las capas cartográficas compuestas por entidades gráficas y datos alfanuméricos (Figura 2, Anexo).

Una vez establecida la organización de los datos espaciales, se puede distinguir la estructura de los mismos de acuerdo a su formato, vectorial o raster, para aplicar diferentes manejos y operaciones. En el presente estudio se utilizarán ambos formatos como cartografía de base, discriminados en la Tabla 1, Anexo, según también la fuente de adquisición de los mismos. Posteriormente estos formatos se convertirán al formato raster, a fin de aplicar operaciones de análisis espacial entre las distintas capas cartográficas creadas.

Los datos en formato vectorial, se representan a través de puntos, líneas o polígonos usando una serie de pares de coordenadas x,y. Los datos que tienen formato raster, la información geográfica es estructurada a través de una grilla o mallas de celdas regulares. Estas celdas, se denominan normalmente píxeles que representan elementos puntuales de un área del terreno. El tamaño del píxel, determinará la resolución del producto raster (Figura 3 del Anexo).

Actualmente los datos capturados y almacenados en modo vector, pueden ser convertidos a raster fácilmente, definiendo el tamaño de píxel que se desee, una vez realizado el análisis espacial o la simulación, los resultados pueden ser llevados en sentido inverso (raster a vector) para su almacenamiento y/o representación.

b. Operaciones Espaciales de Capa Unica. Estas operaciones “(...) son aquellas que se llevan a cabo con una única capa cartográfica a la vez”<sup>13</sup>. Las mismas consisten en la visualización de los datos, a partir de la identificación de elementos del terreno y su distribución en el territorio, a partir de una Query (consulta), herramientas de Zoom in /out de cada capa, y mediciones de distancias y cálculos de áreas.

Las consultas son acerca de las características y/o propiedades de las capas cartográfica y se realizará tanto a sus atributos como a sus entidades gráficas. Las consultas por atributos permiten seleccionar atributos de la base de datos, de acuerdo a determinadas condiciones definidas. En el caso de las consultas espaciales, en este trabajo se aplicará una operación que me permita conocer QUE hay en determinadas localizaciones seleccionando las entidades del mapa, ej: tipos de suelos, pendientes y tipos de vegetación.

c. Operaciones Espaciales de Capa Múltiple. Estas operaciones permiten realizar análisis espaciales, aplicando distintas técnicas de combinación entre los diferentes niveles de información espacial (capas cartográficas) para establecer relaciones y/o diferencias entre las capas. Las mismas incluyen “(...)

<sup>12</sup> Turbau, E. Introducción a los Conceptos y Operaciones Fundamentales. Lección 1: ¿Qué tiene de Especial lo Espacial”. Cap 4. Componentes y funcionalidades de un SIG. Pág 8. 9ª Edición 2006.

<sup>13</sup> Corcoll, S. Operaciones de Análisis Espacial. Lección 2: Operaciones Espaciales de Capa Unica. Pág 1. UNIGIS 9na. Edición. 2006.



todo tipo de transformaciones, manipulaciones y métodos que pueden ser aplicados a los datos geográficos y de este modo incrementar su valor”<sup>14</sup>.

Para realizar la operación de capa múltiple se consideró la escala de origen de cada capa cartográfica diseñada, ya que determinará el nivel de detalle de análisis. En este caso el trabajo será realizado a una escala media 1:250.000 dado que la mayoría de los datos digitales obtenidos son entre la escala 1:50.000 y 1:500.000. También se definió como Proyección común a todas las capas la Proyección Gauss Kruger Faja 2, Sistema de Referencia: Campo Inchauspe.

La proyección es la transformación de una superficie esférica en una superficie plana. La Proyección Gauss Kruger es una proyección cilíndrica conforme transversal utilizada en Argentina, debido a su distribución latitudinal, ya que se conforma por fajas meridianas tangenciales a los meridianos. En nuestro país, esta proyección se distribuye en 7 fajas localizadas de oeste a este. Por la ubicación del área de estudio, se utilizará la Faja 2 y el Sistema de Referencia será Campo Inchauspe. Este sistema de referencia es el Datum que fija el origen en el cuál es tangente el geode y el elipsoide.

Las operaciones espaciales de capas múltiples, que se aplicarán para la información en formato vectorial será la relacionada con sus atributos y localización. Reclassificación de clases, asignación de nuevos atributos y operaciones booleanas, como unión o intersección.

El método que se utilizará para medir y cuantificar los atributos de la información espacial, será el nominal, que es valor categórico de cada clase y el ordinal, ya que se asignará valores que se encuentran en un rango en concreto y por tanto pueden aplicar un orden de valoración.

Para el caso de la información en formato raster, las principales operaciones que se desarrollarán será la de álgebra de mapas. “Los métodos de álgebra de mapas permiten llevar a cabo las operaciones matemáticas entre distintos mapas raster, como es el solapamiento entre mapas, con lo que se facilita la creación de modelos numéricos”<sup>15</sup>.

Los Modelos Digitales de Elevación (DEM) son el ejemplo más común de una capa raster, ya que son una representación de una superficie continua interpolada, sobre una matriz de datos de altura. “Un modelo digital de elevaciones es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno”<sup>16</sup>. A partir de estas matrices de altitud discretas, se pueden obtener diferentes mapas, en este caso sólo se obtendrá el mapa de pendientes.

---

<sup>14</sup> Corcoll, S. Operaciones de Análisis Espacial. Lección 8: Tipos de Análisis Espacial. Pág 1. UNIGIS 9na. Edición. 2006.

<sup>15</sup> Llopis, J.P. Sistemas de Información Geográfica Aplicados a la Gestión del Territorio. Entrada, manejo, análisis y salida de datos espaciales. Teoría general y práctica para ESRI ArcGIS 9. Departamento de Ecología. Universidad de Alicante. Pág. 35

<sup>16</sup> Felicísimo, A. Cap 2. El Modelo digital de Elevaciones. <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/>

Otra operación que se desarrollará en el presente trabajo es el de la creación de superficies continuas a partir de datos puntuales, denominado proceso de Interpolación. Para la construcción de las matrices se necesitará representar espacialmente la variación de un atributo en el terreno.

“La interpolación espacial es el procedimiento para estimar el valor de las propiedades de sitios no muestreados dentro de un área cubierta por observaciones realizadas” (Waters, 1989).

“El papel básico de los SIG en la interpolación es rellenar la información que falta en aquellas áreas en las que no están disponibles las observaciones del mundo real, Bosque (1997)”<sup>17</sup>. En este trabajo se implementará el método de interpolación local ya que no se conoce la tendencia global de la variable en superficie que se está intentando modelizar. “(...) Un interpolador local es cualquier técnica que haga más de una única pasada sobre los datos antes de construir una superficie”<sup>18</sup>.

En el presente trabajo el método de Interpolación local que será utilizado es el Kriging, para determinar arealmente la distribución del índice de erosividad de las precipitaciones, a partir de los atributos de datos puntuales provenientes de las estaciones meteorológicas. “La base del kriging está en estimar el valor medio con el que la diferencia entre los valores de los puntos cambia con la distancia entre ellos”<sup>19</sup>.

### 3.1.2. Técnicas de Teledetección

Para el tratamiento de imágenes satelitales, se implementa técnicas de Teledetección. La teledetección es la “(...) técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales”<sup>20</sup> (Figura 4, Anexo).

El sensor capta esta energía y mediante una estación terrena se realiza un pre-procesamiento de la misma hasta obtener valores digitales en una matriz (imagen). Las particularidades que se pueden obtener de las imágenes de percepción remota son:

- “Podemos obtener una cobertura global y sistemática de la superficie terrestre.
- Aporta una visión panorámica del territorio.
- Permite estudiar y trabajar con información de otras regiones del espectro electromagnético (infrarrojos y microondas)”<sup>21</sup>.

<sup>17</sup> Corcoll, S. Operaciones de Análisis Espacial. Lección 9: Interpolación Espacial. Pág 10. UNIGIS 9na. Edición. 2006.

<sup>18</sup> Corcoll, S. Operaciones de Análisis Espacial. Lección 9: Interpolación Espacial. Pág 13. UNIGIS 9na. Edición. 2006.

<sup>19</sup> Corcoll, S. Operaciones de Análisis Espacial. Lección 9: Interpolación Espacial. Pág 29. UNIGIS 9na. Edición. 2006

<sup>20</sup> Chuvieco E., Fundamentos de la Teledetección Espacial. 2da. Edición. Ediciones Rialp S.A. Madrid. Pág. 27.

<sup>21</sup> Lluís, V. Fuentes y Adquisición de Datos. Lección 5: Introducción a la Teledetección. Pág. 3. UNIGIS 9na. Edición. 2006.

Esta energía procede del objeto por reflexión de la luz solar que envía una onda electromagnética que al chocar con la materia u objeto transmite energía; “la materia transforma parte de la energía absorbida, y devuelve otra parte de la misma; con un receptor adecuado se graba la radiación emitida por la materia; luego se analiza mediante un complejo sistema de sensores”<sup>22</sup>.

De esta manera, el sistema de Teledetección se compone por 3 elementos principales: el sensor, el objeto observado (paisaje) y la energía que permite poner a ambos en relación. “La radiación electromagnética (REM) se comporta tanto como un flujo de partículas (particles) como también como una onda (wave)”<sup>23</sup>. Estas longitudes de onda se organizan en un espectro electromagnético, que es una representación logarítmica de las mismas. El espectro puede dividirse en regiones espectrales como: Ultravioleta, Espectro Visible, Infrarrojo Cercano, Infrarrojo Térmico y Microondas (Figura 5 del Anexo).

“Las diferentes regiones del espectro electromagnético puede proporcionar distinta información sobre un mismo objeto”<sup>24</sup>. Una imagen satelital es la representación de un objeto real mediante una matriz numérica bidimensional, cada elemento de esta matriz se denomina píxel. Cada píxel tiene asignado un valor digital que se corresponde con la energía asociada a la longitud de onda en el que el sensor es sensible.

“El tratamiento digital es el conjunto de transformaciones numéricas realizadas sobre la matriz original, para obtener representaciones más adecuadas de la imagen, según las aplicaciones. Mediante el tratamiento digital se pretende extraer la información contenida en los datos aportados por las imágenes de satélites tomadas por los sensores”<sup>25</sup>.

De los tres tratamientos posibles de la imagen: restauración de la imagen, realce y extracción de la información, en este trabajo, la imagen satelital será utilizada para la identificación de diferentes coberturas vegetales. Por lo cuál, se utilizarán la banda 3 del espectro visible y la 4 perteneciente al Infrarrojo cercano, para realizar una interpretación visual de las distintas cubiertas y luego para el análisis digital. Es de destacar que la imagen utilizada proviene de un sensor multiespectral, es decir una alta resolución espectral. “La resolución espectral se refiere a la precisión con que el sensor es capaz de recoger los distintos valores de radiación electromagnética reflejada a una determinada longitud de onda”<sup>26</sup>.

El comportamiento espectral de la vegetación vigorosa, es de una reducida reflectividad en las bandas visibles y una alta reflectividad en el infrarrojo cercano.

<sup>22</sup> Zeil P., Resl R., “Módulo O2: SIG y Teledetección. 1era. Edición 2001. Programa Académica “Diplomado Avanzado Internacional en SIG”, UNIGIS Professional. UNIGIS para América Latina. Pág. 6.

<sup>23</sup> Zeil P., Resl R., “Módulo O2: SIG y Teledetección. 1era. Edición 2001. Programa Académica “Diplomado Avanzado Internacional en SIG”, UNIGIS Professional. UNIGIS para América Latina. Pág. 6.

<sup>24</sup> Vicens Lluís. Fuentes y Adquisición de Datos. Lección 5: Introducción a la Teledetección. Pág. 4. UNIGIS 9na. Edición. 2006

<sup>25</sup> Aranda Montecinos Salomón. Tesis Doctoral: Desarrollo Metodológico para la Evaluación del Riesgo de Erosión Hídrica en el Area Mediterranea, utilizando técnicas de Teledetección y SIG. Director: De Pedraza Gilzanz J. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. Pág 24.

<sup>26</sup> Lluís, V. Fuentes y Adquisición de Datos. Lección 5: Introducción a la Teledetección. Pág. 14. UNIGIS 9na. Edición. 20026

Este comportamiento tiene que ver por el contenido de agua que almacenan en sus hojas y el estado de los pigmentos fotosintéticos. La absorción de la energía es muy baja en la longitud de onda del 0,55  $\mu\text{m}$  (verde) por lo cuál la vegetación sana se observa en verde. Por otra parte aumenta su reflectancia en el infrarrojo cercano, como puede observarse en la Figura 1.6 del Anexo, donde se observa un pico de reflectividad en el verde y en el infrarrojo cercano. Esto se debe a que “(...) la clorofila pierde su estabilidad cuando alcanza cierta temperatura. Con el fin de evitar su colapso y mantener el metabolismo interno, las hojas reflejan la mitad de la radiación de infrarrojo y dejan la otra mitad (transmisión)”.

El sensor Landsat trabaja con escaneador tipo whiskbroom, “el escaneador tipo whiskbroom se sirve de un espejo de rotación que dirige el rayo de luz a la apertura del sistema óptico. Esto permite registrar la energía de radiación de segmentos adjuntos de suelo”<sup>27</sup>. El Landsat TM (Thematic Mapper) trabaja con 16 detectores por canal óptico (1 - 4) y 4 detectores para cada uno de los canales térmicos. Por lo tanto los canales espectrales del Landsat son 7, de los cuáles la banda 3 (rojo: 0.63 – 0.69  $\mu\text{m}$ ), permite la diferenciación de especies vegetales (absorción de la clorofila) y la banda 4 (infrarrojo cercano: 0.76 – 0.90  $\mu\text{m}$ ) que se corresponde a la biomasa de la vegetación intacta.

Por tal motivo se utilizará del sensor Landsat, las Banda 3 (rojo) y 4 (Infrarrojo cercano) que son las que permiten analizar el tipo y estado de la cubierta vegetal, donde se muestra la mayor y menor absorción de energía. Con esta combinación de bandas, se podrá actualizar la cubierta vegetal de la zona de estudio.

### 3.1.3. Producción de Mapas Temáticos

Los mapas temáticos son el resultado de la integración de distintas variables y representan un aspecto cualitativo de distribución de un fenómeno en el espacio en un momento determinado. “El objetivo de los mapas cartográficos es comunicar información geográfica y servir de soporte para la resolución de problemas”<sup>28</sup>. Para este estudio se confeccionaron mapas temáticos que tienen como objeto suministrar una representación convencional de los fenómenos localizables y de sus correlaciones, a través de símbolos cualitativos y/o cuantitativos con una referencia. “Todos los mapas contienen dos elementos fundamentales de la realidad: localizaciones y atributos de tales localizaciones”<sup>29</sup>. Es a partir de sus atributos que “(...) los mapas temáticos se centran en las variaciones espaciales y en la forma de un solo atributo o en la relación existente entre varios”<sup>30</sup>.

Para la simbolización de los elementos, se utilizarán signos convencionales, definidos por el lenguaje cartográfico y otra simbología que a los fines perceptivos,

<sup>27</sup> Zeil P., Resl R., “Módulo O2: SIG y Teledetección. 1era. Edición 2001. Programa Académica “Diplomado Avanzado Internacional en SIG”, UNIGIS Professional. UNIGIS para América Latina. Pág. 53.

<sup>28</sup> Turbau E., Strobl J., Resl R. “Módulo 1: Introducción a los Sistemas de Información Geográfica”. UNIGIS América Latina. Programa Avanzado Diplomado en SIG. Unigis Professional. 1era. Edición 2007. Pág. 13.

<sup>29</sup> Robinson, A., Sale R., Morrinson J., Muehrcke P., “Elementos de la Cartografía”. Ediciones Omega S.A., Plató, 26-08006 Barcelona. Parte 1. Naturaleza de la Cartografía. Pág. 4.

<sup>30</sup> Robinson, A., Sale R., Morrinson J., Muehrcke P., “Elementos de la Cartografía”. Ediciones Omega S.A., Plató, 26-08006 Barcelona. Parte 1. Naturaleza de la Cartografía. Pág. 8.

permitan una estética del mapa, de acuerdo a su escala, para representar la temática a considerar. “Un mapa es en definitiva un conjunto de signos y de colores que traducen el mensaje del autor. Los objetos cartografiados, materiales o conceptuales, quedan en el mapa transcritos mediante grafismos o símbolos, que son el resultado de un convenio que el redactor propone al lector y que se recuerda en un cuadro de signos o leyenda del mapa”<sup>31</sup>.

### 3.1.4 Previsión

Se determinará la existencia de erosión hídrica en 9 subcuencas hidrográficas, con el fin de poder generar políticas de planificación y gestión en el uso de los recursos naturales que se realiza sobre cada una de ellas.

### 3.1.5. Características Generales de las Subcuencas Hidrográficas del Río Agrio

Las cuencas hidrográficas en estudio se localizan geográficamente entre las coordenadas geográficas de 37° 50' y 38° 30' de Latitud Sur y entre los 70° 10' y 71° de Longitud Oeste. Se tratan de 9 cuencas que ocupan una superficie en total de 191.000 Ha. Estas cuencas que conforman la cuenca Alta del Río Agrio, se ubican en el Departamento de Loncopué al oeste y parte del Departamento Ñorquín en el sur del mismo. Estas cuencas se denominan Arroyo Huanuco, Arroyo Hualcupén, Arroyo Manzano Quemado, Arroyo Buta Mallín, Arroyo Las Islas, el Arroyo Manzano, Arroyo Yumu Yumu, Arroyo Ranquilco y Arroyo Huarenchenque, (Ver Mapa 1 del Anexo).

El clima predominante es subhúmedo de montaña en el sector occidental (Región Andina) y subhúmedo de planicies lávicas en el sector más oriental de la cuenca (Región Extra-Andina). La vegetación natural es estepa-herbácea y bosques restringidos en el sector montañoso y de estepa-herbácea arbustiva en las planicies del sector este. Sobre pendientes suaves y en los valles de los arroyos se observan extensas superficies de mallines o vegas. Las planicies lávicas, se comportan como reservorios de agua y permiten la existencia de aguadas y buenos pastos, favoreciendo la existencia de ganado principalmente caprino y bovino.

La temperatura media es de 10° C y las precipitaciones varían en sentido de la pendiente oeste-este, desde los 2000 mm en el sector cordillerano hasta los 500 mm anuales en las planicies lávicas del sector oriental, como se puede observar en el mapa de isohietas.

Las alturas varían desde los 2600 msnm hasta los 800 msnm en los cierres de cada cuenca. Los valores de altura del terreno tienen una cota mínima de 813 msnm, en el sector sureste, coincidente con el Valle del río Agrio y cierre de las cuencas y una cota máxima de 2643 msnm ubicado en el sector oeste. El sentido de escurrimiento de las cuencas hidrográficas es de oeste-este, hacia el Río Agrio, que en este sector corre en dirección norte-sur, (Ver Mapa 2 del Anexo).

---

<sup>31</sup> Joly, F. La Cartografía. Colección ¿qué sé? Nueva Serie. Oikos-Tau S.A. Barcelona. Pág. 15.

Los cursos de agua que conforman las subcuencas son permanentes y poseen las mismas características de los ríos cordilleranos de la cuenca del Río Neuquén. Hidrológicamente se caracterizan por tener rápidas variaciones de caudales, debido a la estacionalidad de las precipitaciones que se concentran en la estación invernal, por los deshielos en primavera y por las marcadas pendientes topográficas.

Las cuencas superiores del Río Agrio ocupan el sector occidental del Departamento de Loncopué y un pequeño sector al sur del Departamento Ñorquín. Dada que la mayor superficie de estas cuencas, se localizan en el Departamento de Loncopué, se ha tenido en cuenta los datos estadísticos que caracterizan al mismo, considerando la población existente y las actividades económicas dominantes.

La población es principalmente dispersa, distribuidas en diferentes puestos y cascos de estancias. La única aglomeración urbana es la localidad de Loncopué, ubicada en la confluencia del Arroyo Loncopué con el Río Agrio. El total de la población de Departamento de Loncopué es de 6470 habitantes, estimación según Censo 2001<sup>32</sup>, de los cuáles 4266 habitantes corresponden a la localidad de Loncopué, cabecera de Departamento.

La principal actividad económica es la ganadería extensiva, predominantemente bovina, caprina y ovina. Esta actividad es desarrollada a través de grandes estancias, ubicadas en su mayoría en el sector este de las cuencas, sobre pendientes suaves y grandes áreas de mallines. En este sector predominan los grandes establecimientos con título de propiedad (99% de las EAP<sup>33</sup>) y tierras fiscales. La superficie implantada es de 124.232 Ha., según CNA 02<sup>34</sup>, existiendo una tendencia decreciente, dado que en los Censos Agropecuarios anteriores la superficie dedicada a la agricultura era de 465.009 Ha., para el año 1969 y luego descendió a 186.701 para el año 1988, considerando todo el Departamento de Loncopué. El cultivo predominante son las forrajeras perennes sobre las superficie implantada y los pastizales predominan sobre las superficies del departamento destinadas a otros usos.

En cuánto a las explotaciones dedicadas a la actividad agropecuaria, se han ido incrementando desde la década del año 70. Para el año 1992<sup>35</sup>, los bovinos eran 40.463, ovinos 24.354 y caprinos 108.262. Según en el CNA 2002, estos valores han ido disminuyendo, pero siguen siendo predominantes. En bovinos hay 18.103, ovinos 11.382 y caprinos 99.253, con un incremento en los últimos años de equinos, con 4.707 para el año 2002.

Según el Censo Nacional Ganadero de 1978, el departamento de Loncopué tenía un amplio predominio de caprinos. Ya en el año 1975, Loncopué y Chos Malal, eran los dos departamentos que concentraban el 27,4 % de los caprinos de la Provincia del Neuquén. "En general la carga que soportan los campos es muy

---

<sup>32</sup> Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2001. INDEC.

<sup>33</sup> Explotaciones Agropecuarias con límites definidos.

<sup>34</sup> Censo Nacional Agropecuario 2002. INDEC.

<sup>35</sup> Encuesta Pecuario 1992. INDEC.

alta, produciendo como consecuencia el debilitamiento del recurso natural. El efecto de la sobrecarga es mayor sobre todo con técnicas de manejo de ganado inadecuados, así como a la falta de infraestructura de alambrados, aguadas y pastores complementario<sup>36</sup>.

