

Memorias



Sociedad Latinoamericana en
Percepción Remota y Sistemas
de Información Espacial
Capítulo Colombia

30
AÑOS

Medellín, Colombia
29 de Septiembre al 3 de Octubre de 2014



CLASIFICACION HIDROLOGICO FORESTAL DE LA CUENCA DEL ARROYO PATI CUA

HYDROLOGICAL AND FORESTRY CLASSIFICATION OF THE PATI – CUA STREAM BASIN

**PALAVECINO, José A¹., KOZARIK, Juan C¹., GUERRERO, Juan¹; EIBL, Beatriz¹;
VALDES, Pablo¹**

**(1) Docentes y alumnos: Facultad de Ciencias Forestales - Universidad Nacional
de Misiones – Bertoni 124 (3380) Eldorado, Misiones, Argentina- e-mail:
pala@ facfor.unam.edu.ar**

Palabras clave: Geotecnologías- Cuencas hidrográficas – Clasificación

Key Words: Geotechnologies- Hydrographical Basins– Classification

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo consiste en determinar una expresión cualitativa indicadora del grado de protección hidrológico - forestal de la cuenca del Arroyo PatiCua, ubicado en el Municipio de Eldorado, Provincia de Misiones. La metodología aplicada es la propuesta por el Instituto Forestal de Investigaciones de España en la cual intervienen variables consideradas como factores como lo son el clima, el relieve, suelos y vegetación.

Las Geotecnologías fueron el soporte de la información para la determinación de los factores mencionados. Se utilizaron cartas e imágenes del satélite LANDSAT TM 7 y el software utilizado fue Arc GIS.9.2

El clima se abordó mediante el análisis de la erosionabilidad utilizando el Índice de Fournier y la vegetación se representó por el grados de protección.

Los suelos se clasificaron según la propuesta de Lopez, Cadenas y Middleton(1930) y el relieve se determinó teniendo en cuenta las clases de pendientes. Los factores encontrados permitieron establecer una expresión cualitativa conocida como grado de torrencialidad para dos subcuencas. Se concluye que el grado de torrencialidad resulta ser muy efectivo para la clasificación cualitativa de una cuenca; ya que permite sintetizar en una sola expresión los cuatro factores intervinientes y realizar comparaciones con otros tipos de cuenca. Las Geotecnologías fueron una excelente herramienta en la construcción del banco de datos, destacando su intervención en los elementos que definieron los factores mencionados.

SUMMARY

The aim of the present work consists into determine a qualitative expression to indicate the hydrological and forestry protection degree of the PatiCua stream basin, located at the Eldorado department in the province of Misiones. The applied methodology is the one proposed by the Forestry Institute of Investigations of Spain, in which are involved some variables considered as factors, as the weather, the relief, soils and vegetation.

Geotechnologies were the support of the information for the determination of the mentioned factors. There were used maps and imagery from the LANDSAT TM 7, and the utilized software was the Arc GIS.9.2

The weather was addressed through the erosion capability analysis, using the Fournier Index; and the vegetation was represented by the protection degree.

Soils were rated according to the proposal of Lopez, Cadenas and Middleton (1930), and the relief was determined according to the type of slopes. The founded factors aloud to establish a qualitative expression known as the “torrential nature degree” for two sub-basins.

It is concluded that the torrential nature degree is very effective to the qualitative classification of a basin; due to it aloud to summarize in a single expression the four participant factors, and to perform comparisons with another type of basins.

Geotechnologies were some excellent tools in the making of a database, standing out their intervention between the elements that defined the mentioned factors.

1.- INTRODUCCION

La región fitogeográfica de la República Argentina conocida como Selva Misionera es una región que por sus características ambientales es única en la República Argentina por estar bañada por un sin número de cursos de agua que desembocan a dos grandes ríos como lo son el Paraná y el Uruguay. Es sabido que el funcionamiento de una cuenca hidrográfica se debe a la integración de factores ambientales, sociales y antrópicos. Para materializar estos estudios se requiere relevar diversa información en donde los parámetros del suelo, clima, vegetación y relieve son descriptos en forma conjunta o investigando sus interrelaciones con los problemas humanos y sociales.

Así fue como el grupo de trabajo de Corrección de Torrentes, Lucha contra las Avalanchas y Ordenación de Cuencas Hidrográficas de la FAO, planteó la necesidad de elaborar una clasificación de las cuencas a fin de llegar a evaluaciones cuali y cuantitativas de a potencialidad de a erosión.

El Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias de Madrid, propone para ello, una clasificación cualitativa por medio de expresiones indicadoras del grado de protección hidrológico forestal a modo de orientación a futuros ensayos de clasificación cuantitativa.

Teniendo en cuenta que las variables representadas por el clima, relieve, litología y suelos juega un rol importante en el comportamiento de las cuencas, el objetivo del presente trabajo consiste en identificar las expresiones cualitativas indicadoras del grado de protección hidrológico forestal de la cuenca del Arroyo Elena, utilizando las herramientas del Geoprosesamiento.