En esta zona que comprende las cuencas hidrográficas en estudio, (...) “La producción caprina adquiere generalmente un nivel de subsistencia y está sometida a problemas de comercialización del pelo y a las grandes fluctuaciones que tiene el mismo, controlado monopólicamente<sup>37</sup>”.

Considerando el ganado bovino, Loncopué en el 63% de sus explotaciones concentra entre 1000 a 5000 cabezas de ganado bovino<sup>38</sup>.

La actividad minera también se desarrolla en la zona, principalmente con la extracción de minerales no metálicos, como la Baritina, que hasta el 2001, era la extracción predominante, luego la extracción de Celestina<sup>39</sup>, mineral que se forma en rocas sedimentarias, principalmente calcárea. También se desarrolla la extracción de áridos.

### 3.1.5.a. Geología

El área de estudio es una zona geológicamente reciente de la Era Cenozoica, Período Terciario y Cuaternario como puede observarse en el Mapa 3 del Anexo. En todas las cuencas predominan en el aspecto litológico, los depósitos piroclásticos y coladas relacionadas con estratovolcanes, principalmente andesitas, basaltos, tobas, cenoconglomerados, basandesitas, etc., ocupando el 75% de la superficie total de las cuencas. Este tipo de rocas duras, tienen una mayor resistencia a la erosión hídrica, no así a la degradación físico-química.

Los basaltos ocupan el 15 % de la superficie de las cuencas y se localizan en el sector este de la mayoría de las cuencas, sobre alturas medias entre los 1000 y 800 msnm.

Sobre los valles y llanuras de inundación predominan principalmente las arenas, gravas y limos y dado que se trata de depósitos recientes, presentan una mayor susceptibilidad a la erosión, tanto por su escasa consolidación como su fina granulometría, ocupan una superficie de 5%.

El resto de los depósitos se corresponden con la presencia de drift glaciario y conglomerados que tienen un índice de resistencia menor que las rocas duras, tratándose de depósitos antiguos. El drift glaciario tanto estratificado como no estratificado, se localiza en un área pequeña de la cuenca Hualcupén, y es producto del acarreo y deposición glacial, glacialfluvial y glaciallacustre. En el caso de

<sup>36</sup> Director, De Jong, G., Investigadores: Capua, O., Cardone, M., Ciminari, M., Colantuono, M.R., Milán, S., Ramidán, G., Semorile, Z., Atlas Geográfico de la Provincia del Neuquén. Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Comahue y Consejo de Planificación y Acción para el Desarrollo (COPADE), Provincia del Neuquén. Julio 1982.

<sup>37</sup> *Ibidem* cita anterior.

<sup>38</sup> Censo Nacional Agropecuario 1975.

<sup>39</sup> Dirección Provincial de Minería. INDEC.

los conglomerados, gravas, bloques y arenas, son depósitos aterrazados productos de la acción fluvial.

En la Tabla 2 del Anexo, podemos observar que la mayor la superficie que ocupan cada uno de los aspectos litológicos, está caracterizada por Andesitas, basandesitas, areniscas, tobas, etc. que representan el 75,48% de la superficie total de las cuencas hidrográficas. Los basaltos por otra parte representan el 15,41% y las arenas, gravas y limos, menos del 5% de la superficie total.

### *3.1.5.b. Geomorfología*

De acuerdo a los aspectos geomorfológicos podemos determinar dos grande ambientes que predominan en estas cuencas: los basaltos cenozoicos que ocupan el 54 % de la superficie total de las cuencas, están distribuidos en el sector centro, y las serranías, localizadas hacia el sector occidental, ocupando el 33% de la superficie. Estas últimas se caracterizan por ser un sistema integrado por unidades del Mesozoico y varias formaciones intrusivas y efusivas. El Graben de Loncopué y Valle Longitudinal curso superior del Río Neuquén, ocupa el 11 % de la superficie y está localizado en el sector oriental, coincidente con el cierre de las cuencas hidrográficas y ocupando el valle del curso superior del Río Agrío, (ver Mapa 4, del Anexo).

### *3.1.5.c. Suelos*

En el sector este predominan los suelos de orden Entisol. Son suelos de muy incipiente desarrollo genético a nulo, por lo que es frecuente que carezcan de horizontes diagnósticos.

Estos suelos están poco alterados ya que en su mayoría predominan en ambientes áridos. En estas subcuencas se localizan en el sector centro-este sobre planicies aluviales pedemontadas, ocupando unas 112.856Ha., que se corresponden con el 59% de la superficie total de las cuencas. Estos suelos pertenecen al subgrupo ortentes dado que predominan los fragmentos gruesos o con texturas no arenosas.

En el sector oriental, en donde predominan las precipitaciones de invierno, los suelos entisoles tienen un régimen de humedad xérico, desarrollando un horizonte A1 con un leve incremento de materia orgánica.

El gran Grupo y subgrupo es Xerotentes típicos, con presencia de horizontes A1 y C, con texturas gruesas (franco arenosas – areno franca), siendo bien drenados o algo excesivamente drenados. El contenido de carbono orgánico rara vez supera el 1%. “Las limitaciones más importantes son la presencia de abundantes fragmentos gruesos y, a veces, pedregosidad. En otros casos, es la configuración topográfica la restricción más severa, sea porque se asocien aun paisaje escarpado o bien disectado. Otra restricción es el déficit hídrico estival”<sup>40</sup>.

---

<sup>40</sup> Ferrer, J.L., Irisarri, J.A., Mendía, J.M., Estudio Regional de Suelos. Consejo Federal de Inversiones. Secretaría de Estado del COPADE. Provincia del Neuquén. Volumen I Tomo 2. Pág 116.



Los suelos Inceptisoles, se localizan en el sector occidental de las cuencas, en donde las precipitaciones son más abundantes, por lo cuál se asocian con zonas húmedas o semihúmedas, localizados en relieves complejos de montañas y sierras rocosas con laderas abruptas. Estos suelos poseen una alteración y/o modificación de los materiales originarios, predominando lo subórdenes andeptes sobre toda la faja cordillerana. Ocupan una superficie de 51.591Ha. que se corresponde con el 27% de la superficie total y soportan principalmente vegetación boscosa y estepas herbáceo – arbustiva. Considerando su Grupo y subgrupo pertenecen a los Vitrandeptes mólicos, que poseen un horizonte A1 y C, desarrollados a partir de cenizas volcánicas postglaciales, con una ligera pedregosidad. Son débilmente estructurados y tiene elevados tenores de materia orgánica. “Las principales limitaciones de estos suelos son: déficit hídrico estival, susceptibilidad a la erosión, principalmente eólica, y las asociadas a las propiedades ándicas (retención de fosfatos, etc) (...)”<sup>41</sup>.

Existe un 1% de la superficie de suelo Aridisol, localizada sobre la llanura aluvial del valle del Río Agrio, en el cierre de la cuenca Manzano y Yumu Yumu. Este suelo se caracteriza por estar asociado a vegetación de estepa arbustiva muy rala, cono muy baja materia orgánica. “(...) en general se distribuyen sobre paisajes de mesetas basálticas, planicies levemente onduladas y disectadas y sobre depósitos inconsolidados mixtos, originados por procesos de remoción en masa”<sup>42</sup>. Se caracterizan por estar afectados casi todo el año a un acentuado déficit hídrico, existiendo en su superficie acumulaciones salinas, calcáreas o yesosas. El grupo y subgrupo dominante de este tipo de suelos es el paleargides xerálficos, que presentan una secuencia de horizontes A1, B2t, B3/Cca. “La principal limitación de estos suelos, exceptuando la climática, es la presencia de abundante grava en el perfil y, en menor medida, en su superficie”<sup>43</sup>, (ver Mapa 5 del Anexo).

#### 3.1.5.d. Vegetación

En la zona de estudio existen dos subregiones con características climáticas fisiográficas y de vegetación como puede observarse en el Mapa 6. En el sector centro y este de las cuencas predomina la región extra-andina, que se caracteriza por un clima semiárido, templado frío. Los vientos predominantes son del sector oeste y la vegetación predominante es la estepa herbácea, la estepa arbustiva y los semidesiertos de altura. Sobre los valles transversales y dada las condiciones de humedad y de las características geológicas del suelo, se desarrollan los mallines y/o vegas. En este sector las precipitaciones varían entre los 500 y los 800 mm siendo “(...) una faja de ecotono bosque – estepa de ancho variable, entre los

<sup>41</sup> *Ibidem* cita anterior, pág 132.

<sup>42</sup> Marcolín A., Lipinski V., Bran D., Nakamatsu V., Migrlora H., Metodología Regional del Proceso de Desertificación. Cap. Relevamientos de Suelos y Vegetación para creación del Distrito de conservación en los Lagos de San Martín y Viedma. Pág. 135. Facultad de Ciencias Agrarias. Dpto. Ecología y Facultad de Humanidades. Dpto. de Geografía. Universidad Nacional del Comahue 1984.

<sup>43</sup> Ferrer, J.L., Irisarri, J.A., Mendía, J.M., Estudio Regional de Suelos. Consejo Federal de Inversiones. Secretaría de Estado del COPADE. Provincia del Neuquén. Volumen I Tomo 2. Pág 101.

400 mm y los 800 mm anuales. Su relieve es muy quebrado y su geología variable. En ella se encuentran los pastizales de mayor valor pastoril de la Patagonia<sup>44</sup>.

En el sector oeste, se localiza la región andina, que se caracteriza por un clima húmedo, con precipitaciones que descienden hacia el sector oriental, desde los 2000 mm a 1000 mm anuales. El relieve es montañoso y la vegetación predominante son bosques densos, de coníferas, latifolios y mixtos.

Como no se cuenta con cartografía registrada por el momento, que evalúe el deterioro de la cubierta de vegetación en esta zona debido a los procesos erosivos, se utilizó material bibliográfico que permita una extrapolación de la cubierta vegetal de acuerdo a sus características florísticas y rasgos ecológicos. Por otra parte, mediante el cálculo del NDVI y la interpretación de los valores obtenidos de este Índice, se actualizaron las áreas de vegetación fácilmente reconocibles en la imagen. Para ello se utilizó la imagen Landsat para determinar los diferentes áreas según los tipos de vegetación, con la misma se pueden diferenciar claramente las áreas boscosas (con un NDVI cercano a 1) y las áreas mallinosas (con valores altos de NDVI) y además localizados sobre los valles a orillas de los arroyos que recorren las cuencas o sobre las planicies lávicas, "(...) la vegetación de estepa y semidesierto no es visible en las aerofotografías existentes por lo que la cartografía se realiza en forma indirecta, relacionando geoformas con las probables condiciones de suelo"<sup>45</sup>. Por otra parte los valores inferiores a 0, se los asoció con suelo casi o totalmente descubierto, roca o semidesierto de altura, los valores cercanos a cero, se los asoció a la Estepa Arbustiva Herbácea, (ver Mapa 7).

De acuerdo a la clasificación del deterioro de la vegetación realizada en la cuenca del Río Santa Cruz<sup>46</sup>, podemos estimar las diferentes coberturas de vegetación sobre el suelo, de acuerdo a la Tabla 3 del Anexo.

### 3.1.5.e. *Uso Actual de la tierra*

Como se puede observar en el Gráfico 1, el uso del suelo predominante en estas cuencas es la Estepa Herbácea con aptitud caprina, ovina y bovina, que es una actividad pecuaria que se desarrolla en forma extensiva. El 71% de la superficie total de las cuencas está destinado a este uso de la tierra y se localiza en la mayor parte de las cuencas, en el sector centro-este.

El otro uso que le sigue en porcentaje de superficie ocupada (14%), son las áreas semidesérticas de altura, que se corresponden con zonas superiores a los 2000 mts. de altura, sobre terrenos rocosos. Los mallines y vegas distribuidos en todas las cuencas sobre los valles de los arroyos que las conforman, ocupan el 6,5% de la superficie total de las mismas. "Los mallines son zonas cóncavas de una depresión, donde está presente el agua superficial producto del escurrimiento

<sup>44</sup> Movia. C. Metodología Regional del Proceso de Desertificación. Cap. Metodologías Aplicables a la Evaluación de la Desertificación de la Patagonia. Pág. 158. Facultad de Ciencias Agrarias. Dpto. Ecología y Facultad de Humanidades. Dpto. de Geografía. Universidad Nacional del Comahue 1984.

<sup>45</sup> Movia. C. Metodología Regional del Proceso de Desertificación. Cap. Metodologías Aplicables a la Evaluación de la Desertificación de la Patagonia. Pág. 169. Facultad de Ciencias Agrarias. Dpto. Ecología y Facultad de Humanidades. Dpto. de Geografía. Universidad Nacional del Comahue 1984.

<sup>46</sup> *Ibidem* cita anterior. Cuadro 4: Deterioro de la Vegetación en la cuenca del Río Santa Cruz. Pág. 171.

hacia un cauce principal, que generalmente corre por el medio del mallín y el agua subterránea a través del aporte de la napa freática. Si por efecto de la erosión hídrica, eólica y por el pisoteo, el cauce principal del mallín se profundiza, la napa freática desciende, disminuyendo el aporte de humedad al mallín<sup>47</sup>. Según el Censo Nacional Agropecuario, la cantidad de mallines que existen en todo el departamento son 91, de los cuáles 81 de los mismos son mallines permanentes y dulces. El principal manejo de los mismos es, sin discriminar manejo y para pastoreo<sup>48</sup>.

Los bosques por otra parte, ocupan el 4,5% de las superficies de las cuencas hidrográficas sobre el sector occidental, coincidentemente con las mayores precipitaciones, a partir de la isohieta de 1000 mm y sobre pendientes mas abruptas, (Ver Mapa 8 en el Anexo).

### 3.1.6. Evaluación de la Erosión Hídrica

Para la evaluación de la degradación de los suelos se aplicará la metodología desarrollada por la FAO, en particular para el estudio de erosión hídrica. En esta misma se utiliza un sistema paramétrico con valores cuantitativos y una ecuación general. Para el cálculo se utiliza la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (E.U.P.S.), que se expresa en toneladas/hectáreas/año

$$A = E. K. P. U$$

Siendo sus parámetros:

**A** = Pérdida de suelo (ton/ha/año)

**E** = Índice de Erosividad

**K** = Índice de Erodabilidad

**P** = Índice de Pendiente

**U** = Índice de Usos de Suelo

#### 3.1.6.a. Erosividad de las Precipitaciones (E)

Para la determinación de la erosividad de las lluvias, se consideraron los datos de 10 años de registro de las precipitaciones en 5 estaciones meteorológicas localizadas en el área de estudio.

En la Tabla 4, pueden observarse las medias mensuales y la media anual de cada Estación Meteorológica considerada.

El índice que se aplicó es el Índice Modificado de Fournier (1977). "Este índice está asociado con la capacidad de la precipitación de provocar erosión

<sup>47</sup> Cappelletti V., Aplicación de un Sistema de Información Geográfico para el análisis del Riesgo y Estado de Erosión en cuencas Hidrográficas de la Patagonia Argentina. Trabajo Fin de Master. UNIGIS Girona. Promoción 9. Universitat Girona. 2009.

<sup>48</sup> INDEC, Censo Nacional Agropecuario 2002. El período de referencia del CNA 2002 es el comprendido entre el 1° de Julio de 2001 y el 30 de Junio de 2002.

hídrica<sup>49</sup>, y considera la precipitación media mensual (mm) y la precipitación media anual (mm) de cada estación hidrometeorológica.

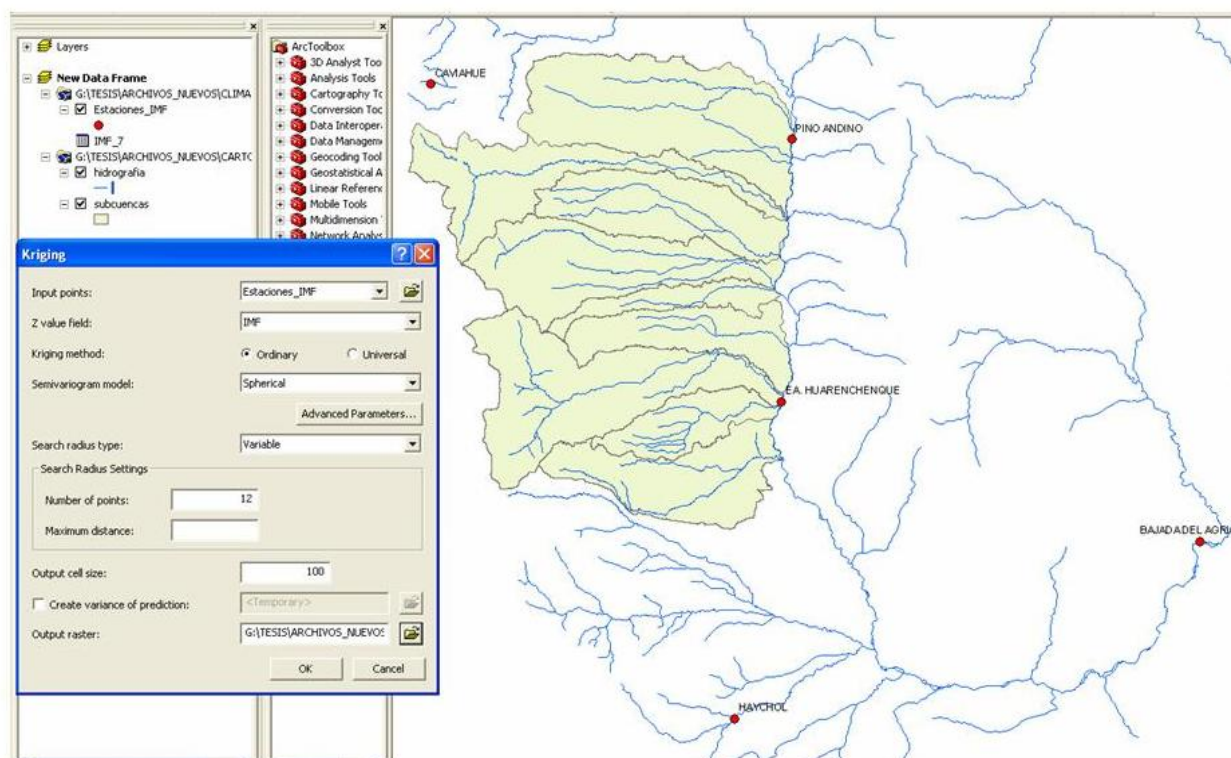
$$E = f(\epsilon p^2 / P)$$

donde  $p$  = precipitación media mensual (mm) y  $P$  = precipitación media anual (mm).

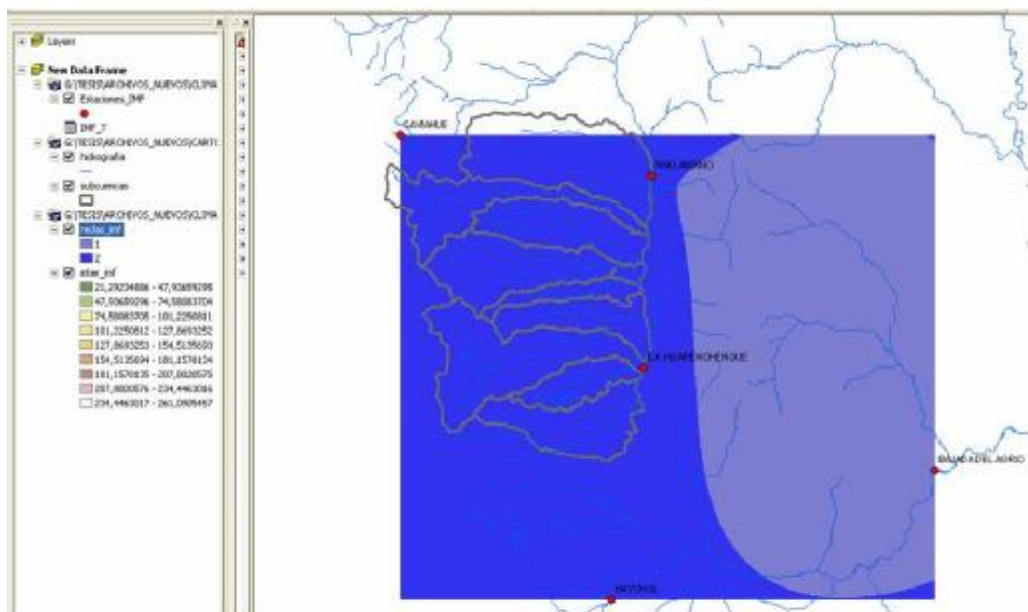
A este índice se lo valoró de acuerdo a la Metodología FAO:

Clase 1	0 - 50	Ligero
Clase 2	50 - 500	Moderado
Clase 3	500 - 1000	Alto
Clase 4	Mayor a 1000	Muy Alto

Para poder tener una distribución areal de la erosividad de las precipitaciones en la zona de estudio, se realizó una interpolación Kriging con los valores obtenidos para cada estación, con el Módulo Spatial Analyst.



<sup>49</sup> CAZALAC, Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y El Caribe. Programa Hidrológico Internacional. Zonificación de los Regímenes Hídricos de América Latina y el Caribe desde una Perspectiva Climática. México 2006.



Una vez realizada la interpolación de los datos de IMF, se los agrupó de acuerdo a la siguiente valoración:

	X	Y	IMF	Valoración	
Pino Andino	2360563	5801651	54,99	50 - 500	2
Ea. Huarenchenque	2359310	5770233	67,34	50 - 500	2
Haychol	2353712	5732339	75,14	50 - 500	2
Bajada del Agrio	2409912	5753499	22,34	0 - 50	1
Caviahue	2316965	5808242	261,10	50 - 500	2

Como puede observarse en el Mapa 9 del Anexo, si bien se diferencian dos grupos de clase, en los límites de las cuencas en estudio predomina el Grupo 2 (de 50 a 500), por lo cuál se considerará como erosividad de las precipitaciones en todo el sector, la clase Moderado.

### 3.1.6.b. Erodabilidad del Suelo (K)

Este factor expresa la influencia de la textura, permeabilidad y cantidad de materia orgánica. Generalmente son menos erosionables los suelos profundos permeables de arenas gruesas siendo más erosionables aquellos suelos arenosos y pocos profundos. Para el cálculo de la erodabilidad del suelo, se consideró la textura del horizonte superficial y el porcentaje de materia orgánica presente en el suelo dominante, asumiendo que es del 8%.

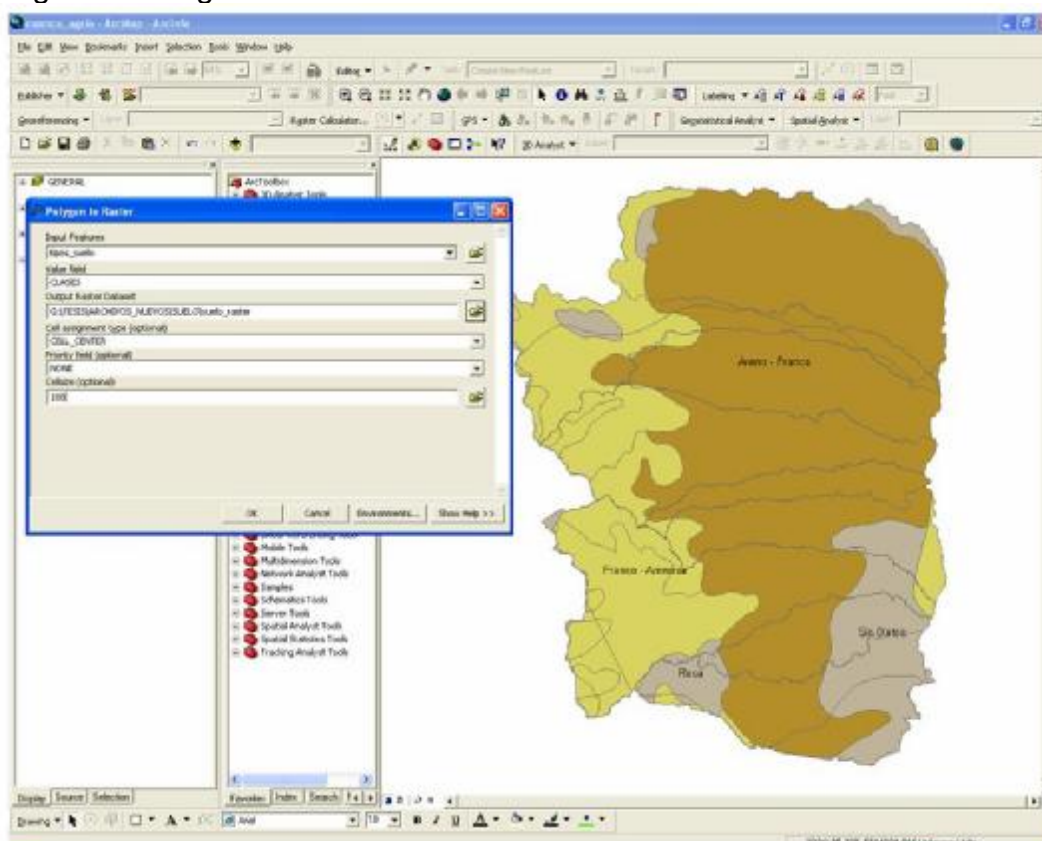
De acuerdo a las texturas predominantes en las cuencas, domina en el sector centro-oriental la textura arena – franco, siendo moderadamente erosionable y ocupando una superficie de 112.856 Ha. La textura Franco – Arenosa, con una clase altamente erosionable, ocupa una superficie 53.538 Ha, y dominado en el sector occidental de las cuencas. El resto de la superficie se corresponde a roca o

no se cuenta con datos. Para esta tipo de clasificación se le asignó una clase de baja erosionabilidad.

Coefficiente de Erodabilidad del Suelo (K)

Textura	Descripción	Coefficiente	Clase
Roca – Sin datos	Ligeramente Erosionable	-	1
Areno - Franco	Moderadamente erosionable	0.06	2
Franco - Arenoso	Altamente Erosionable	0.12	3

Luego de la asignación se convirtió el archivo vectorial al raster.

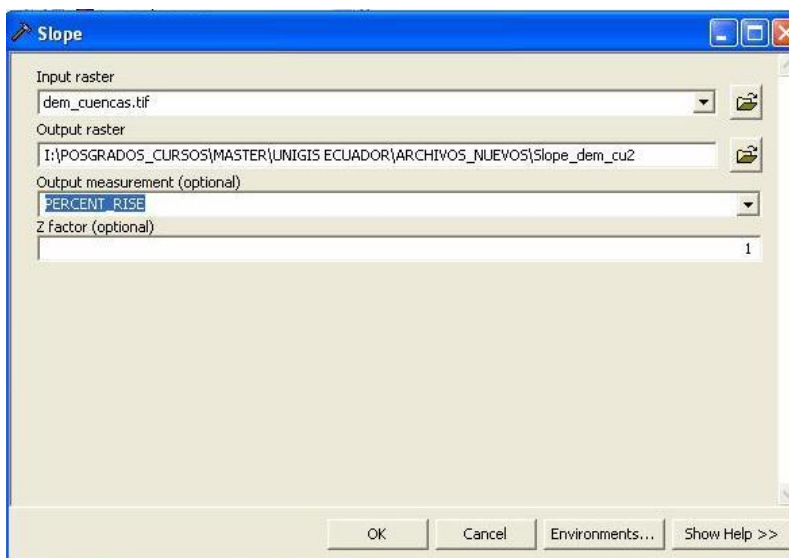


El mapa con las clases de erodabilidad de suelo puede observarse en el Mapa 10 del Anexo.

### 3.1.6.c. Índice de Pendiente (P)

Para el cálculo de pendiente se aplicó con el Módulo Spatial Análisis, Slope, en porcentaje.

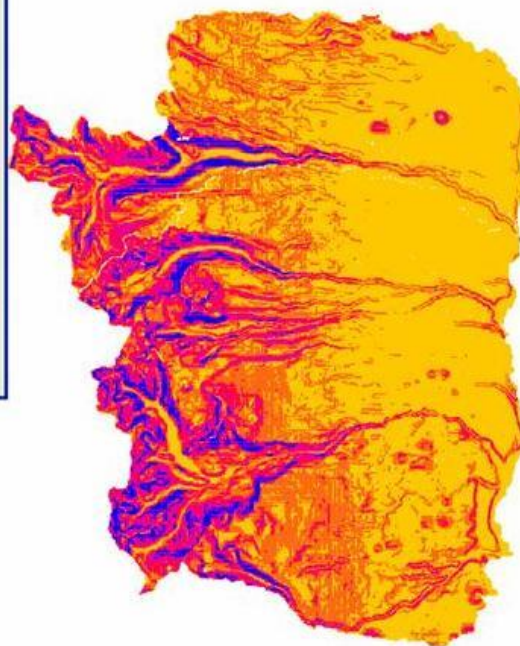
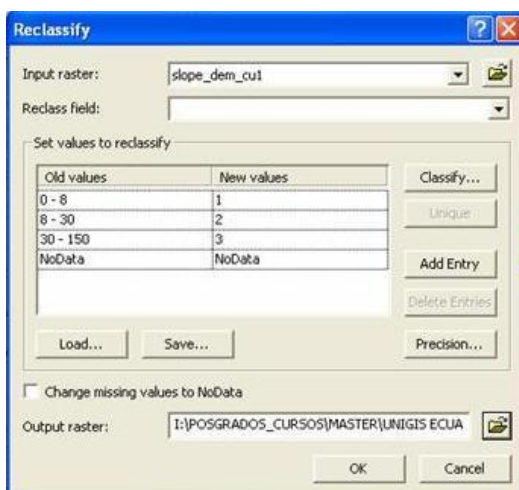




La valorización que se aplicó a la zonificación de pendientes

Declive %	0 – 8 %	8 – 30 %	> 30%
Valorización	0.35	3.5	11

Para ello se reclasificó de acuerdo a los porcentajes de pendientes, en 3 clases: correspondientes a suaves - muy suaves (0.35), pendientes intermedias de moderadas a pronunciadas (3.5) y pendientes muy pronunciadas a escarpadas (11). Para ello se aplicó reclass y se reclasificaron 3 clases de pendiente de acuerdo a los porcentajes establecidos.



La zonificación de las pendientes puede observarse en el Mapa 11 del Anexo.

### 3.1.6.d. Índice de Usos de Suelo (U)

Los coeficientes se asignaron en función del tipo de vegetación dominante y su grado de cobertura.

Coeficiente de Uso del Suelo

Tipo de Vegetación	Porcentaje de Cobertura Vegetal del Suelo					
	0-1	1-20	20-40	40-60	60-80	80-100
1- Prados, pastos y pastizales	0.45	0.32	0.20	0.12	0.07	0.02
2 – Bosque con soto-bosque apreciable	0.45	0.32	0.16	0.18	0.01	0.006
3 – Bosque sin soto-bosque apreciable	0.45	0.32	0.2	0.2	0.06	0.01

Considerando los porcentajes de cobertura de vegetación analizado anteriormente. El coeficiente para cada tipo de vegetación es: para prados, pastos y pastizales, se consideró el semidesierto 0.20, la Estepa Herbácea Arbustiva como 0.12, las Vegas y Mallines como 0.07. El Bosque Ralo y Mixto como Bosque sin soto-bosque apreciable, 0.06 y el Bosque de Latifoliadas y de Coníferas como soto-bosque apreciable, 0.006. El resultado puede observarse en Mapa 12.

### 3.1.6.e. Erosión Hídrica Actual (A)

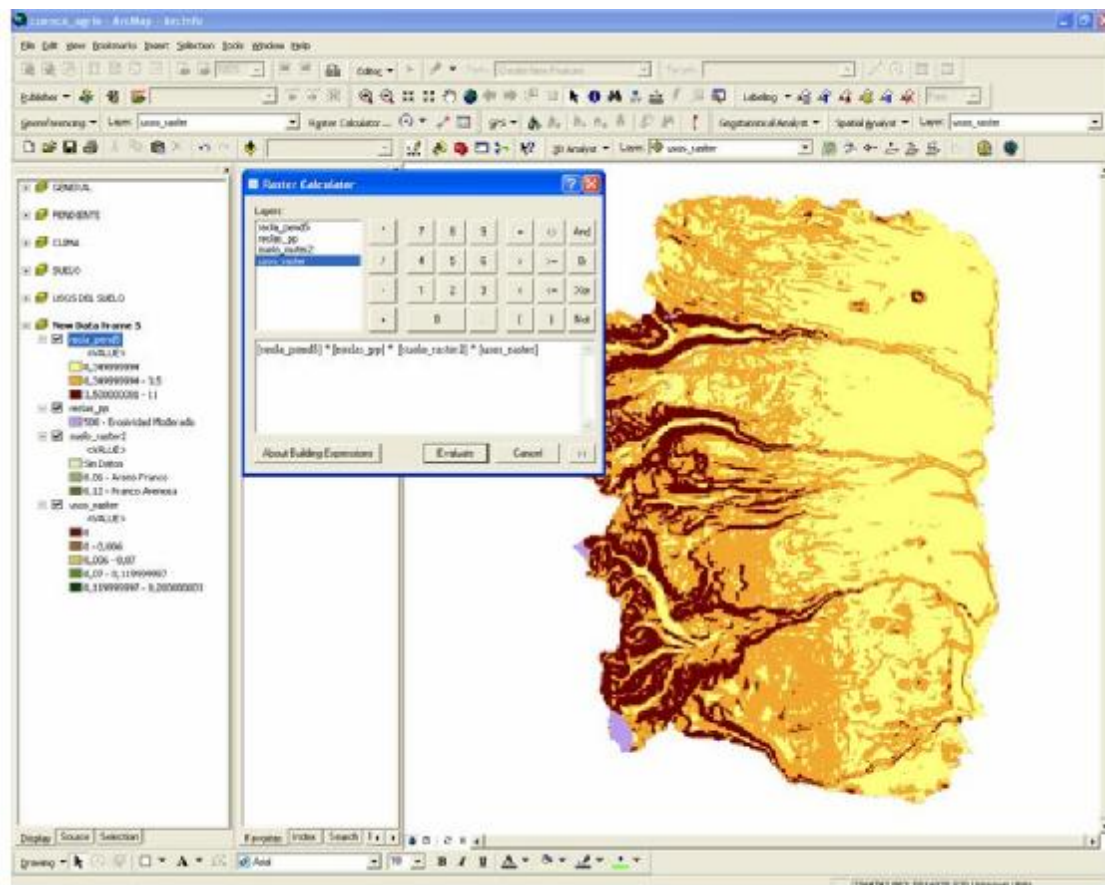
Jerarquización de los valores de pérdida de suelo (FAO 1980)

Clase	Ton/Ha/Año
Clase 1: Nula	0 - 11
Clase 2: Leve	11 - 22
Clase 3: Moderada	22 - 33
Clase 4: Moderadamente Alta	33 - 44
Clase 5: Alta	44 - 200
Clase 6: Muy Alta	Más de 200

Se aplicó el siguiente coeficiente de Pérdida de suelo (ton/ha/año), con la herramienta Raster Calculation, donde se multiplicaron los 4 mapas (agresividad climática, erodabilidad del suelo, zonificación de pendientes y usos del suelo), para determinar la Erosión Hídrica Actual.

$$A = E \cdot K \cdot P \cdot U$$



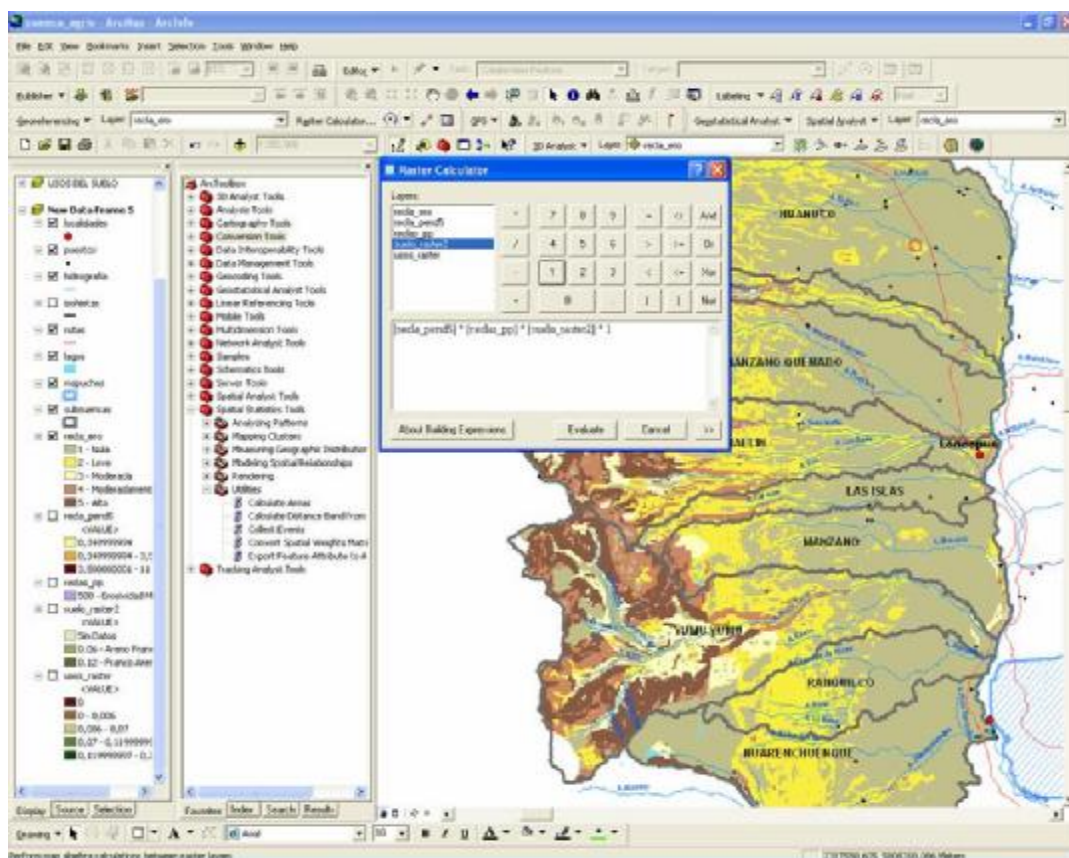


El resultado puede observarse en el Mapa 13 de Erosión Hídrica Actual.

### 3.1.6.f. Erosión Hídrica Potencial (AP)

Del mismo modo que el cálculo de la Erosión Hídrica Actual, pero considerando al coeficiente Usos del Suelo (U), con valor 1 en todos los casos, es decir, el suelo sin cobertura vegetal, se calculó el coeficiente de Erosión Hídrica Potencial.

$$AP = E. K. P. 1$$



El Mapa resultado puede observarse en el Anexo, Mapa 14.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Erosión Hídrica Actual

De acuerdo a los resultados obtenidos de los coeficientes y observando el Mapa de Erosión Hídrica Actual y la Tabla 5, se puede determinar que:

φ De los valores de erosión hídrica actual, no se encuentran valores de la Clase 6: Muy Altos de erosión en las cuencas hidrográficas.

φ Que el 53, 11% de la superficie de las cuencas tiene coeficiente nulo de erosión hídrica y se localiza principalmente en el sector oriental de las cuencas hidrográficas en su desembocadura con el Río Agrio. Es un sector que predominan las pendientes suaves (menores al 8%), con alturas que no superan los 1000 msnm. El uso del suelo es principalmente de estepas herbáceas, herbáceas-arbustivas con aptitudes para el ganado Bovino, Caprino y Ovino, y con la presencia de vegas y/o mallines de grandes extensiones, localizados sobre las planicies lávicas. Las precipitaciones promedio son de 500 mm anuales, (ver Mapa 13).

φ Los valores leves de erosión hídrica ocupan el 22,77% de la superficie de las cuencas. Estos valores leves de erosión se localizan principalmente en el sector

medio de las cuencas. Si bien el uso del suelo y el tipo de suelo, es el mismo que en el sector oriental de las mismas, (sobre planicies lávicas), el factor que contribuye a incrementar el riesgo de erosión hídrica, son las pendientes y la agresividad climática. Sobre este sector las pendientes son moderadas (entre el 8% y el 30%), sobre alturas que van desde los 1000 y a los 1600 msnm y las precipitaciones son más abundantes, registrando medias entre los 1000 y 800 mm anuales.

φ El 10% de la superficie de las cuencas presenta un alto nivel de erosión hídrica. Estos valores se registran en el sector occidental, donde se incrementa la altitud y localizados principalmente sobre las nacientes de los arroyos, en las laderas de los estrechos valles transversales que recorren las cuencas. Las cuencas que presentan mayor superficie afectada por valores altos de erosión, son Hualcupén, Buta Mallín y Yumu Yumu. Estas cuencas en su divisoria de aguas occidental, coinciden con porcentajes de pendientes superiores a los 30% (pronunciadas) y las mayores precipitaciones cuyas medias anuales son de 1000 mm a 1500mm a medida que nos acercamos al límite oeste. En cuánto al uso del suelo encontramos bosque ralo y latifolios y semidesiertos de altura. Si bien en algunos casos la cobertura del suelo es superior al 80%, el factor que mayor incidencia tiene en contribuir a la erosión son las pendientes de los valles estrechos.

φ Los valores Moderadamente Altos de Erosión Hídrica se registran en el 8,5 % de la superficie de las cuencas y se localizan también en el sector occidental. En este sector predominan las pendientes pronunciadas, con un uso de suelo de semidesierto de Altura.

φ De acuerdo al porcentaje de superficie afectada por subcuencas (Tabla 6), se observa que en todas las subcuencas predominan las superficies con nula erosión hídrica actual, a excepción de la cuenca del Arroyo Ranquilco, en que la erosión es moderada.

φ Tanto la cuenca Yumu Yumu como Hualcupén, poseen además de un alto porcentaje de erosión nula, más del 20% de sus superficies registra valores altos de erosión hídrica.

φ El resto de las subcuencas poseen valores moderados de erosión hídrica, en casi todas superan más del 20% de su superficie.

φ Es importante destacar que si consideramos los valores más altos de erosión hídrica registrados, en este caso las clases 4 y 5 (moderadamente alta y alta), sólo en las subcuencas de Hualcupén, Buta Mallín y Yumu Yumu, casi el 40% de la superficie de las mismas, presentan estos valores altos de erosión hídrica.

φ En todas las subcuencas predominan los valores de erosión hídrica de nula a leve, a excepción de Yumu Yumu, ya que en todas ellas estos valores se registran en más 50% de sus superficies. Siendo la cuenca de Manzano Quemado, la que menos erosión hídrica presenta, dado que registra el 76,20% de su superficie con nula erosión, (ver Gráfico 2).

## 4.2. Erosión Hídrica Potencial

La erosión hídrica potencial permite determinar cuáles son aquellas áreas, que si bien por el momento no evidencian rasgos erosivos, son más susceptibles a que se produzcan procesos erosivos, (Ver Mapa 14).

φ En el Gráfico 3 del Anexo, podemos observar que sobre el total de las cuencas hidrográficas en estudio, casi el 50% de las superficies de las mismas no son áreas potencialmente erosionables. De acuerdo al Mapa de Erosión Hídrica Potencial estas áreas se localizan en el sector oriental de las cuencas, sobre las planicies lávicas. En este sector predominan pendientes suaves, de estepa herbácea de aptitud ganadera, con una cubierta vegetal entre el 40% y el 60%. Las precipitaciones varían de oeste a este entre los 800 mm y 500 mm anuales, y el suelo predominante es Entisol. Esta zona de nula erosión hídrica potencial coincide prácticamente con nula erosión hídrica actual.

φ Tanto la erosión hídrica potencial Leve, Moderada y Moderadamente Alta, no se registran valores de afectación significativa en la superficie de las cuencas hidrográficas.

φ El 27% de las superficies de todas las cuencas hidrográficas son Muy Altamente susceptibles a los procesos erosivos hídricos. Estos valores se registran en el sector occidental de las mismas, principalmente sobre las Cuencas Hualcupén, Buta Mallín y Yumu Yumu, que tienen una gran extensión transversal. En las mismas la Erosión Hídrica Potencial afecta más del 60% de sus superficies (caso de Yumu Yumu y Hualcupén) y del 45% en la cuenca de Buta Mallín.

φ Sobre el sector occidental de las cuencas, las pendientes son muy pronunciadas, las precipitaciones varían entre los 1200 mm y 1000 mm anuales y los suelos predominantes son inceptisoles. La cobertura de vegetación es entre el 70 y el 80% del suelo en el sector de bosques y de los cursos superiores de agua y en algunos casos la cobertura es nula, porque existen formaciones rocosas, en la que sobresalen formaciones de andesitas, tobas y conglomerados.

φ También encontramos una susceptibilidad alta a la erosión hídrica, en los sectores medios de las cuencas, principalmente sobre los valles transversales y estrechos que forman los arroyos que dan origen a estas cuencas hidrográficas. Ocupando una superficie total del 22%.