2.- MATERIAL Y METODO

La cuenca del Arroyo Pati Cuá se localiza en la Provincia de Misiones, República Argentina entre los $26^{\circ} 22' 28''$ y $26^{\circ} 24' 04''$ de Latitud S y $54^{\circ} 37'40''$ y $54^{\circ} 41'26''$ de Long W; sus aguas atraviesan el sector Oeste de la ciudad del mismo nombre y en un recorrido oeste-este, desembocan en el Río Paraná.(Figura 1)

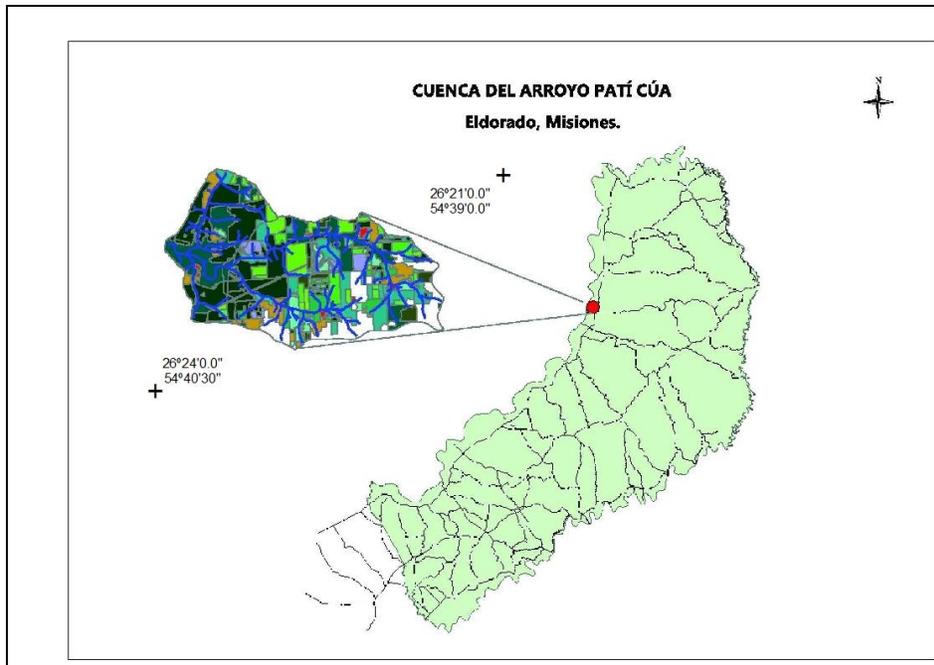


Figura 1.- Localización Geográfica: Arroyo Pati Cuá

El sistema hidrográfico está conformado por una extensa red de drenaje que converge en un colector principal que desemboca en el Río Paraná y en su paisaje se encuentran representados las más variadas culturas de ocupación de la tierra de la Selva Misionera.

Para llevar a cabo el presente trabajo, se utilizaron imágenes LANDSAT TM7, bandas 543 RGB , órbita / punto - 224/78 correspondiente al año 2000, y fotografías aéreas pancromáticas blanco y negro como material de apoyo, para identificar las distintas categorías de cobertura del suelo. Como base cartográfica se utilizaron Cartas topográficas, edáficas y geológicas de la Provincia de Misiones, confeccionadas por la empresa C.A.R.T.A. a escala 1: 50000 del año 1962. El uso de este material se debe al hecho de realizar comparaciones con el mismo material utilizado en la clasificación hidrológica de la cuenca del Arroyo Pomar (Palavecino, 2002), lindante a la cuenca del Arroyo Elena.

La información ingresó a un Sistema Geográfico de Información – ArcGis 9.2 - donde se digitalizaron los layers de uso y cobertura del suelo, suelos, geología, como así, curvas de nivel y red de drenaje que permitieron definir la morfometría de la red de drenaje propuesta por Horton (1945).

Siguiendo los lineamientos trazados por Lopez Cadenas (1968), la metodología consistió en analizar las variables que definen las condiciones naturales y ambientales de la Cuenca y expresarlas a través de los llamados Factores: Climático, Litológico – edáfico, Relieve y Grado de Protección Hidrológica.

La influencia del clima se abordó mediante el análisis de la erosionabilidad aplicando los Indices de Agresividad de Fournier y de erosión pluvial utilizando registros de precipitación y temperatura en el período 1981 – 2007 (Silva.2008).

La influencia del relieve fue analizada por la pendiente media del terreno que caracteriza la velocidad de las aguas, su poder erosivo y capacidad de arrastre de los sedimentos.

La información litológica – edáfica se obtuvo de las unidades clasificadas en la Carta Edafológica y Geológica de la Prov. de Misiones, escala 1:50000

El factor grado de protección hidrológica se encuentra representado por la cubierta vegetal que, en sus distintas combinaciones proporcionan protección al suelo, atenuando el escurrimiento superficial y por lo tanto la desaparición del horizonte superficial. Las distintas categorías de uso y cobertura del suelo definidas en la imagen LANDSAT y el posterior control a campo, permitió definir el Índice de Protección para aquellas cubiertas que ofrecen desde un alto a bajo Índice de Protección y la superficie reducida de cada una de ellas.