φ Las cuencas que tienen una alta susceptibilidad a la erosión hídrica que podría afectar en más del 25% de sus superficies, son las cuencas de Ranquilco, Huarenchenque, Las Islas y Buta Mallín, como puede observarse en el Gráfico 4, del Anexo.

φ Sólo la cuenca de Huanuco presenta más del 50% con riesgo de una erosión hídrica potencial.

### **4.3. Porcentaje de Superficie de Usos del Suelo afectada por Erosión Hídrica Alta y por Erosión Hídrica Potencial Alta y Muy Alta.**

De acuerdo al Gráfico 5, se puede observar que las superficies más afectadas por una erosión hídrica alta, son las que se corresponden con el uso del suelo predominante de las cuencas. El semidesierto de altura, que abarca el 51% de la superficie y con el 42% para la estepa herbácea con aptitud para la actividad agropecuaria. Es importante destacar que la estepa herbácea tiene una mayor superficie afectada a la Erosión Hídrica Potencial, observando el Gráfico 6, en donde existe un significativo incremento de la superficie 69%. Si tenemos en cuenta los valores absolutos de la superficie afectada por Erosión Hídrica Alta y los comparamos con los valores absolutos de la afectación por Erosión Hídrica Potencial Alta a Muy alta, estos valores se incrementan significativamente. (Ver Gráfico 7).

La Estepa Herbácea es el uso del suelo más comprometido, es una formación vegetal con predominio de hierbas no gramíneas, que dejan entre ellas suelo desnudo, esta es utilizada principalmente para uso ganadero. El deterioro de la estepa a causa de procesos erosivos, se evidencia mediante una disminución de la cobertura vegetal y del número de plantas, en la desaparición de las especies forrajeras y por ende, en la disminución de la oferta forrajera.

Esto significa que en un futuro puede verse comprometida la aptitud del suelo para el desarrollo de la actividad agropecuaria, sino se revierten prácticas que tiendan a minimizar los efectos de la erosión hídrica.

“Mantener estable la capacidad forrajera de cada cuadro de pastoreo es mantener el capital. Muchos productores consideran erróneamente que el capital es la hacienda y las mejoras hechas en el campo. El pastizal nativo forrajero del campo es el Capital Básico con que cuenta el ganadero. Sobre este capital puede construir lo demás. Pero si este capital va desapareciendo lenta pero inexorablemente, también será inevitable la desaparición de la empresa como tal. Este es un fenómeno muy común que se está dando en Santa Cruz, Chubut, Río Negro y Neuquén. La errónea estimación del valor forrajero de los campos condujo a la asignación de cargas animales equivocadas y esto trajo como consecuencia la pérdida de receptividad que, en puede llegar a ser irreversible<sup>50</sup>”.

Hay que considerar también, que los mallines localizados sobre las cuencas hidrográficas, constituyen el recurso forrajero más abundante y de mejor calidad, que no se vería comprometido significativamente con los procesos de Erosión Hídrica. Esto permitiría suponer que el pastoreo del ganado en forma extensiva y sin control, es el que esta provocando procesos erosivos sobre la estepa, más que

---

<sup>50</sup> Ing. Agr. Msc. Nakamatsu, V. **Evaluación Del Pastizal Natural En Campos De Meseta**. 2003. E.E.A INTA Esquel Carpeta Técnica, 12/03.

sobre los sectores con mallines. A este accionar hay que agregarle que los procesos erosivos mayores se registran sobre sectores de mayores pendientes y de precipitaciones altas (cuencas superiores), lo que contribuyen a incrementar los riesgos hídricos, sobre suelos con alta potencialidad al deterioro de su cubierta vegetal.

## **5. DISCUSION / ANALISIS DE RESULTADOS**

### **5.1. En relación a las Técnicas**

Teledetección: La gran disponibilidad de imágenes satelitales como fuente de datos primarias, nos proporciona como grandes ventajas, la objetividad, la periodicidad y la eficiencia.

La resolución temporal que puede tener un sensor, es decir su periodicidad, facilita obtener información situaciones presentes y pasadas, en este caso se utilizó una imagen del Satélite Landsat, cuya frecuencia es de 16 días.

Este satélite, de resolución espacial media 30 mts. \* 30 mts. cada píxel, es muy utilizado para el estudio del estado de la vegetación a escalas espaciales medias (entre 1:250.000 y 1:100.000).

La objetividad de los datos, se obtiene ya que los sensores captan la energía que irradia la tierra y la convierten en datos digitales. Una imagen es la representación de un objeto real de la superficie terrestre. Matemáticamente, se trata de una matriz numérica bidimensional sobre la que se opera para extraer la información que contienen los datos originales. La imagen Landsat, utilizada en el presente trabajo corresponde a un sensor óptico, que a partir de un sistema de lentes y espejos mide la radiación reflejada de cada elemento de la superficie terrestre mediante un escaneador whiskbroom. Con las imágenes se pueden realizar distintos estudios desde corrección radiométrica y geométrica hasta el análisis espectral de cada píxel (mediante los procesos de clasificación supervisada o no supervisada y la post-clasificación).

La eficiencia del procesamiento digital de esos datos, está dada porque en la actualidad existen programas de tratamiento digital de imágenes de satélite, diseñados específicamente para el estudio de los recursos naturales terrestres, que corren sobre ordenadores de tipo PC y que son compatibles con la mayoría de los software diseñados como Sistemas de Información Geográfica.

En el presente trabajo se implementó un método de análisis cualitativo de la vegetación mediante un algoritmo entre dos de las bandas que componen la imagen satelital. Es decir que se implementó el cálculo de NDVI (Normalized difference vegetation index), mediante una operación matemática, considerando los valores discretos de los píxeles ubicados en la misma posición. Este índice permite diferenciar: las áreas con vegetación y las áreas sin vegetación, tipos y clases de vegetación, evaluar el contenido hídrico de las plantas y evaluar el contenido de algas en las aguas. En este trabajo los valores de NDVI, permitieron redefinir y actualizar los límites del mapa de vegetación existente (diferenciando vegetación

de no vegetación), mediante una imagen satelital. Sin embargo, no se pudieron estimar los porcentajes de coberturas de suelo, una de las variables más importantes para el cálculo de erosión hídrica. Esto se podría lograr mediante un muestreo de campo donde se estime el grado de cobertura del suelo para cada tipo de vegetación y mediante este muestro, se pueda extrapolar la cubierta vegetal de toda el área de estudio.

En cuanto a los Sistemas de Información Geográfica, destacamos las principales ventajas de este sistema de herramientas que permite la combinación de bases de datos alfanuméricas y gráficas.

De acuerdo a la definición de Burrough (1986), es un conjunto de herramientas que permite:

1) Capturar datos. El sistema permite la importación y exportación de ficheros en distintos modos y formatos, codificando digitalmente las entidades geográficas y sus atributos. La mayoría de operaciones SIG requieren el uso de una combinación de los dos tipos de fuentes de datos primarias y secundarias. Esto requirió la conversión de los datos a modelos y estructuras compatibles al software utilizado, para que se pueda almacenar, editar, recuperar, analizar y extraer todos ellos con independencia de su origen.

2) Almacenar. Esto implica la capacidad de recuperar los datos a voluntad, cambiar automáticamente de escala de trabajo, interrelacionar distintos datos almacenados entre sí.

3) Transformar los datos en información. Cuenta con las funciones necesarias para operar con los datos almacenados en el sistema y generar información útil para el usuario. En el presente trabajo el módulo de análisis espacial fue el más utilizado, además de ser uno de los componentes principales del SIG, ya que añade valor a los datos geográficos y permite, mediante diferentes operaciones transformar esos datos en información.

4) Desplegar datos espaciales. Permite visualizar, generar e imprimir, a escala, por distintos puertos de salida.

“(…) Las aplicaciones de un Sistema de Información Geográfico, estarán apoyadas siempre en diferentes combinaciones de los conceptos como Localización, Distribución Asociación, Interacción, y Evolución (...), dependiendo del tipo de análisis que se esté realizando”<sup>51</sup>.

Es decir que no sólo a través de los SIG podemos representar los elementos de la superficie terrestre en formato digital y establecer relaciones entre estos elementos a partir de la intervención del usuario. También los SIG nos permiten crear modelos de datos y estructuras, para una mayor eficiencia e interoperabilidad entre los elementos que conforman la estructura, así como la visualización de los

---

<sup>51</sup> Buzai, G.D. 2010. Los Sistemas de Información Geográfica en la Investigación científica actual. (Capítulo 4). En: Buzai, G.D. (Ed.) Geografía y Sistemas de Información Geográfica. Aspectos conceptuales y aplicaciones. Universidad Nacional de Luján – GESIG. Luján. pp. 83-97.

datos geográficos y la implementación de diferentes herramientas de análisis espacial.

“Los métodos son procedimientos independientes o normas para llevar a cabo diferentes tareas relacionadas con el diseño, creación y funcionamiento de los SIG”<sup>52</sup>. Por tal motivo es el método empleado el que determina la calidad del resultado obtenido, dado que especifica los procedimientos lógicos y las acciones llevadas a cabo.

A menudo los SIG son complicados de usar de forma efectiva y eficiente, dado que pocas veces se utiliza todo su potencial. Tener una perspectiva espacial del problema a estudiar añade valor a las actividades humanas y a la toma de sus decisiones y por ende a la práctica del uso del SIG. La perspectiva espacial es una variable más para la resolución de problemas de un determinado espacio geográfico.

“La utilización de la tecnología en el tratamiento y la resolución de problemas espaciales abre nuevas oportunidades. Entre otras ventajas, las tecnologías permiten la facilidad de almacenaje, actualización, consulta, manipulación, copia y visualización de la información. Los SIG permiten realizar estas operaciones de forma más fácil y efectiva”<sup>53</sup>.

En la actualidad las aplicaciones SIG sirven de gran utilidad en la gestión del medio ambiente y la planificación territorial, porque facilitan las herramientas necesarias para lograr la conjunción de diferentes variables ambientales (a partir de un análisis espacial) y poder establecer un diagnóstico del medio ambiente. La identificación del problema es la primera fase de la Planificación Territorial, los SIG, permiten mediante la superposición y otras formas de manipulación de la información, combinar datos y observar sus interrelaciones (Bosque Sendra 1996). Además mediante aplicaciones de las herramientas del SIG también se puede realizar la evaluación y la valoración de los impactos producidos a partir de un determinado problema, como así de simular diferentes escenarios de gestión frente a distintas problemáticas ambientales.

“La planificación territorial supone, principalmente, el establecimiento de los usos más apropiados para cada porción del territorio. La decisión sobre cuáles son estos usos depende, entre otros factores, de razones y criterios derivados de la conservación del ambiente natural y debe tener en cuenta tanto la vocación "intrínseca" de cada punto del territorio, determinada por su aptitud para cada uso o actividad, como el impacto potencial que tendrá sobre el medio ambiente la realización de una determinada actividad en ese punto del territorio”<sup>54</sup>.

Es importante destacar, entonces, que es el usuario el que permite que este sistema funcione como tal, como un sistema de base de datos relacional y no como

---

<sup>52</sup>Turbau E., Introducción a los Conceptos y Operaciones Fundamentales. Lección 4: Componentes y Funcionalidades de los SIG. UNIGIS Girona. 9na. Edición 2006. Pág. 4.

<sup>53</sup> Turbau E, Strobl J., Resl R., Módulo 1: Introducción a los Sistemas de Información Geográfica. Programa Académico “Diplomado Avanzado Internacional en SIG”, UNIGIS Professional. Edición 2007. Pág. 30.

<sup>54</sup> Bosque Sendra J., García R., “El uso de los Sistemas de Información Geográfica en la Planificación Territorial”. Anales de la Geografía en la Universidad Complutense. 2000, 20: 49-67. ISSN: 0211-9803.



una herramienta solamente de almacenamiento de datos gráficos y alfanuméricos. La implementación de la metodología de Degradación de Suelos de la FAO, permitió relacionar diferentes parámetros del territorio y poder hacer una estimación de procesos de erosión hídrica actual y potencial, en determinadas cuencas hidrográficas.

## 5.2. En relación al Método

La necesidad de realizar diagnósticos preventivos de las condiciones del suelo de las cuencas hidrográficas, genera el impulso de promover políticas de planificación en cuánto al uso del mismo, ya que la erosión hídrica es uno de los problemas más relevantes desde el punto de vista ambiental y socioeconómico en las cuencas hídricas.

“Los modelos de erosión hídrica han sido diseñados para predecir y controlar alteraciones en las condiciones del suelo debido a la erosión superficial, que puede darse tanto en forma natural como provocada por las actividades humanas”<sup>55</sup>.

A lo largo de los años se han ido desarrollando una amplia variedad de metodologías para el estudio de la Erosión Hídrica. Los métodos más utilizados se clasifican en cualitativos o cuantitativos, de acuerdo al resultado que brindan.

El método cualitativo es aquel que evalúa el riesgo de erosión, mediante la elaboración de cartografía temática. “Consiste en la elaboración de mapas, cada uno de los cuáles representa el comportamiento espacial de un factor determinado. La síntesis de los mismos nos ofrece las características de los procesos erosivos presentes (...). Han sido propuestas diferentes metodologías para la elaboración de mapas de riesgos de erosión (ITC, 1979; ICONA, 1982; Alvadalejo et al., 1988; CORINE, 1992, RIVM, 1992; PAP/RAC, 1997; Rafaelli, 2003, entre otras (...))”<sup>56</sup>. Este método se aplicó en las cuencas hidrográficas mediante el desarrollo de la Metodología ICONA, en el Trabajo Final de Master Unigis, Girona<sup>57</sup>.

Por otra parte “los métodos cuantitativos pueden estimar las pérdidas de suelo por erosión mediante evaluaciones directas e indirectas”<sup>58</sup>. Como método directo más conocido es el de USLE que requiere necesariamente una serie de muestreos de campo, para estimar Tasa de Pérdida de Suelo. Según una crítica realizada por Hudson (1980), es difícil poder extrapolar este método, ya que “(...) la

<sup>55</sup> Aguilo A., Aramburu Maqua, M., Blanco Andray, A., y otros. Guía para la Elaboración de estudios del Medio Físico. Contenido y Metodología. Ministerio de Medio Ambiente y Secretaría General del Medio Ambiente. Madrid. 1996. Pág 574.

<sup>56</sup> Vega-Carreño, M., Febles-Gonzalez, J.M., “La investigación de los Suelos Erosionados: Métodos e Índices de Diagnóstico”. ISPJAE Ciudad de la Habana. Universidad de la Habana. Cuba. ISSN 0258 5979. Minería y Geología v. 21 n.2, 2005.

<sup>57</sup> Cappelletti V., Aplicación de un Sistema de Información Geográfico para el análisis del Riesgo y Estado de Erosión en cuencas Hidrográficas de la Patagonia Argentina. Trabajo Fin de Master. UNIGIS Girona. Promoción 9. Universitat Girona. 2009

<sup>58</sup> Vega-Carreño, M., Febles-Gonzalez, J.M., “La investigación de los Suelos Erosionados: Métodos e Índices de Diagnóstico”. ISPJAE Ciudad de la Habana. Universidad de la Habana. Cuba. ISSN 0258 5979. Minería y Geología v. 21 n.2, 2005.

USLE fue diseñada para predecir la erosión en laderas de campos individuales arables, y no para amplias extensiones no cultivadas y heterogéneas (...)<sup>59</sup>.

Continuando con los lineamientos de esta crítica, en el presente trabajo se aplicó para la evaluación de pérdida de suelo, un método cuantitativo indirecto, ya que se utilizó un modelo matemático desarrollado sobre bases empíricas. Se implementaron los lineamientos propuestos por la “Metodología provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos” (1980, Proyecto de la FAO). El método para la determinación de la Erosión Hídrica, es un método de estimación predictivo mediante la interpretación de factores naturales (método paramétrico) que responde a la ecuación de  $A = E \cdot K \cdot P \cdot U$ .

“Los factores que controlan el sistema de erosión del suelo son: la erosividad de los agentes de la dinámica terrestre, la erosionabilidad del suelo, la pendiente del terreno y la naturaleza de la cubierta vegetal (MORGAN, 1986)<sup>60</sup>.”

Esta metodología ya se ha sido implementada en paisajes de la Patagonia, que utilizan cartografía temática para analizar el comportamiento espacial de los factores que intervienen en los procesos de erosión hídrica.

Es importante destacar que este método requiere de algunas subjetividades del investigador, pudiendo hacer inferencias, independientemente del conocimiento o no del área de estudio. La principal diferencia radica en la escala de trabajo, que es la que determina el nivel de especificidad, como así en los niveles de cubierta vegetal del suelo.

Las ventajas de haber aplicado esta metodología son:

- Homogeneidad de la información: si bien las capas de información de base fueron a diferentes escalas, se pudieron lograr las especificidades del área requerida.
- Escala de Trabajo: 1:250.000, se trata de una escala regional que permite una gestión integrada del territorio.
- Se considera para la estimación de la erosión hídrica como unidad homogénea de análisis, cada una de las cuencas hidrográficas que conforman el área de estudio. Cada una de las cuencas conforman una homogeneidad en sí.
- Este modelo es un modelo empírico que aplica ecuaciones simplificadas de todos los procesos que intervienen en el fenómeno de erosión hídrica.

---

<sup>59</sup> Salomón Montecinos Aranda. Desarrollo Metodológico para la Evaluación del Riesgo de Erosión Hídrica en el Area Mediterránea utilizando técnicas de Teledetección y SIG. Tesis Doctoral, dirigida por Javier De Pedraza Gilzanz. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Geológicas.

<sup>60</sup> Salomón Montecinos Aranda. Desarrollo Metodológico para la Evaluación del Riesgo de Erosión Hídrica en el Area Mediterránea utilizando técnicas de Teledetección y SIG. Tesis Doctoral, dirigida por Javier De Pedraza Gilzanz. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Geológicas.

- En ambas Metodologías (ICONA y FAO), se pueden obtener mapas síntesis, que permiten la comparación de resultados.
- Con este método se pueden comprender situaciones complejas, mediante una descripción cuantitativa de los procesos más significativos de una cuenca hidrográfica.
- Permite implementar el uso de tecnologías SIG y de herramientas de Teledetección, para realizar tanto consultas espaciales como interrelaciones entre variables, mediante la implementación de aplicaciones de análisis espacial y la obtención de resultados mediante mapas-síntesis.
- La implementación de mapas temáticos, favorece el análisis espacial interrelacionado entre ambas metodologías.

Las desventajas serían que:

- Este método permite hacer una estimación de las áreas más vulnerables a la erosión hídrica, pero se requiere su comprobación en el campo para validarlo.
- No se obtiene una simulación y un resultado exacto del comportamiento de los factores que intervienen en la erosión hídrica.
- “En los modelos empíricos basados en procesos, la física del proceso erosivo real está altamente simplificada y conceptualizada (Bogaart, 2003) por lo cual se utilizan relaciones físico-matemáticas para describirlo, las cuales deben dar resultados más exactos (Hammond y Mc Cullagh, 1980); se caracterizan por necesitar muchos datos de entrada<sup>61</sup>”.
- Los dos métodos aplicados en forma comparativa, uno cualitativo (ICONA) y otro cuantitativo indirecto (FAO), permiten obtener resultados aproximados, de acuerdo a las simplificaciones asumidas de los factores intervinientes.

### 5.3. En relación al Estudio

Se realizó un análisis comparativo de los porcentajes de afectación de los diferentes grados de erosión, teniendo en cuenta el *Trabajo “Aplicación de un Sistema de Información Geográfico para el análisis del Riesgo y Estado de Erosión*

---

<sup>61</sup> Vega-Carreño, M., Febles-Gonzalez, J..M.,”La investigación de los Suelos Erosionados: Métodos e Índices de Diagnóstico”. ISPJAE Ciudad de la Habana. Universidad de la Habana. Cuba. ISSN 0258 5979. Minería y Geología v. 21 n.2, 2005.

*Hídrica en cuencas hidrográficas de la Patagonia Argentina*<sup>62</sup>, donde se desarrolló la Metodología ICONA Y la Metodología de la FAO desarrollada en este trabajo.

En la Metodología ICONA, se definieron 5 Unidades Homogéneas de Riesgo de Erosión, considerando dos indicadores, el de porcentaje de cubierta vegetal y el porcentaje de pendientes. Los niveles más altos de erosión hídrica se le asignó a las pendientes que superaban el 15% y que tenían una cubierta vegetal menor al 2%. El nivel más bajo de erosión era para porcentajes de cubierta vegetal superior al 70% y sobre pendientes de suaves a leves, menores al 15%.

La Metodología de Degradación de las Tierras de la FAO, por otra parte, tiene como principal desarrollo la implementación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, mientras que el Método ICONA<sup>63</sup>, es un método cualitativo que utiliza variables temáticas para analizar cómo algunos factores del territorio, intervienen en los procesos de erosión hídrica, como el aspecto litológico, geomorfológico y el índice de protección del suelo.

Sin embargo en ambos trabajos, se presentó la dificultad de realizar estimaciones sobre la cobertura vegetal de estas cuencas hidrográficas, ya que no se contaba con los muestreos necesarios de campo (reconocimiento del terreno, estimación de la densidad de la cubierta vegetal, etc.).

La determinación de la cubierta vegetal ha sido en base a la interpretación de una imagen satelital. En este caso la fecha de obtención de la imagen ha influenciado en el nivel de cobertura obtenido. Hubiera sido importante obtener una imagen coincidentemente con las máximas precipitaciones o con el máximo crecimiento vegetativo, ya que esto permite estimar el nivel de protección del suelo, ante el impacto de la gota de lluvia y de la escorrentía. Al haber utilizado una fecha pasada y en un época de menor crecimiento vegetativo, no necesariamente ha sido representativa del nivel de protección del suelo.

Con esto se puede concluir que:

- El mayor porcentaje de superficie afectada de las cuencas, en la metodología FAO es de erosión nula y se corresponde con el 53%, localizada en el sector oriental de las mismas.
- En la Metodología ICONA el mayor porcentaje de superficie afectada se corresponde con erosión leve con el 54%, localizada principalmente en el sector centro de las cuencas. Mientras que en la metodología FAO los valores leves de erosión, también se localizan en el sector central de las cuencas pero ocupan el 23% de la superficie total de las cuencas.

---

<sup>62</sup> Cappelletti V., Aplicación de un Sistema de Información Geográfico para el análisis del Riesgo y Estado de Erosión en cuencas Hidrográficas de la Patagonia Argentina. Trabajo Fin de Master. UNIGIS Girona. Promoción 9. Universitat Girona. 2009.