3.- RESULTADOS

El uso y cobertura de la tierra, geología y suelos de la Cuenca del Arroyo Pati Cuá, se visualizan en cartografía a escala 1:50000. Del análisis de esta información, la estructura de la red de drenaje y condiciones naturales, se procedió a subdividir a la Cuenca del Arroyo Pati Cuá en dos subcuencas identificadas con los números 1 y 2

Los resultados obtenidos para los cuatro factores citados anteriormente, fueron:

3. 1.- FACTOR CLIMÁTICO

Para definir el Índice Climático correspondiente al climatograma de la cuenca en estudio, se nombró al sitio como **P30PC** donde P = Colector principal correspondiente al Río Paraná; 30 = Nomenclatura catastral del municipio y PC = Arroyo Pati Cuá.

Teniendo en cuenta la influencia de las lluvias sobre la erosionabilidad del suelo, se tomaron los valores pluviométricos registrados durante el período 1981 – 2007 para el cálculo del Índice de agresividad del clima propuesto por Fournier que expresa la concentración pluvial por año a través de la siguiente relación:

$$F = p^2 / P$$

Siendo: p = precipitación del mes más lluvioso del año
P = precipitación anual

Siendo este Índice igual a 65.72 y considerando a la Cuenca del Arroyo Pati Cuá con relieve poco acentuado, se obtiene una degradación específica de 12 Tn/ha/año, correspondiéndole por lo tanto a una **erosión media**, simbolizada como **d₃**

3. 2.- FACTOR LITOLÓGICO – EDAFICO

La geoforma dominante corresponde a un pediplano parcialmente disectado, formado por lomas bien definidas y sectores escarpados o inclinados con pendientes cortas hacia los cursos de agua.

La clasificación según Lopez Cadenas para este tipo de zonas corresponde al de Rocas eruptivas = L₁₂ y Depósitos fluviales en general = L₃₁

Los estudios petrográficos identifican a la región con tipos litológicos constituidos por lateritas y por aluviones y sedimentos recientes. Las lateritas ocupan la mayor extensión de la cuenca, mientras que los suelos aluvionales de textura limo arcillosa dominan una estrecha mancha en el curso principal. (Figura 2)

La mayor ocupación del suelo corresponde al Complejo 9 identificado como suelos rojos profundos, muy evolucionados, lixiviados, arcillosos, permeables, ácidos o ligeramente ácidos, medianamente fértiles, derivados del basalto y sus fases de erosión. En parte del curso principal de su alta cuenca se encuentran suelos del Complejo 3 conocidos como aluvionales, hidromórficos, de baja fertilidad y asociados a suelos arcillosos. Al final de la desembocadura, en relieve fuertemente inclinado aparece hay una fuerte presencia del Complejo 6B, correspondiente a suelos pedregosos, poco evolucionados, jóvenes, permeables y ácidos.