<sup>63</sup> Vega-Carreño, M., Febles-Gonzalez, J..M., "La investigación de los Suelos Erosionados: Métodos e Índices de Diagnóstico". ISPJAE Ciudad de la Habana. Universidad de la Habana. Cuba. ISSN 0258 5979. Minería y Geología v. 21 n.2, 2005.

- En ambas metodologías los mayores niveles de erosión hídrica (Muy Altos), se localizan en el sector occidental de las cuencas. Las cuencas que no presentan erosión muy alta son Huanuco, Manzano Quemado, para la metodología ICONA y en el caso de la FAO además la cuenca de Ranquilco.

- El porcentaje total de superficie afectada por Erosión muy Alta para ICONA, es del 9%, mientras que para el caso de FAO es de 10%.

- Es importante destacar que en todas las cuencas, en la metodología ICONA, se registran niveles Altos de erosión sobre el sector **este** principalmente, no coincidiendo en este caso con el nivel moderadamente alto de la FAO, que se localiza en el sector **oeste** de las cuencas.

Si a estas unidades de erosión se le incorpora otro indicador de riesgo como la erosionabilidad del suelo, (suborden de unidades homogéneas de erosión), estos porcentajes de afectación en las superficies de las cuencas varían y se asemejan mucho más a los resultados obtenidos con la metodología de la FAO.

Tal es el caso de:

- Los niveles bajos y leves de erosión hídrica en la Metodología ICONA, representan 76% de las superficies de las cuencas y en la de FAO también representan el 76%. En ambos casos se localizan en el sector este principalmente.

- La diferencia puede darse en los mayores niveles de erosión, como es el caso del nivel moderado, que en el caso de ICONA, representa el 20%, mientras que en la de FAO el 6%.

- Para la Metodología de FAO los niveles Altos y Muy Altos ocupan una superficie de 18% del total de las cuencas, mientras que en ICONA es menor al 5%.

- Una notable diferencia en ambas metodologías también, es que en el Método ICONA, existen áreas del sector oriental de las cuencas, que poseen valores altos de erosión, principalmente localizados sobre el valle del Río Agrio, hacia donde drenan los arroyos que conforman las cuencas. Mientras que en la metodología FAO estos valores altos de erosión no se registran en este sector.

## 6. CONCLUSIONES

Conocer la distribución, las características y los procesos que se producen entre los elementos que conforman un espacio geográfico, constituyen uno de los objetos fundamentales de la geografía.

Este conocimiento permite anticiparse a procesos negativos que tiendan a degradar el recurso natural, desarrollando actividades que generen la implementación de políticas sustentables y de planificación territorial, que tiendan complementar la explotación y la conservación de los recursos naturales.

La erosión del suelo, es un fenómeno geológico natural, producido por el desprendimiento de partículas del suelo a causa de la acción del agua y/o el viento, depositándolas en otro lugar. La erosión hídrica se produce con el impacto de la gota de lluvia sobre el suelo descubierto, provocando su disgregación, este proceso es provocado por la combinación de factores tales como pendientes pronunciadas, erosividad de las precipitaciones, la cubierta vegetal y el desarrollo de actividades de uso del suelo inadecuadas. La capacidad de los suelos erosionados es menor que de un suelo no erosionado, reduciendo su fertilidad y su capacidad de retención de agua y por ende, en una menor capacidad productiva, afectando el desarrollo de la actividad agrícola y pecuaria.

En las cuencas hidrográficas del Río Agrío, la principal actividad económica es la actividad ganadera extensiva. Que los suelos tengan algunos signos de los procesos erosivos hídricos, significa comprometer la capacidad forrajera de los mismos y por lo tanto un impacto directo sobre el pastoreo.

Se ha comprobado que los procesos erosivos tienen relación directa con las actividades económicas que se desarrollan. La presión sobre el uso del suelo por sobrepastoreo y pastoreo en momentos inadecuados de crecimiento vegetativo, contribuyen a acelerar los procesos de erosión hídrica.

Las diferentes Metodologías utilizadas (ICONA, FAO), si bien no calculan las pérdidas cuantitativas de suelo, son técnicas que permiten estimar las áreas más comprometidas frente al proceso erosivo, mediante la integración de variables temáticas que intervienen en la degradación de los mismos.

Realizar este tipo de diagnóstico, permite ir generando políticas de planificación que tiendan a desarrollar técnicas más sustentables de manejo del recurso suelo.

Los Sistemas de Información Geográfica, son herramientas muy útiles para integrar distintos elementos que conforman un espacio como para hacer análisis espaciales, mediante la interrelación de todos estos elementos. Además han permitido poder hacer conclusiones en base a la comparación de diferentes técnicas de Erosión Hídrica.

En ambas metodologías, se registraron procesos erosivos en las cuencas hidrográficas, la diferencia de porcentaje de superficie afectada, está relacionada directamente con las variables intervinientes para su evaluación, como así también la forma de integración mediante el análisis espacial que se haga de cada una de ellas.

Es importante considerar que ambas técnicas y herramientas disponibles para evaluar la degradación de las tierras, presentan sus ventajas y desventajas. Lo importante es saber complementarlas con otras metodologías de enfoque cuantitativo, que tiendan a dar resultados más eficientes de los procesos erosivos hídricos, para lograr una gestión sustentable del recurso suelo.

## 7. RECOMENDACIONES

- Considerar que en ambas metodologías, el sector más vulnerable a la erosión hídrica actual es el occidental, correspondiente a las nacientes de los arroyos que conforman las cuencas, asociadas a pendientes pronunciadas y mayores precipitaciones.
- Las cuencas hidrográficas tienen un amplio predominio de la actividad pecuaria, por lo que mantener económicamente viable esta actividad, tiene una gran importancia para los productores ganaderos. De esta forma, se deberán realizar análisis preventivos, y continuos monitoreos sobre los signos del avance del proceso erosivo hídrico, que contribuyen a la disminución de la capacidad forrajera de los suelos y atentan contra el pastoreo.
- Si bien sobre las áreas productivas (mallines) no se han registrados procesos erosivos significativos, es recomendable realizar continuo monitoreos, para comprobar que tipo e intensidad de uso se están desarrollando sobre el recurso suelo.
- Se recomienda salidas de campo en diferentes épocas de año que permitan realizar una estimación promedio del porcentaje de cubierta vegetal y poder precisar mejor la entrada de datos del modelo.
- Es importante destacar que los SIG son herramientas dinámicas de trabajo y análisis espacial, por lo cual requieren permanente actualización de las variables intervinientes.
- Los SIG además, son modelos de integración de datos que permiten evaluar y cartografiar la calidad de la tierra y los riesgos de erosión a una escala útil de análisis. Por tal motivo se recomienda además, incrementar la escala de análisis para precisar mejor la salida de los mapas – síntesis.
- Se recomienda también incorporar métodos cuantitativos que complemente el análisis del proceso.
- Es importante recordar que una vez alcanzado cierto grado de deterioro del suelo, es irreversible técnica y económicamente, por eso es importante tratar de preservar la productividad del medio natural, haciendo diagnósticos preventivos y anticipándose a los procesos.

## 8. MATERIAL DE REFERENCIA

### 8.1. Bibliografía

▪ Aguilo A., Aramburu Maqua, M., Blanco Andray, A., y otros. Guía para la Elaboración de estudios del Medio Físico. Contenido y Metodología. Ministerio de Medio Ambiente y Secretaría General del Medio Ambiente. Madrid. 1996.

▪ Aranda Montecinos Salomón. Tesis Doctoral: Desarrollo Metodológico para la Evaluación del Riesgo de Erosión Hídrica en el Area Mediterranea, utilizando técnicas de Teledetección y SIG. Director: De Pedraza Gilzanz J. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.

▪ Bosque Sendra J., García R., “El uso de los Sistemas de Información Geográfica en la Planificación Territorial”. Anales de la Geografía en la Universidad Complutense. 2000, 20: 49-67. ISSN: 0211-9803.

▪ Buzai, G.D. 2010. Los Sistemas de Información Geográfica en la Investigación científica actual. (Capítulo 4). En: Buzai, G.D. (Ed.) Geografía y Sistemas de Información Geográfica. Aspectos conceptuales y aplicaciones. Universidad Nacional de Luján – GESIG. Luján.

▪ Cappelletti, V. Análisis de Mallines. Subcuencas del Río Agrío. SPyD. AIC. Noviembre 2008.

▪ Cappelletti V., Aplicación de un Sistema de Información Geográfico para el análisis del Riesgo y Estado de Erosión en cuencas Hidrográficas de la Patagonia Argentina. Trabajo Fin de Master. UNIGIS Girona. Promoción 9. Universitat Girona. 2009.

▪ CAZALAC, Centro del Agua para Zonas Aridas y Semiáridas de América Latina y El Caribe. Programa Hidrológico Internacional. Zonificación de los Regímenes Hídricos de América Latina y el Caribe desde una Perspectiva Climática. México 2006.

▪ Chuvieco E., Fundamentos de la Teledetección Espacial. 2da. Edición. Ediciones Rialp S.A. Madrid.

▪ Colantuono, M.R, coordinadora. Neuquén. Una Geografía Abierta. Dpto. de Geografía. Facultad de Humanidades. Universidad Nacional del Comahue. Cap IV autor Julio Anguita.

▪ Corcoll, S. Operaciones de Análisis Espacial. Lección 2: Operaciones Espaciales de Capa Unica. Pág 1. UNIGIS 9na. Edición. 2006.

▪ De Jong, G. Director. Investigadores: Capua, O., Cardone, M., Ciminari, M., Colantuono, M.R., Milán, S., Ramidán, G., Semorile, Z., Atlas Geográfico de la Provincia del Neuquén. Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades,



Universidad Nacional del Comahue y Consejo de Planificación y Acción para el Desarrollo (COPADEV), Provincia del Neuquén. Julio 1982.

▪ Felicísimo, A. Cap 2. El Modelo digital de Elevaciones. <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/>

▪ Ferrer J.A., Mendía J., Irisarri J.A., Figueira H.L, "Degradación de los Suelos en la Alta Cuenca del Río Neuquén". Aplicación de la Metodología de la F.A.O. Facultad de Ciencias Agrarias. UNCo. Dirección General de Agricultura y Ganadería de Neuquén. 1984.

▪ Ferrer, J.L., Irisarri, J.A., Mendía, J.M., Estudio Regional de Suelos. Consejo Federal de Inversiones. Secretaría de Estado del COPADEV. Provincia del Neuquén. Volumen I Tomo 2.

▪ Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico. Contenidos y metodología. Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría General de Medio Ambiente.

▪ Guimet, Pereña, J. "Introducción Conceptual a los Sistemas de Información (S.I.G.). Estudio Gráfico Madrid 1992. España.

▪ Instituto Nacional de Estadística y Censo y Censo Nacional Agropecuario 2002. El período de referencia del CNA 2002 es el comprendido entre el 1° de Julio de 2001 y el 30 de Junio de 2002.

▪ Joly, F. La Cartografía. Colección ¿qué sé? Nueva Serie. Oikos-Tau S.A. Barcelona.

▪ Llopis, J.P. Sistemas de Información Geográfica Aplicados a la Gestión del Territorio. Entrada, manejo, análisis y salida de datos espaciales. Teoría general y práctica para ESRI ArcGIS 9. Departamento de Ecología. Universidad de Alicante.

▪ Lluís, V. Fuentes y Adquisición de Datos. Lección 5: Introducción a la Teledetección. Pág. 3. UNIGIS 9na. Edición. 2006.

▪ Marcolín A., Lipinski V., Bran D., Nakamatsu V., Migriora H., Metodología Regional del Proceso de Desertificación. Cap. Relevamientos de Suelos y Vegetación para creación del Distrito de conservación en los Lagos de San Martín y Viedma. Pág. 135. Facultad de Ciencias Agrarias. Dpto. Ecología y Facultad de Humanidades. Dpto. de Geografía. Universidad Nacional del Comahue 1984.

▪ Movia. C. Metodología Regional del Proceso de Desertificación. Cap. Metodologías Aplicables a la Evaluación de la Desertificación de la Patagonia. Facultad de Ciencias Agrarias. Dpto. Ecología y Facultad de Humanidades. Dpto. de Geografía. Universidad Nacional del Comahue 1984.

- Nakamatsu, V. Ing. Agr. Msc. Evaluación Del Pastizal Natural En Campos De Meseta. 2003. E.E.A INTA Esquel Carpeta Técnica, 12/03.
- Robinson, A., Sale R., Morrinson J., Muehrcke P., “Elementos de la Cartografía”. Ediciones Omega S.A., Plató, 26-08006 Barcelona. Parte 1. Naturaleza de la Cartografía.
- Turbau, E. Introducción a los Conceptos y Operaciones Fundamentales. Lección 1: ¿Qué tiene de Especial lo Espacial”. Cap 7. La Naturaleza de los datos geográficos. Pág 2. 9ª Edición 2006.
- Turbau E., Strobl J., Resl R. “Módulo 1: Introducción a los Sistemas de Información Geográfica”. UNIGIS América Latina. Programa Avanzado Diplomado en SIG. Unigis Professional. 1era. Edición 2007.
- Vega-Carreño, M., Febles-Gonzalez, J..M.,”La investigación de los Suelos Erosionados: Métodos e Indices de Diagnóstico”. ISPJAE Ciudad de la Habana. Universidad de la Habana. Cuba. ISSN 0258 5979. Minería y Geología v. 21 n.2, 2005.
- Zeil P., Resl R., “Módulo O2: SIG y Teledetección. 1era. Edición 2001. Programa Académica “Diplomado Avanzado Internacional en SIG”, UNIGIS Professional. UNIGIS para América Latina.

## 8. 2. Anexos / Apéndices

### 8.2.1. Figuras

**Figura 1. Capas Cartográficas**

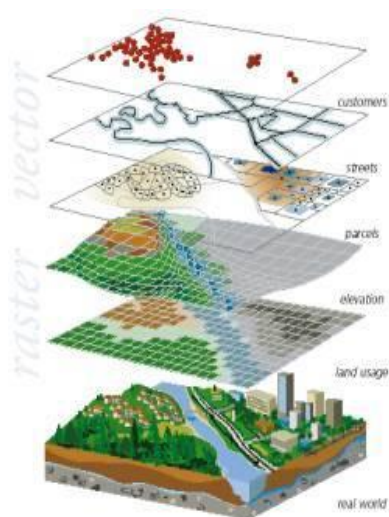


Figura 2. Tipos de Datos



Figura 3. Formato raster.

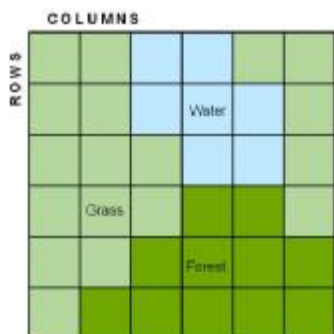


Figura 4. Sistema de Teledetección. Fuente: CONAE

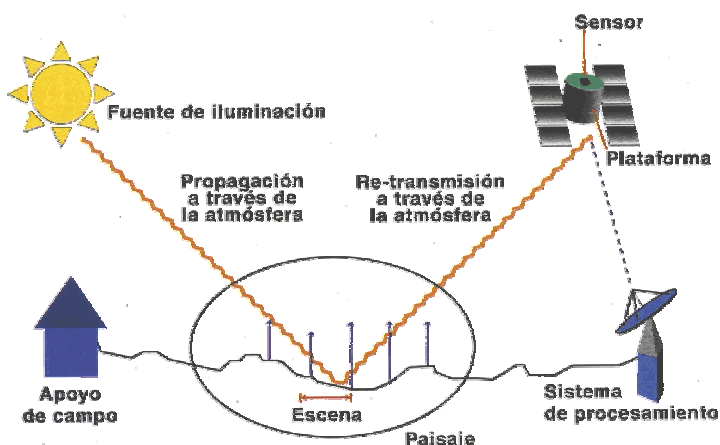


Figura 5. Espectro Electromagnético. Fuente UNIGIS para América Latina, MO2.

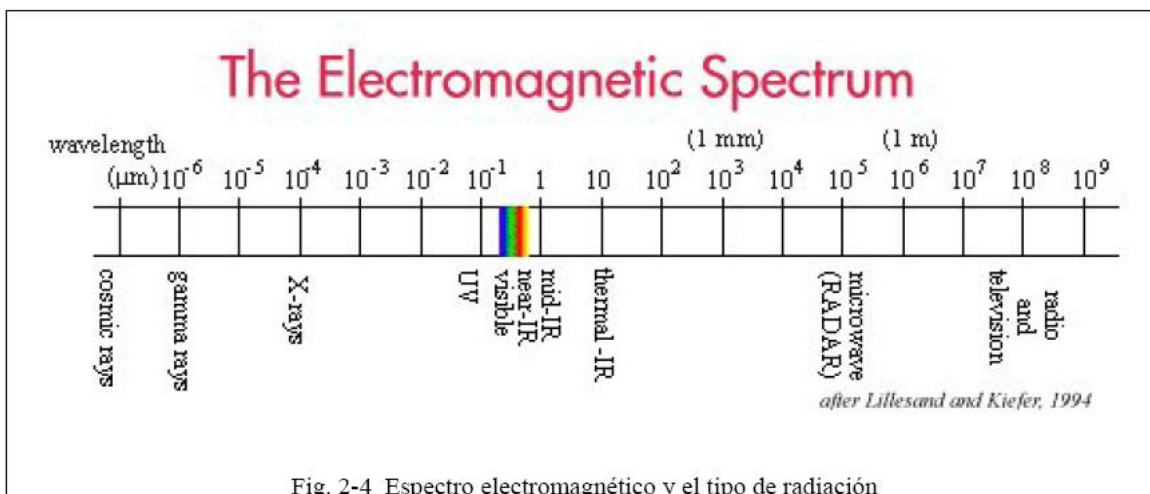
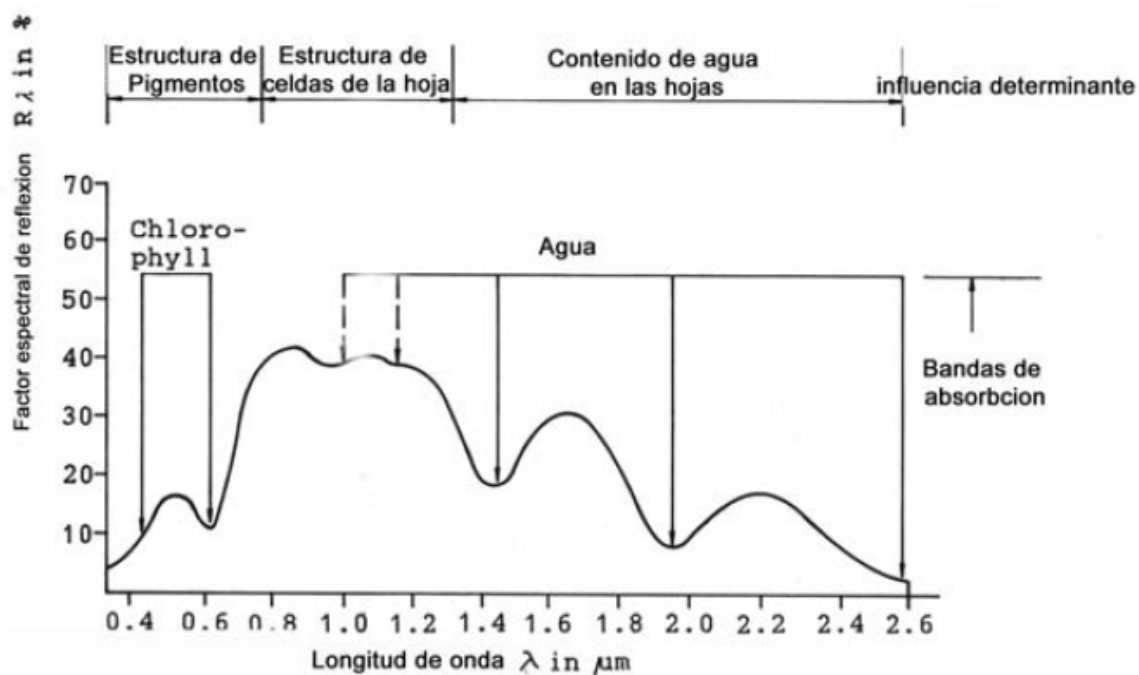


Fig. 2-4 Espectro electromagnético y el tipo de radiación

Figura 6. Gama de Reflexión para la vegetación (según HILDENBRANDT 1996). Fuente UNIGIS para América Latina, MO2.



## 8.2. Tablas

**Tabla 1. Clasificación de los datos geográficos, según fuente de origen y formato.**

Fuente	Vectorial	Raster
Primaria		Imágenes Satelitales
Secundaria	Red de drenaje (lineal) Cuencas hídricas (polígono) Estaciones meteorológicas (puntos) Geología (polígono) Vegetación (polígono) Tipo de suelo (polígono) Usos de la Tierra (polígono) Geomorfología (polígono)	Modelo Digital de Terreno

**Tabla 2 Porcentaje de la superficie con los distintos aspectos litológicos.**

Litología	Sup. (Ha.)	Porcentaje %
andesitas, basandesitas, basaltos, tobas, brechas, cenoglomerados, areniscas y conglomerados	144198,04	75,48
arenas, gravas, limos y bloques	9362,78	4,90
basaltos	29436,85	15,41
conglomerados, gravas, bloques y arenas	6612,76	3,46
drift glacial no estratificado (till) y estratificado, ritmitas	62,62	0,03
tobas andesíticas. Areniscas y arcilitas. Tobas riolíticas, tufitas, areniscas y lutitas.	1374,83	0,72
	191047,88	

**Tabla 3. Porcentaje de Cobertura de la Vegetación.**

Tipo de Vegetación	Porcentaje de cobertura
Semidesierto	25%
Matorral	40 – 60%
Vegetación Herbácea	70%
Roca	10%
Bosque	80 – 100 %

**Tabla 4. Medias Mensuales de Estaciones Hidrometeorológicas.**

	Pino Andino	Ea. Huarenchenque	Haychol	Bajada del Agrio	Caviahue	
<b>Coord X*</b>	2360563	2359310	2353712	2409912	2316965	
<b>Coord Y*</b>	5801651	5770233	5732339	5753499	5808242	
<b>Precipitación Media Mensual</b>	<b>Ene</b>	12,70	12,59	22,80	7,07	50,44
	<b>Feb</b>	14,00	10,23	19,00	8,07	76,21
	<b>Mar</b>	13,20	16,63	28,70	9,94	44,10
	<b>Abr</b>	24,80	26,58	41,60	14,02	106,10
	<b>May</b>	69,80	71,28	102,00	39,42	325,70
	<b>Jun</b>	89,90	85,85	112,40	32,85	448,60
	<b>Jul</b>	56,60	46,00	94,90	19,93	301,60
	<b>Ago</b>	61,10	66,90	77,80	16,74	232,40
	<b>Sep</b>	39,50	26,40	60,90	15,20	114,89
	<b>Oct</b>	29,80	12,73	30,90	8,45	130,47
	<b>Nov</b>	9,80	8,54	12,00	4,63	89,31
	<b>Dic</b>	9,20	13,68	18,00	6,75	73,41
<b>Prec. Media Anual</b>	430,40	317,90	621,00	183,07	1981,74	

\* Proyección Cartográfica Gauss Kruger Faja 2. Sistema de Referencia POSGAR 94.