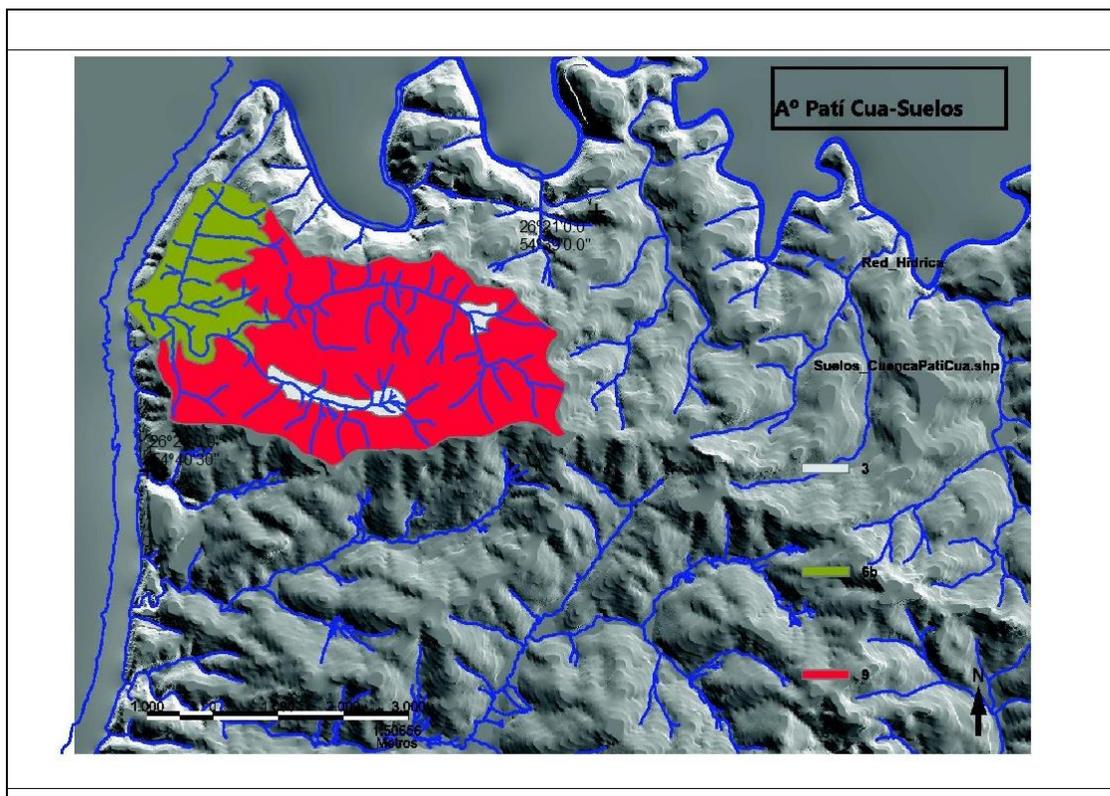


Figura N° 2.- Mapa Edafológico

Estudios realizados por Middleton (1930) sobre el carácter de erosionabilidad de la capa superficial del suelo, definieron al factor edáfico, también llamado grado de erosión obteniendo empíricamente dos valores:

Suelos no erosionables-grado de erosión < 10 (α) y Suelos erosionables-grado de erosión > 10 (β)

Para la cuenca en estudio, se ha estimado conveniente tomar el índice correspondiente a suelos no erosionables α .

3. 3.- FACTOR RELIEVE

La Cuenca del Arroyo Pati Cuá presenta un relieve con suaves ondulaciones y una moderada amplitud altimétrica de 190.26 m dentro de una superficie de 17.82 Km². El modelado fluvial gestado por la red hidrográfica determina una alta densidad de drenaje con un valor de 2.94 Km / Km² lo que significa una alta concentración de tributarios en el curso principal. (Figura 3)

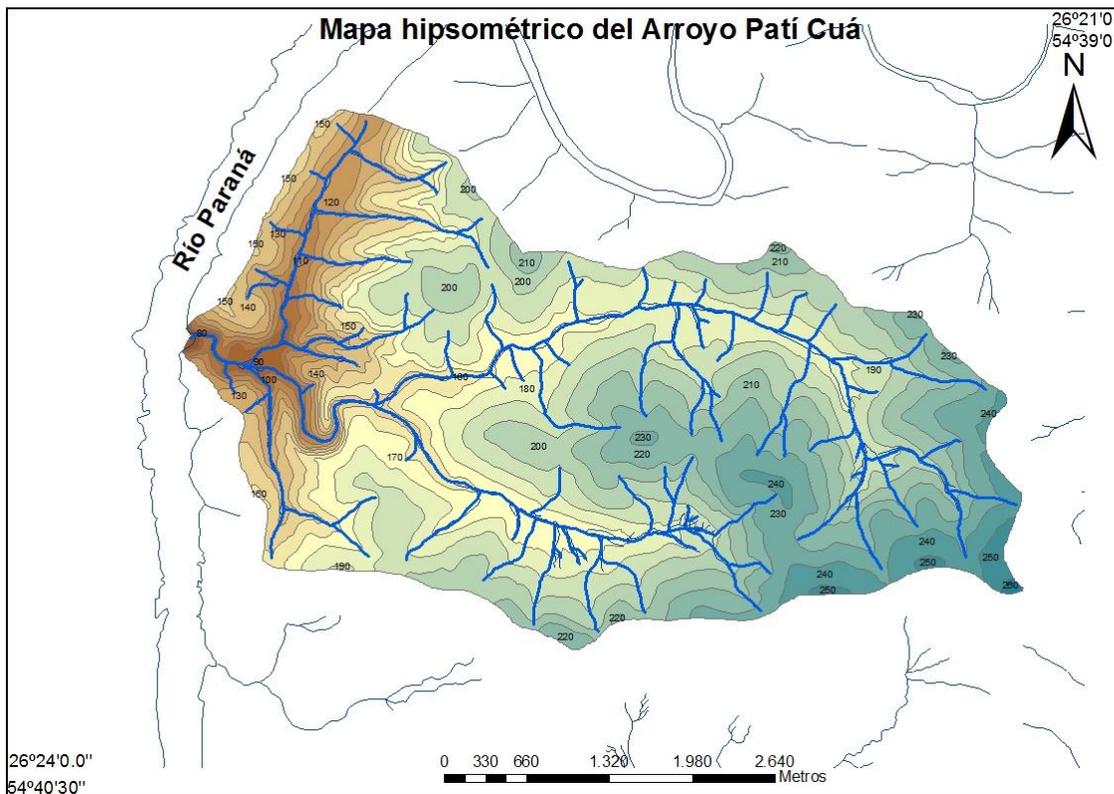


Figura N° 3.- Mapa Hipsométrico

En el proceso de la erosión hídrica, la pendiente del terreno y su longitud, son determinantes para caracterizar la velocidad de las aguas, su poder erosivo y capacidad de arrastre de los sedimentos.