Tabla 5. Porcentaje de Superficie Total afectada por Erosión Hídrica Actual

Clase	Sup.	%
Nulo	101008	53,11
Leve	43310	22,77
Moderada	10671	5,61
Moderadamente Alta	16120	8,48
Alta	19084	10,03
<b>TOTAL</b>	<b>190193</b>	

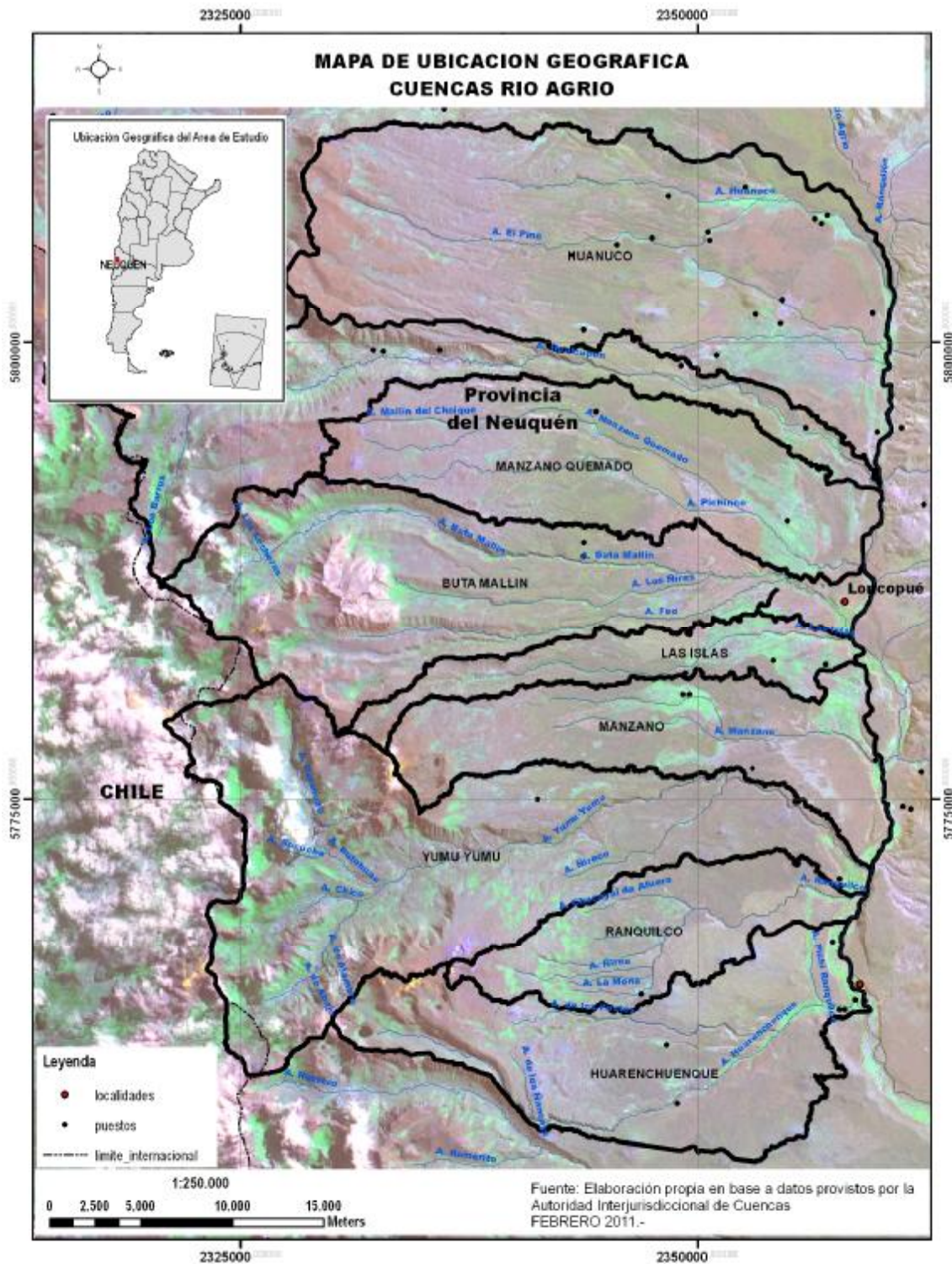
Tabla 6. Porcentaje de Superficie afectada por Erosión Hídrica por Subcuencas

Subcuenca	Clase	Sup.	%	Subcuenca	Clase	Sup.	%
Huanuco	Nula	25224	68,74	Manzano	Nula	10511	72,34
	Leve	9554	26,04		Leve	2667	18,36
	Moderada	509	1,39		Moderada	548	3,77
	Moderam. Alta	1366	3,72		Moderam. Alta	634	4,36
	Alta	43	0,12		Alta	169	1,16
	<b>Total</b>	<b>36695</b>			<b>Total</b>	<b>14529</b>	
Hualcupén	Nula	6582	30,17	Yumu Yumu	Nula	9869	29,25
	Leve	4239	19,43		Leve	5938	17,60
	Moderada	2431	11,14		Moderada	4385	12,99
	Moderam. Alta	3532	16,19		Moderam. Alta	5054	14,98
	Alta	5033	23,07		Alta	8498	25,18
	<b>Total</b>	<b>21817</b>			<b>Total</b>	<b>33744</b>	
Manzano Quemado	Nula	15105	76,20	Ranquico	Nula	6590	31,88
	Leve	4320	21,79		Leve	3742	18,10
	Moderada	344	1,74		Moderada	10335	50,00
	Moderam. Alta	54	0,27		Moderam. Alta	3	0,01
	Alta	0	0,00		Alta	0	0,00
	<b>Total</b>	<b>19823</b>			<b>Total</b>	<b>20670</b>	
Buta Mallín	Nula	7976	30,58	Huarenchenque	Nula	14344	71,70
	Leve	6554	25,13		Leve	4679	23,39
	Moderada	2126	8,15		Moderada	265	1,32
	Moderam. Alta	4494	17,23		Moderam. Alta	343	1,71
	Alta	4929	18,90		Alta	375	1,87
	<b>Total</b>	<b>26079</b>			<b>Total</b>	<b>20006</b>	
Las Islas	Nula	4702	67,33				
	Leve	1588	22,74				
	Moderada	53	0,76				
	Moderam. Alta	609	8,72				
	Alta	31	0,44				
	<b>Total</b>	<b>6983</b>					