Con la planimetría a escala 1:50000 se calculó la pendiente media para cada vertiente obteniéndose los siguientes resultados:

Subcuenca 1 = 13.63%

Suncuenca 2 = 7.0%

Estos valores, de acuerdo a la Tabla N° 2 responden a un **relieve accidentado** en la subcuenca 10 y **relieve suavemente ondulado** en la subcuenca 2.

Pendientes medias (%)	Relieve	Simbología
0 - 3	Plano	p ₁
3 - 7	Suavemente ondulado	p ₂
7 - 12	Medianamente ondulado	p ₃
12 - 20	Accidentado	p ₄
20 - 35	Fuerte	p ₅
35 - 50	Muy Fuerte	p ₆
50 - 75	Escarpado	p ₇
Más de 75	Muy escarpado	p ₈

Tabla N° 1: Clasificación del relieve de acuerdo a las pendientes

La simbología que representa este tipo de relieve corresponde a **p₄** y **p₂** respectivamente lo que traduce que la erosión hídrica es de carácter leve ya que las manifestaciones más visibles se presentan en surcos pequeños con ligera degradación de los horizontes superficiales.

La erosión hídrica adquiere mayor relevancia en los caminos construidos en sentido de la pendiente, sea en los accesos a las parcelas bajo cultivo como en las vías de saca producto de las explotaciones forestales, con un cuadro variable de simples canalículos a entalladuras más profundas en los sectores laterales de los caminos.

Este último caso se evidencia en las áreas periurbanas, donde la escasa pendiente y mediana cobertura del suelo, producen la deposición de materiales en épocas de precipitaciones intensas.

3. 4.- FACTOR GRADO DE PROTECCIÓN HIDROLÓGICA

La cuenca del Arroyo Pati Cuá, al igual que otras cuencas dentro del Municipio de Eldorado, presenta un espectro de actividades muy variado que cubre el suelo desde pequeños cultivos de subsistencia a grandes superficies agrícolas-forestales.(Figuras 4 y 5).

El análisis de la cartografía en su ingreso al Sistema de Información Geográfica permitió diferenciar dos unidades bien diferenciadas correspondientes a las Subcuencas 1 y 2.

(Figura 6) El área urbana se asienta en gran parte de la alta cuenca correspondiente a la subcuenca 2. Como uso de la tierra se destacan plantaciones de Araucarias, Pino, Eucaliptus, relictos del bosque natural en diversos estados, agricultura anual y perenne. En la cuenca baja correspondiente a la subcuenca 1, se hace presente en mayor cuantía el bosque natural alto y las coníferas en diversos estados, situación que provoca una mayor índice de protección en la cuenca.

De la carta de uso y cobertura del suelo del Municipio de Eldorado (Palavecino, 2003), se calculó la superficie de cada una de las unidades cartografiadas para cada subcuenca y de acuerdo a lo observado en campo con el apoyo de fotografías aéreas, se establecieron los grados de protección hidrológica para cada cobertura, teniendo en cuenta factores como ser el uso, estado y densidad producida por el dosel y el sotobosque.

La relación existente entre la superficie total reducida y la de la cuenca, revela el valor del grado de protección que oscila entre 0.0 para terrenos completamente erosionables o áreas urbanas y la unidad para terrenos completamente protegidos.

Los resultados obtenidos se observan en las siguientes figuras y tablas:

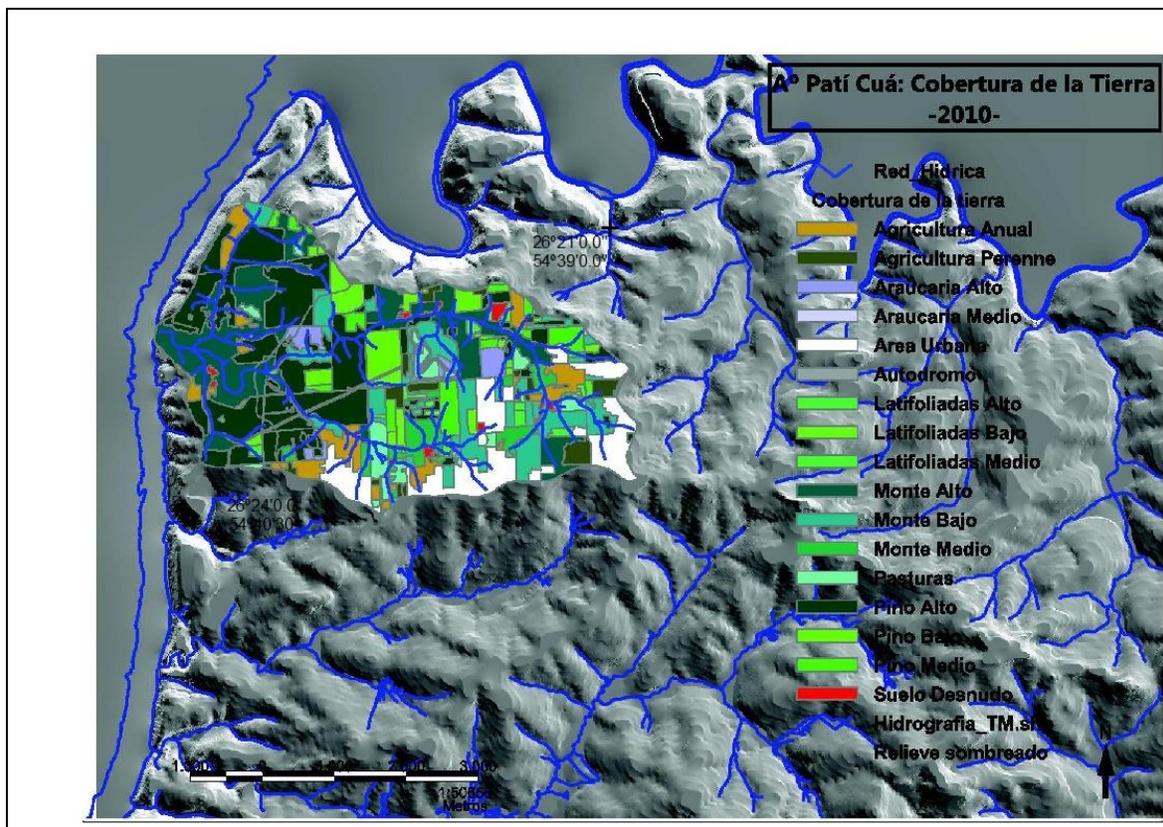


Figura N°4.- Mapa de uso y cobertura del suelo

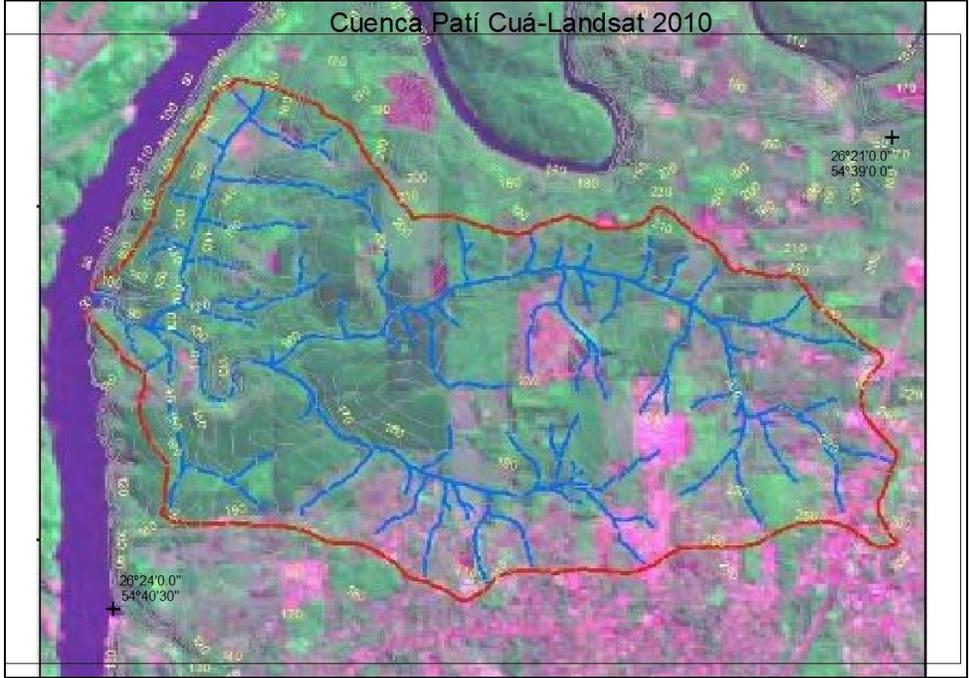


Figura N° 5 Imagen Landsat- Cuenca Arroyo Pati Cua

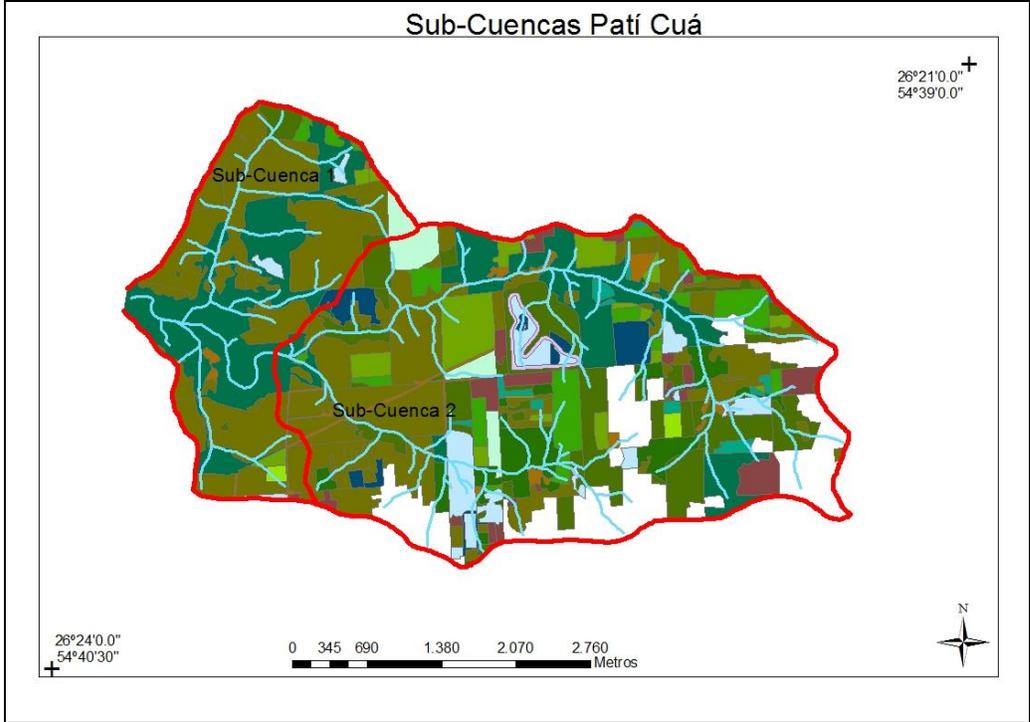


Figura N° 6 Sub- Cuencas Pati Cua

Sub cuenca 1				
Tipo de cobertura	Area	Indice de protección	Area reducida	Participación relativa (%)
Agricultura Anual	31,98	0,5	15,9912935	6,36
Agricultura Perenne	0,53	0,6	0,3206766	0,11
Araucaria Alto	2,31	0,85	1,96316425	0,46
Latifoliadas Bajo	7,78	0,6	4,6699242	1,55
Latifoliadas Medio	2,80	0,7	1,9578069	0,56
Monte Alto	181,45	0,9	163,3013784	36,07
Monte Bajo	13,20	0,6	7,9198356	2,62
Pasturas	7,08	0,5	3,5376025	1,41
Pino Alto	239,09	0,85	203,2291656	47,53
Pino Bajo	5,92	0,6	3,5524032	1,18
Pino Medio	6,23	0,7	4,358277	1,24
Suelo Desnudo	4,69	0	0	0,93
Total sub cuenca 1	503,06			

Tabla 2: Sub Cuenca n° 1 Índice de protección: $410.8/503.06=0.81$

Sub cuenca 2				
Tipo de cobertura	Area	Indice de protección	Area reducida	Participación relativa (%)
Agricultura Anual	78,54	0,5	39,2698	6,27
Agricultura Perenne	53,46	0,6	32,077101	4,27
Araucaria Alto	34,39	0,85	29,2290554	2,74
Araucaria Medio	0,46	0,7	0,322567	0,04
Area Urbana	186,75	0	0	14,90
Autodromo	8,33	0	0	0,66
Latifoliadas Alto	17,04	0,85	14,4832877	1,36
Latifoliadas Bajo	28,53	0,6	17,1156204	2,28
Latifoliadas Medio	3,64	0,7	2,5451524	0,29
Monte Alto	135,95	0,9	122,3516565	10,85
Monte Bajo	191,15	0,6	114,687504	15,25
Monte Medio	75,38	0,7	52,7640659	6,01
Pasturas	56,79	0,5	28,394852	4,53
Pino Alto	217,74	0,85	185,0819291	17,38
Pino Bajo	71,18	0,6	42,7080618	5,68
Pino Medio	71,37	0,7	49,9562756	5,69
Suelo Desnudo	22,50	0	0	1,80
Total sub cuenca 2	1253,18			

Tabla 3: Sub Cuenca n° 2 Índice de protección: $730.99/1253.18=0.58$