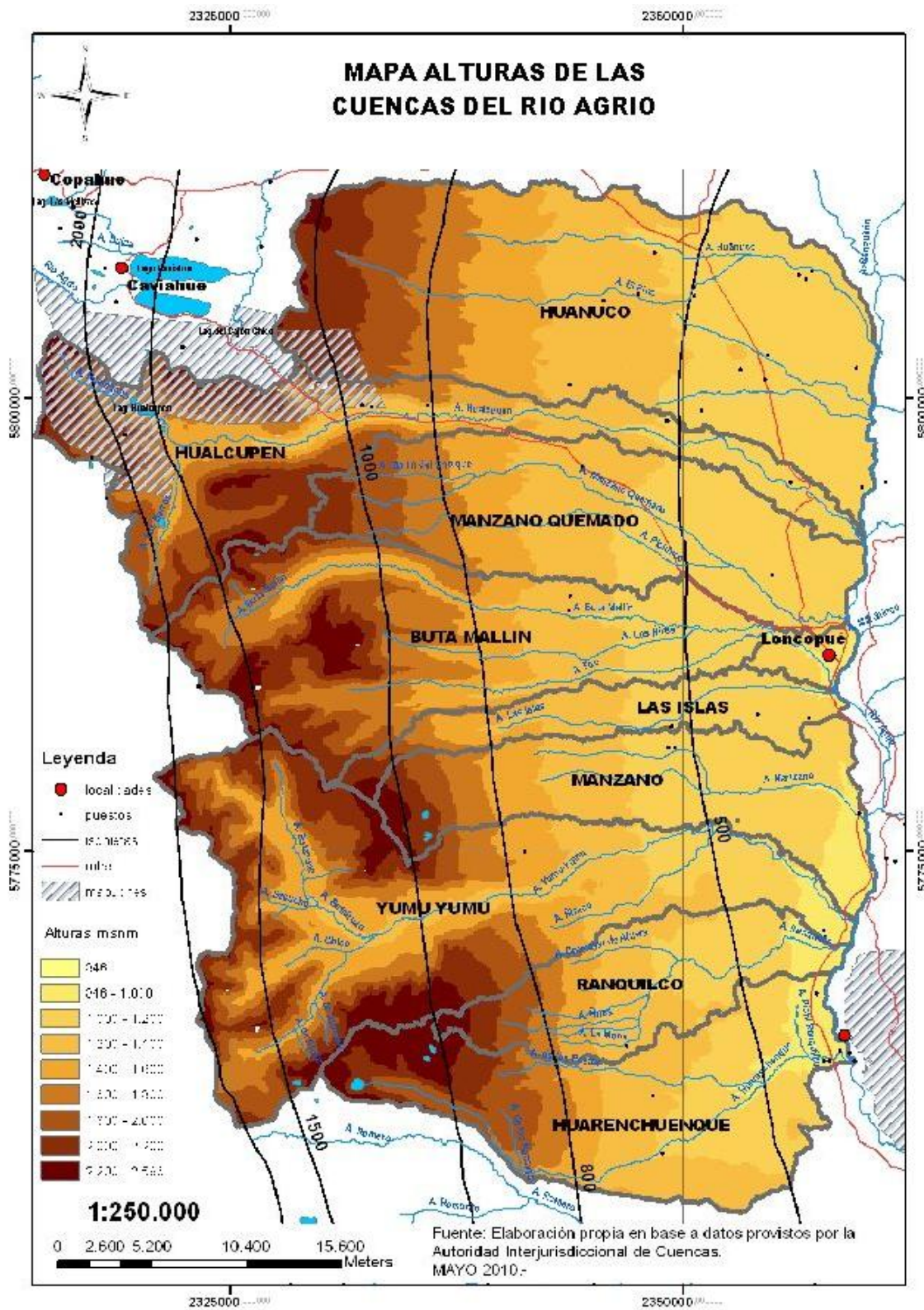
### 8.3. Mapas

#### 1. Mapa de Ubicación Geográfica de las Cuencas del Río Agrío.



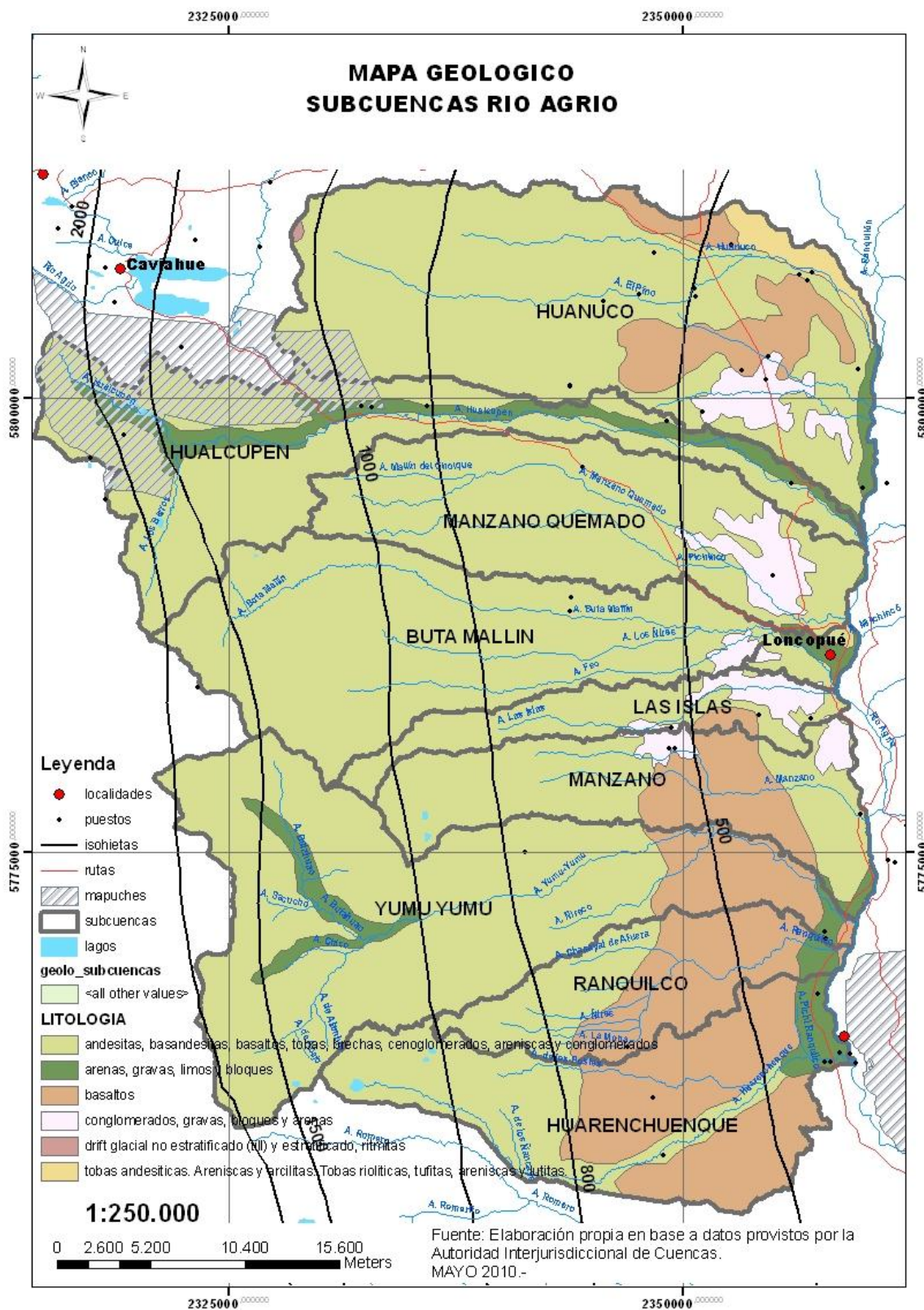


2. Mapa de Alturas de las Cuencas del Río Agrío.

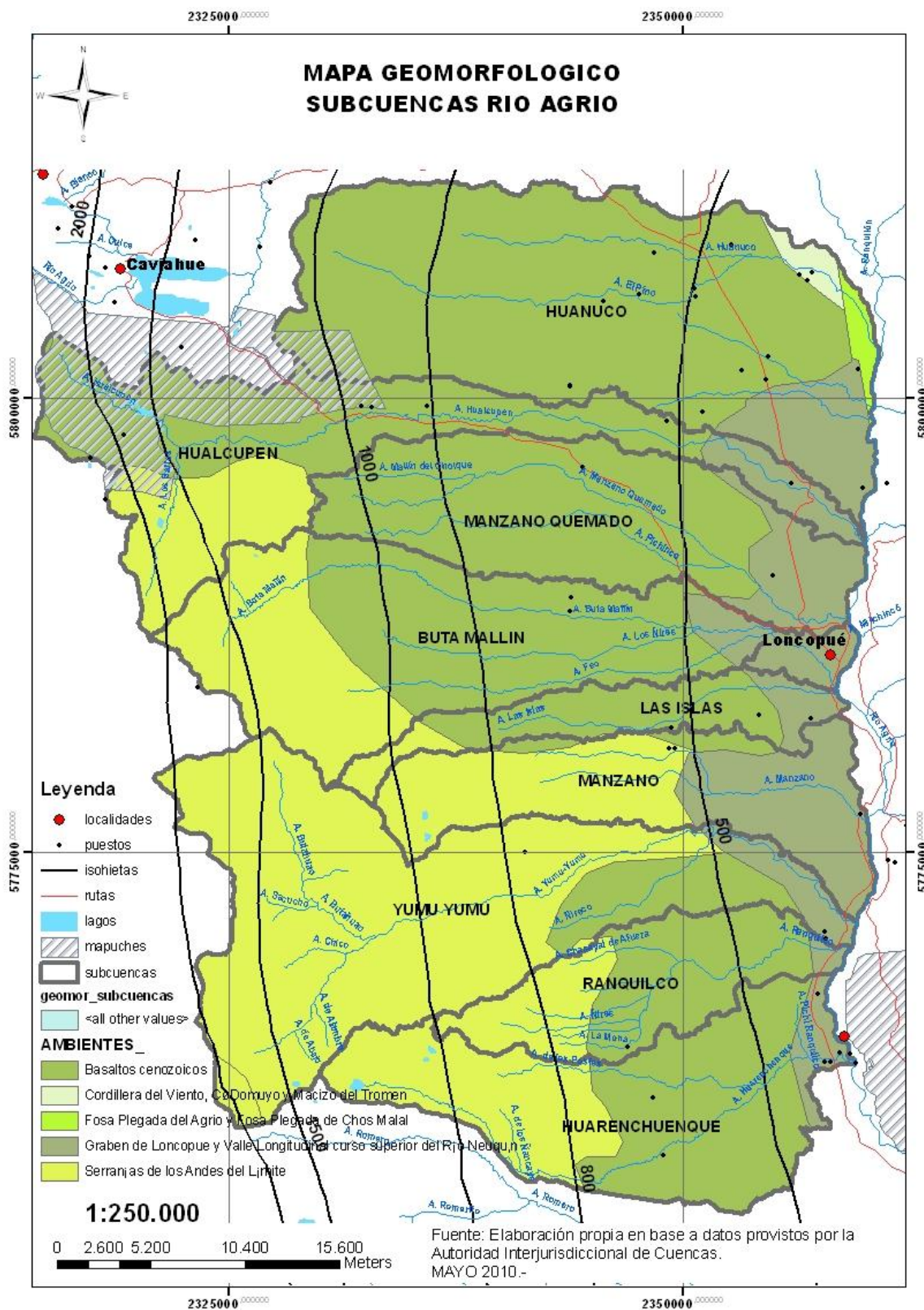




3. Mapa Geológico.

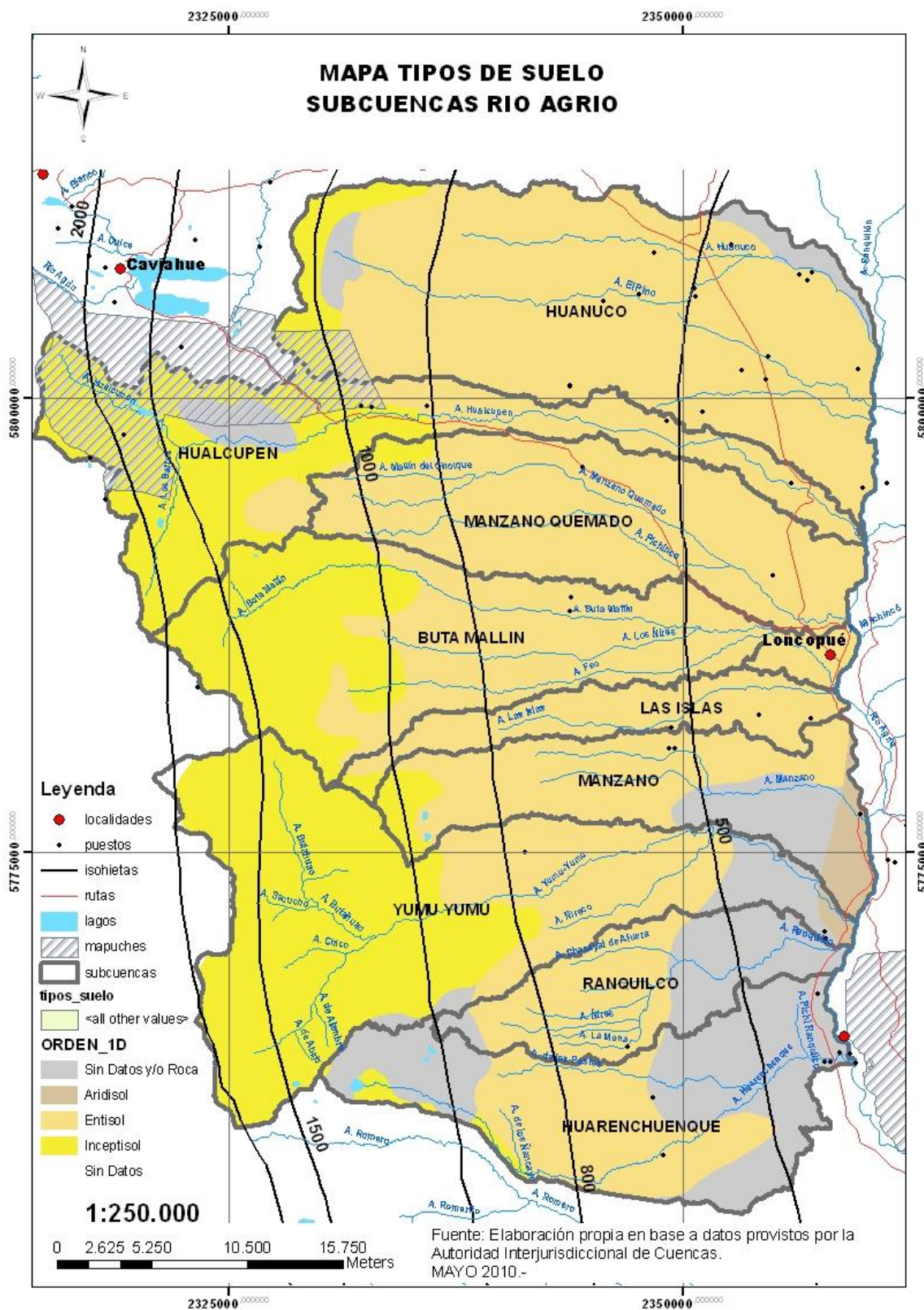


4. Mapa Geomorfológico.

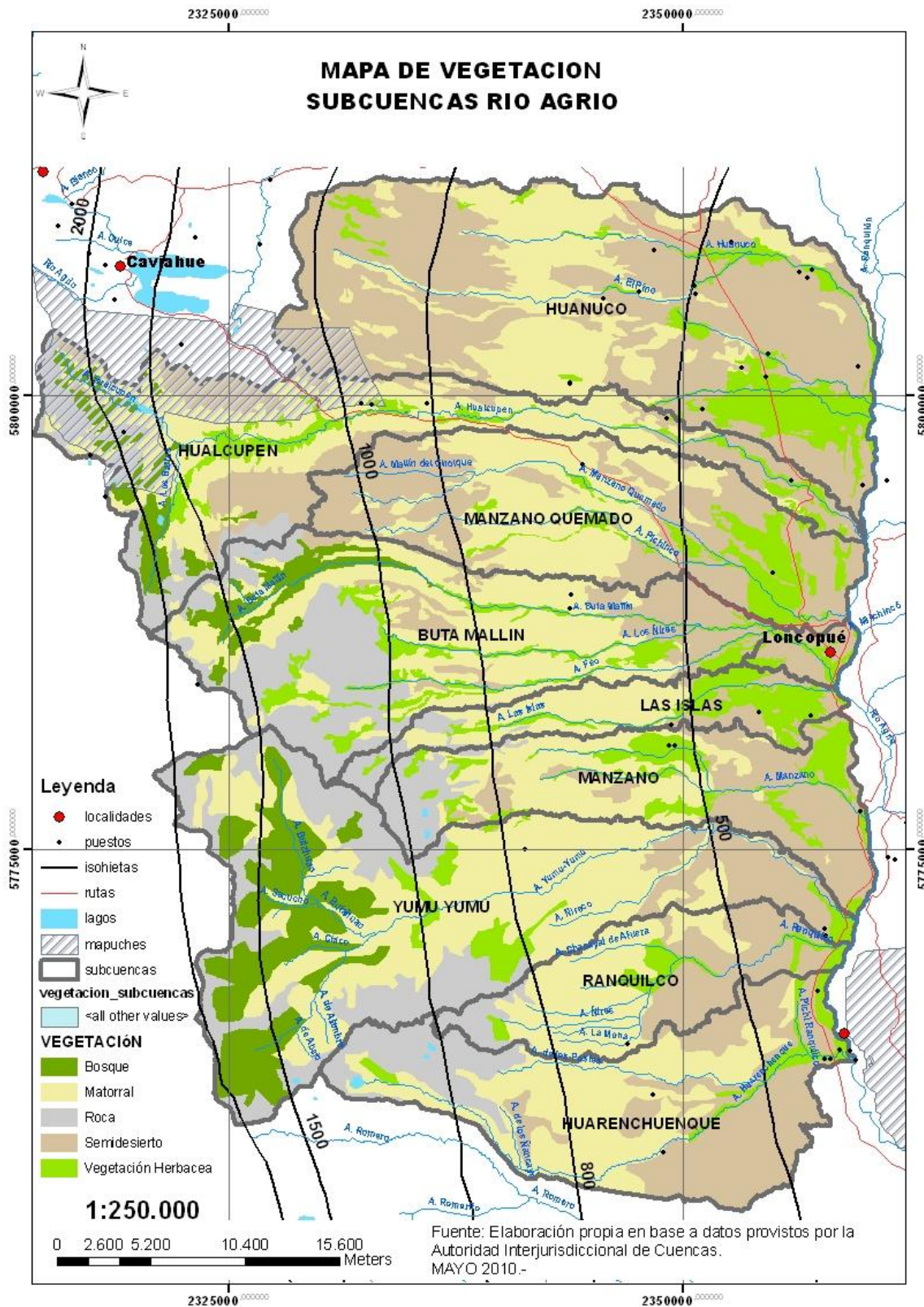




5. Mapa de Tipos de Suelo.

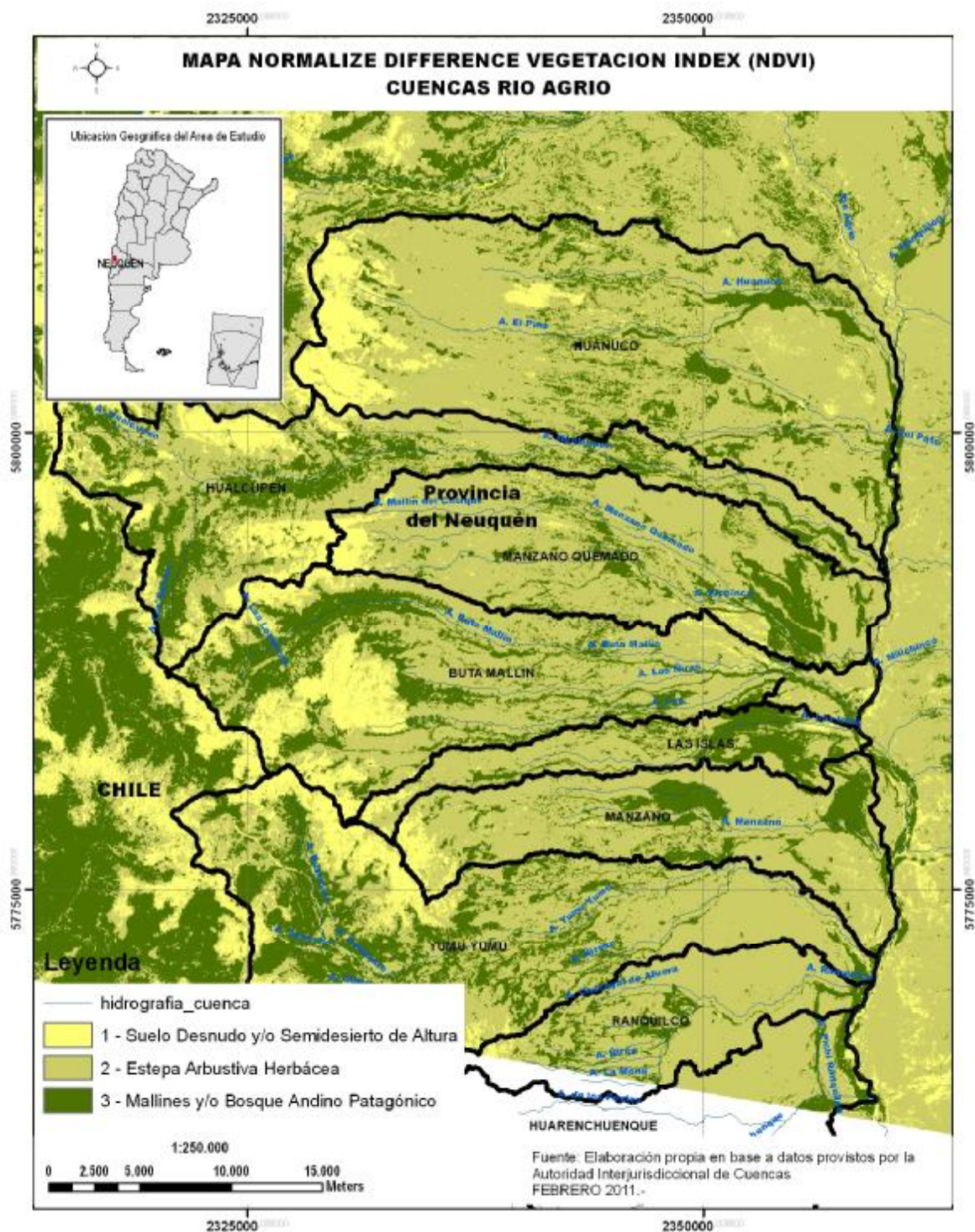


6. Mapa de Vegetación.

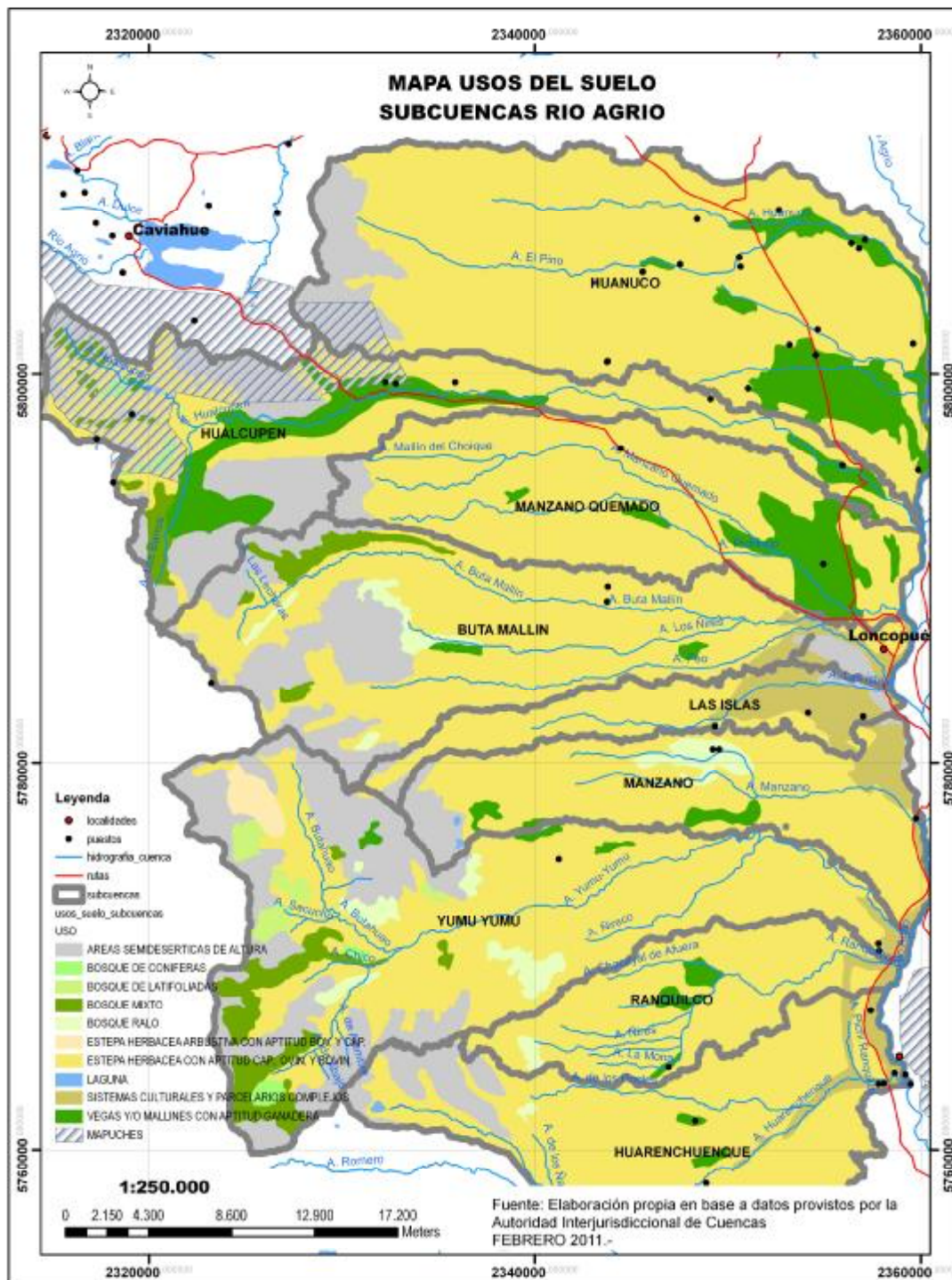




## 7. Mapa de NDVI (Normalize Difference Vegetation Index).

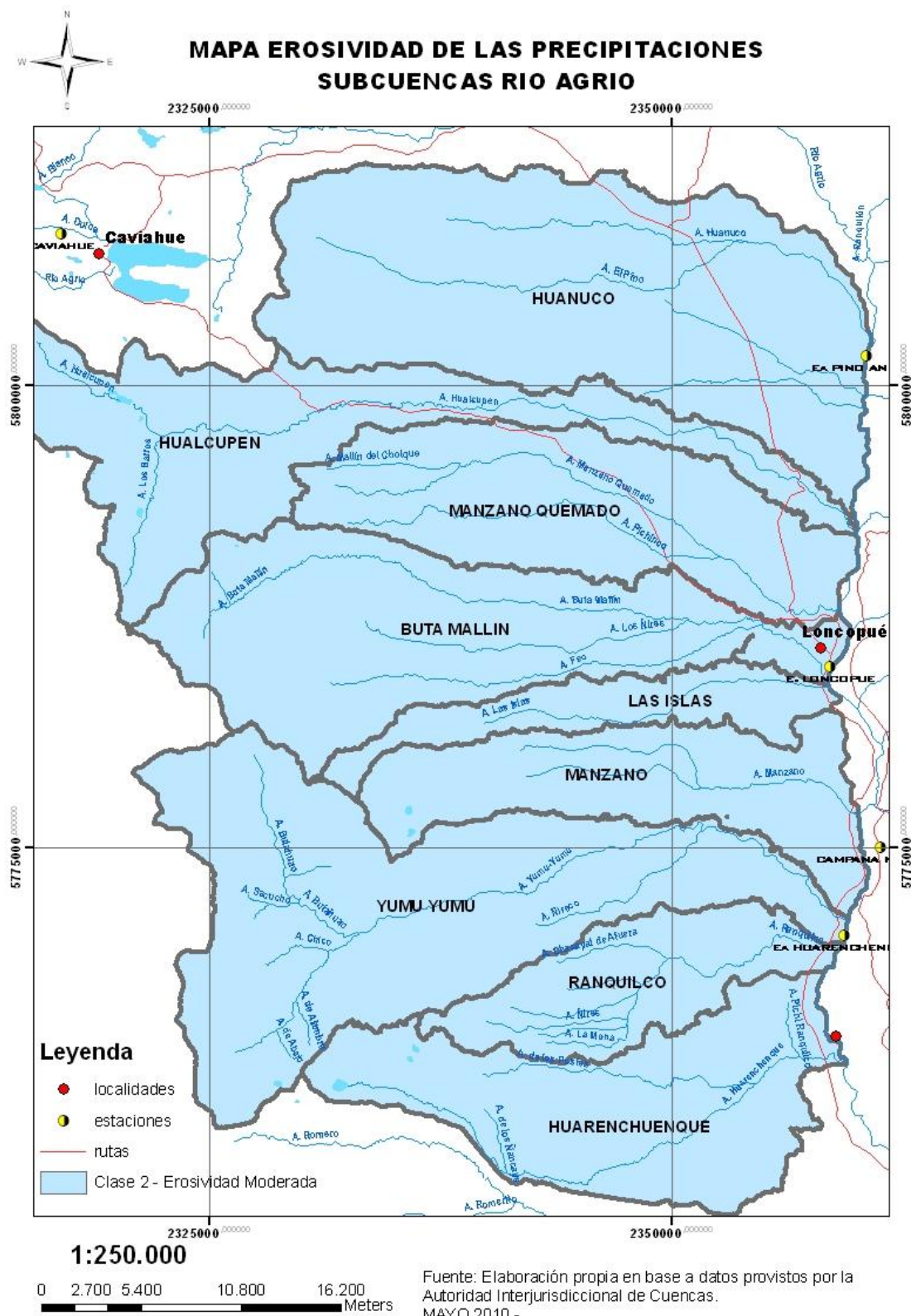


## 8. Mapa de Usos del Suelo.





9. Mapa de Erosividad de las Precipitaciones.



10. Mapa de Erosionabilidad del Suelo.

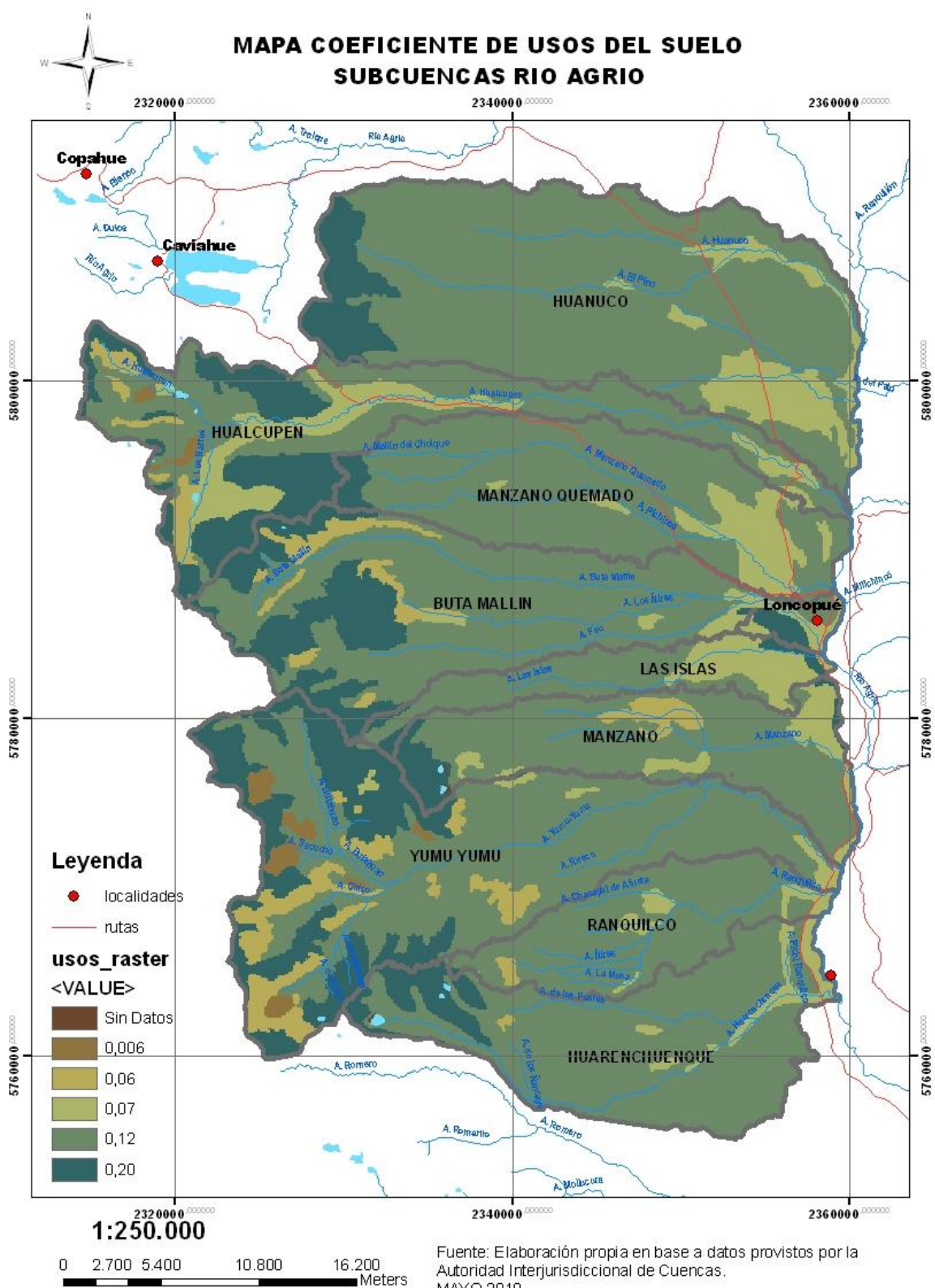




11. Mapa de Zonificación de Pendientes.

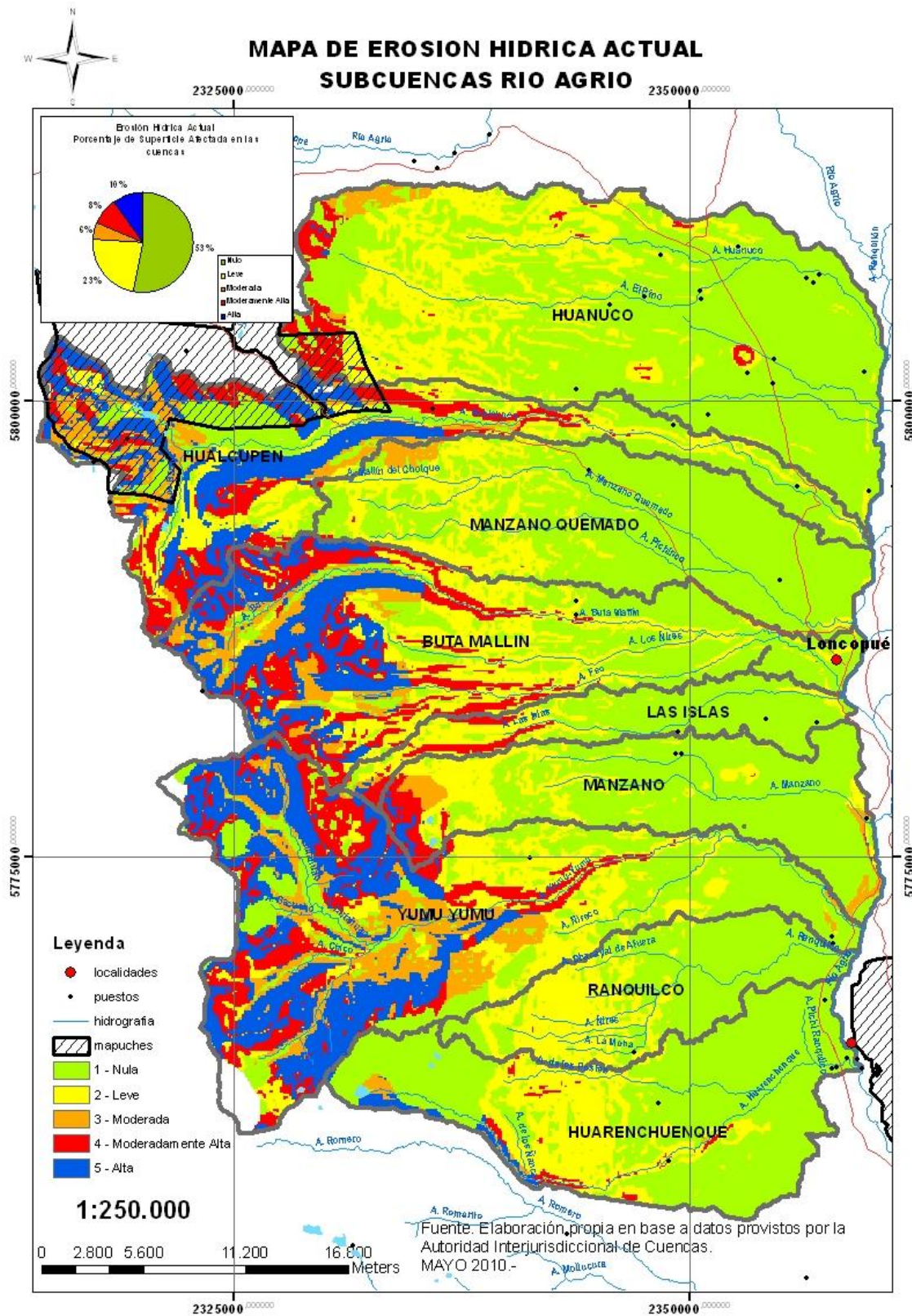


## 12. Mapa de Índice de Usos del Suelo.



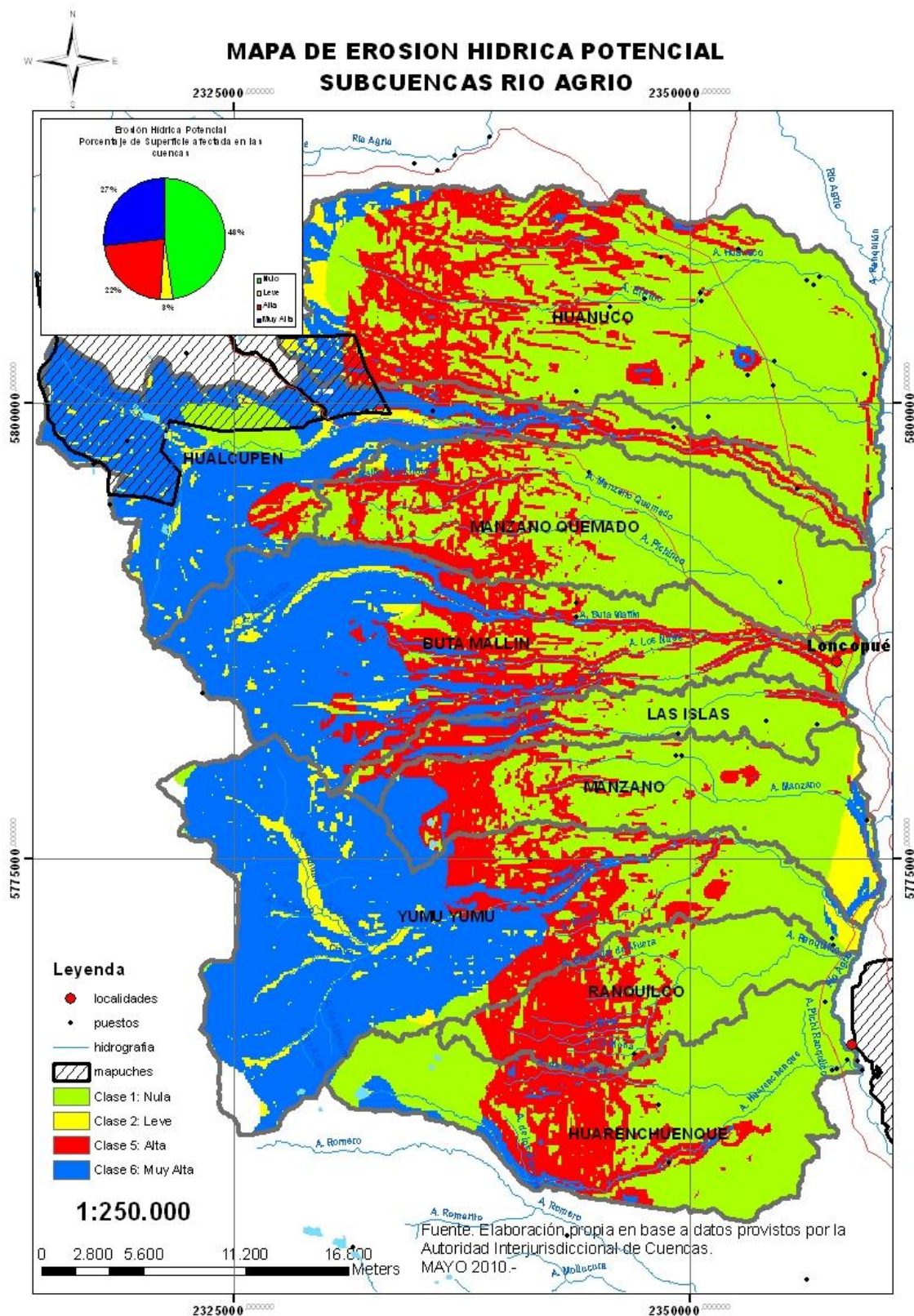


13. Mapa de Erosión Hídrica Actual.



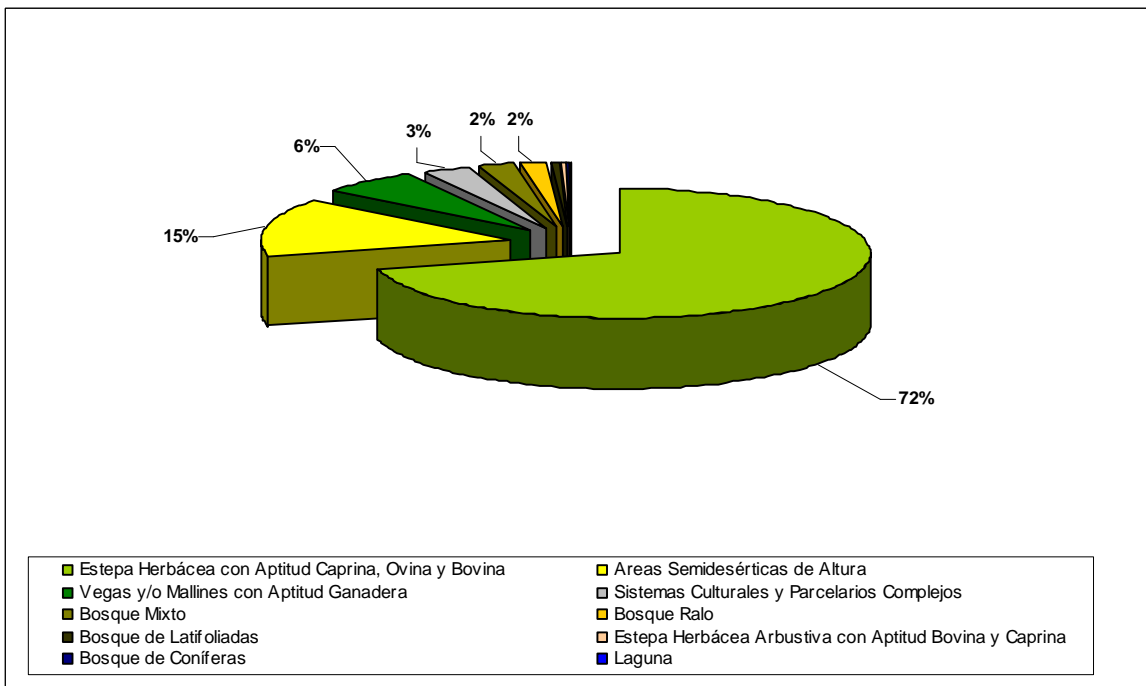


14. Mapa de Erosión Hídrica Potencial.



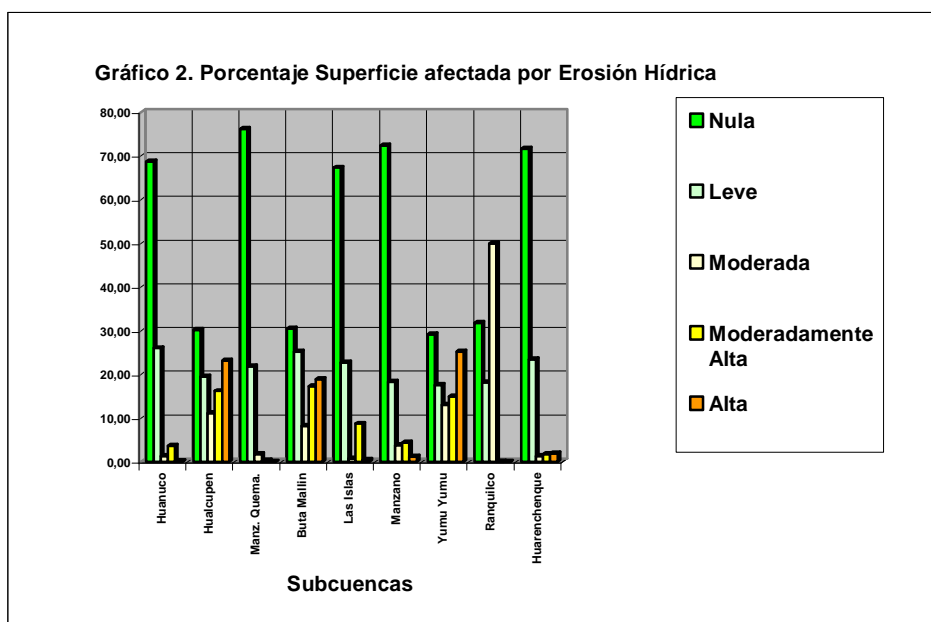
### 8.4. Gráficos

1.Gráfico: Porcentaje de Superficie de Usos del Suelo en las Cuencas.



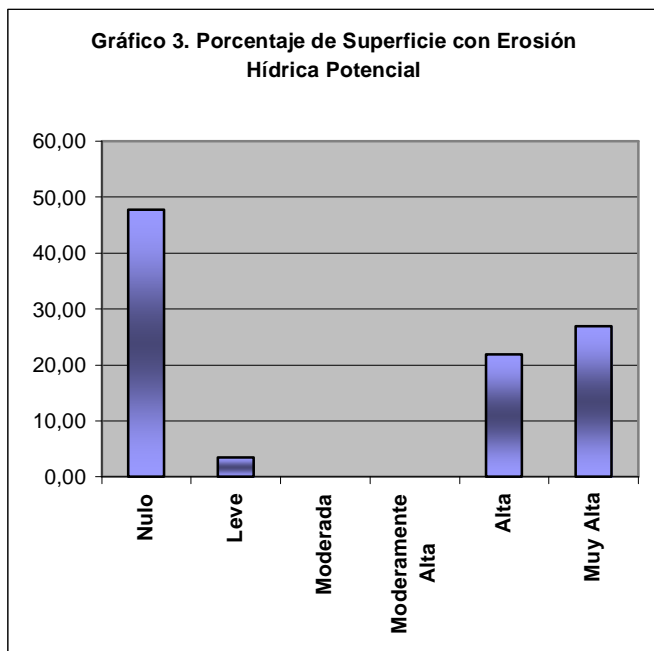
Fuente: Elaboración propia en base al Mapa Usos del Suelo, AIC. ArcGis.