Los valores de Índice de Protección obtenidos definen una clase del grado de protección de acuerdo a la Tabla N° 4

Grado de Protección	Clase
1	V ₁
0.88 - 0.99	V ₂
0.6 - 0.79	V ₃
0.4 - 0.59	V ₄
0.2 - 0.39	V ₅
0.0 - 0.19	V ₆
0.0	V ₇

Tabla N° 4: Clasificación de cuencas hidrográficas de acuerdo al grado de protección

Subcuenca 1: Índice de Protección: **0.81** ⇒ Grado de Protección **V₂**

Subcuenca 2: Índice de Protección: **0.58** ⇒ Grado de Protección **V₄**

Con la información obtenida, se obtiene la clasificación hidrológica para cada vertiente expresada por la siguiente expresión conocida como Grado de Torrencialidad (E)

$$E = \frac{C \times I}{G \times V}$$

Donde: C = Clima ; I = Relieve ; G = Geología ; V = Cobertura vegetal

Por lo tanto, la expresión cualitativa correspondiente a la clasificación hidrológica para la cuenca del Arroyo Pati Cuá queda expresada de la siguiente manera:

Subcuenca 1	$\frac{(P_{30PC,d_3})p_4}{(L_{12} \alpha) V_2}$
Subcuenca 2	$\frac{(P_{30PC,d_3}) p_2}{(L_{12}/L_{31}\alpha) V_4}$

4.- DISCUSION

Analizando los valores obtenidos para cada una de las subcuencas en cuanto al clima, relieve, litología y vegetación, se denota una gran similitud en cuanto a la expresión cualitativa del estado general de la erosión hídrica, siendo factores determinantes la pendiente y el grado de protección. No obstante, de producirse grandes cambios en la cobertura vegetal, los valores de erosión hídrica pueden alcanzar mayores valores. Los valores de índice de protección obtenidos en la cuenca del arroyo Pati Cuá son levemente más bajos que los obtenidos para el Arroyo Pomar y Elena, debido a su menor superficie y crecimiento del área urbana en términos relativos.

5.- CONCLUSIONES

La cuenca del Arroyo Pati Cuá presenta situaciones hidrológicas íntimamente relacionadas a la erosión hídrica y escurrimiento superficial

En la alta cuenca correspondiente a la subcuenca 2 se desarrolla el mayor núcleo poblacional de la cuenca con mayor densidad e infraestructura que en la subcuenca 1. Si bien los relictos de bosques naturales, plantación de coníferas y yerbales ofrecen una escasa protección, el factor destacable son las pendientes cortas y cóncavas, lo cual en épocas lluviosas, la velocidad de las aguas y el escurrimiento superficial hace un mayor transporte de sedimentos dando como resultado el anegamiento y permanencia de las aguas en los sectores bajos de subcuenca 2.

En la cuenca baja o subcuenca 1, la situación es diferente, las pendientes son más largas, con mayor cantidad de tributarios que recorren la mayoría de las diferentes culturas que se desarrollan en la cuenca. La mayor representación la poseen cultivos como yerbales, pinares y agroforestales, los cuales con los bosques naturales brindan un excelente grado de protección. El área urbana encuentra su mayor desarrollo en la alta cuenca, al igual que la presencia holerías forestoindustrias y autódromo municipal. La densidad poblacional es más baja en este sector; los habitantes viven en barrios más dispersos con espacios para realizar jardinería, huertas y áreas de esparcimiento.

La expresión cualitativa del grado de torrencialidad (E) resulta ser muy efectiva para clasificar cualitativamente la cuenca ya que permite sintetizar en una sola expresión los cuatro factores intervinientes y realizar comparaciones con otros tipos de cuencas.

Los productos de los sensores remotos y las herramientas del Geoprocesamiento resultaron de gran utilidad para obtener datos espaciales y analizar los distintos factores. La metodología permitió formar un banco de datos en el Sistema de Información Geográfica a ser utilizados en próximas investigaciones que apuntarán a la utilización de productos de sensores de mejor resolución espacial y temporal.

6.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY.1968. Manual of Remote Sensing. Virginia. USA.
- C.A.R.T.A. 1964. Informe geológico y edafológico de la Provincia de Misiones. Publicación GEOMAP S.A. Génova. Italia.
- FERNANDEZ, R.; CASTELLO, L.; O'LERY, H. 1989. Estimación de la erosionabilidad de los suelos del Norte de la Provincia de Misiones. Ciencia del Suelo, Vol. 7, N° 2. Buenos Aires
- HORTON, R.E. 1945. Erosional Development of Streams and their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morfology. Sociedad Americana de Geología. Publicación N°56. U.S.A.
- IRURTIA, C.; MUSTO, J.; CULTO, P.; 1984. Características y delimitación cartográfica de factores generadores de procesos erosivos en el sector argentino de la Cuenca del Plata. INTA. Publicación N° 174. Buenos Aires.
- KOZARIK, J.; GALLO, J. 1968. Clasificación Cualitativa de la Cuenca del Arroyo Belisario. Revista Ingeniería Forestal. IOVIF. La Plata. Buenos Aires.
- LOPEZ CADENA DE LLANO, F.1964. Ensayo de Clasificación Cualitativa de Cuencas Torrenciales. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid. España.
- LOPEZ CADENA DE LLANO, F.; BLANCO CRIADO, M.; 1968. Aspectos cualitativos y cuantitativos de la erosión hídrica, del transporte y depósito de materiales. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid. España.
- MIDDLETON, H. E. 1930. Propierties of soils which influence soil erosion. U.S. Dept. Agr. Tech. Bull. 178. Mar. USA
- PALAVECINO, J. A. 2002. Clasificación cualitativa hidrologico forestal de la cuenca del Arroyo Pomar. III Internacional Geomática 2002. Habana, Cuba
- PALAVECINO, J. A. 2003. Levantamiento del uso y cobertura de la tierra en el Municipio de Eldorado, Misiones, utilizando productos de los sensores remotos. Revista YVYRARETA. N°11. FCF-UNaM.p 67-73
- SILVA, F.; EIBL, B. BOBADILLA, A. 2008. Características Climáticas de la Localidad de Eldorado, Misiones, Argentina. 13° Jornadas Técnicas, Forestales y Ambientales. Eldorado, Misiones