2.Gráfico: Porcentaje de Superficie Afectada por Erosión Hídrica por Cuencas



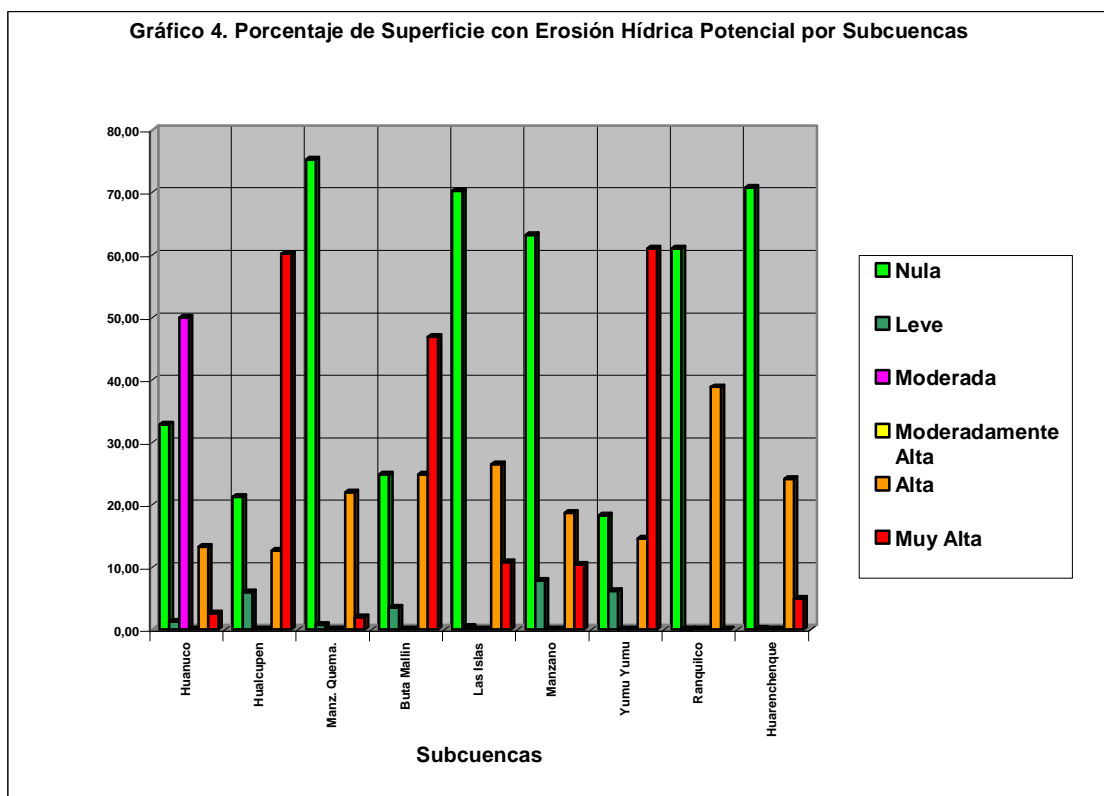
Fuente: Elaboración propia en base al Mapa Erosión Hídrica Actual.

**3. Gráfico: Porcentaje de Superficie Afectada por Erosión Hídrica Potencial en el total de las Cuencas**



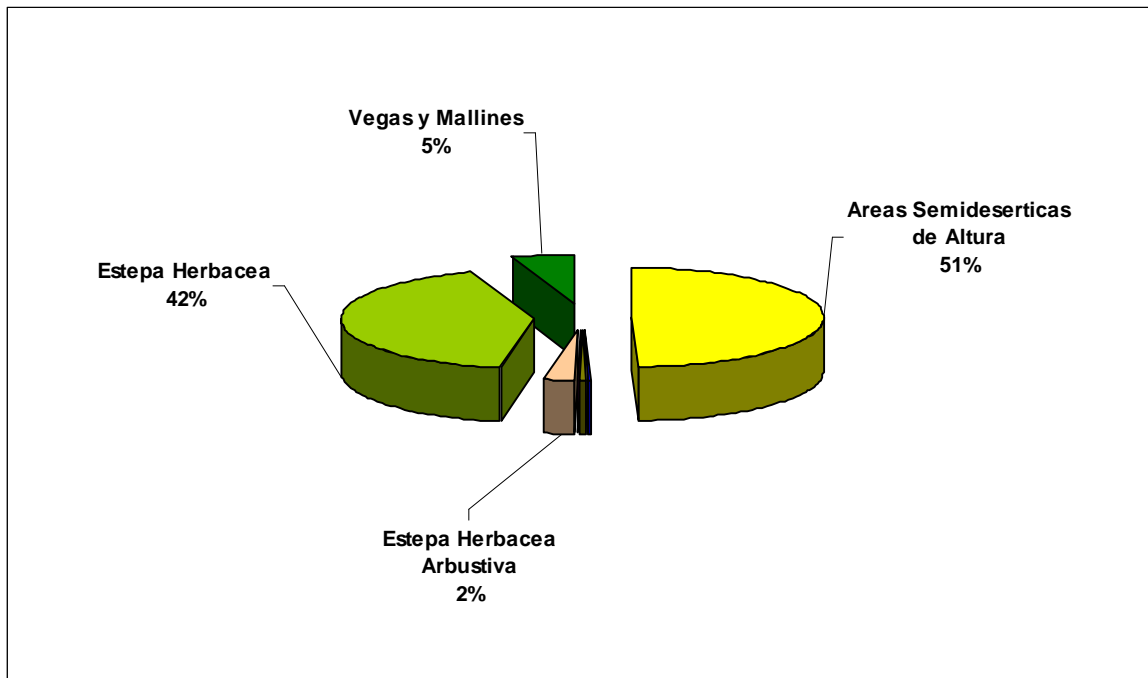
Fuente: Elaboración propia en base al Mapa Erosión Hídrica Potencial.

**4. Gráfico: Porcentaje de Superficie Afectada por Erosión Hídrica Potencial por Cuencas**



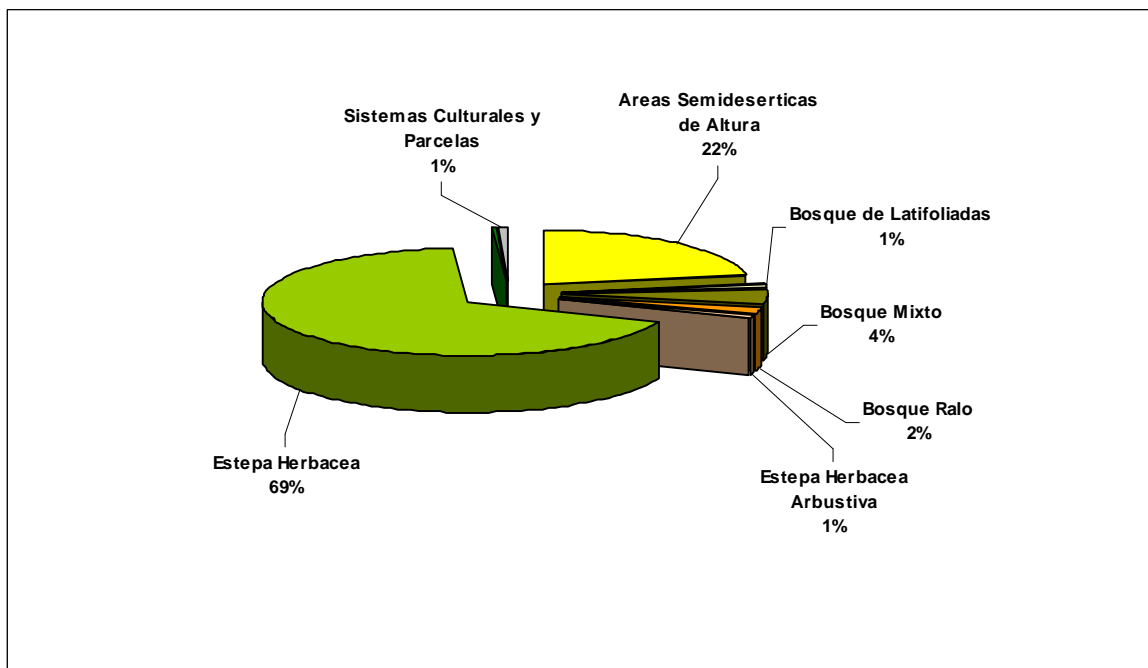
Fuente: Elaboración propia en base al Mapa Erosión Hídrica Potencial.

**5. Gráfico: Porcentaje de Superficie de las cuencas según Uso de la Tierra, afectadas por Erosión Hídrica Alta.**



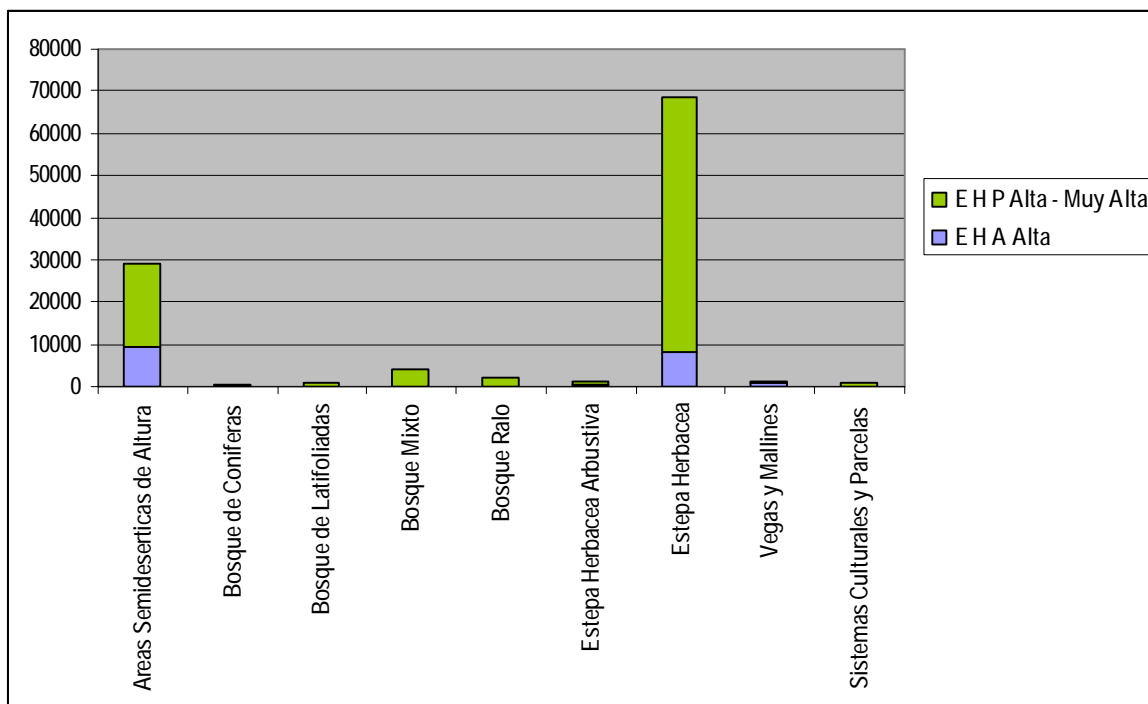
Fuente: Elaboración propia en base a la intersección Mapa Erosión Hídrica y Mapa Usos del Suelo. ArcGis.

**6. Gráfico: Porcentaje de Superficie de las cuencas según Uso de la Tierra, afectadas por una Erosión Hídrica Potencial Alta y Muy Alta.**



Fuente: Elaboración propia en base a la intersección Mapa Erosión Hídrica Potencial y Mapa Usos del Suelo. ArcGis.

**7. Gráfico: Superficies de Usos del Suelo Afectadas por Erosión Hídrica Actual Alta y por Erosión Hídrica Potencial Alta – Muy Alta**



Fuente: Elaboración propia en base a los Mapas de Erosión Hídrica Actual y Erosión Hídrica Potencial.