

DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE SEDIMENTOS PRODUCIDOS POR LA CUENCA DE GALARZA (SALTA, ARGENTINA) MEDIANTE GRAVILOVIC-DJOROVIC EN ENTORNO SIG

DETERMINATION OF THE VOLUME OF SEDIMENTS PRODUCED BY THE BASIN OF GALARZA (SALTA, ARGENTINA) THROUGH GRAVILOVIC-DJOROVIC IN GIS

Ferreira Padilla Silvia E. y Prado Gabriel Alejandro

Diplomados en Gestión Integral de Cuencas, Cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas.
Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta.

Dirección de correspondencia: Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Av. Bolivia 5150 (4400) Salta- Argentina.

Correo electrónico: silferreira11@gmail.com

Celular: (+549) 154534877

RESUMEN

Se determinó la producción de los sedimentos de la cuenca del río Galarza (Salta, Argentina) mediante el modelo de Graviilovic-Djorovic (Gavrilovic, 1959, 1988) en entorno de Sistema de Información Geográfica. Se utilizaron imágenes satelitales Landsat 5 TM y Modelo Digital de Elevación (MDE) ASTER de la NASA. Se procesó la información climática para obtener el modelo digital de isohietas medias anuales e isotermas medias anuales de la zona, a partir de la información de estaciones meteorológicas de Gral. Mosconi y Campamento Vespucio. Se realizó clasificación supervisada de la vegetación y se empleó Mapa de Suelos Salta - Jujuy de Nadir y Chafatinos (1990). La metodología estima la descarga media anual de material erosionado, a través del producto de la producción media anual de sedimentos por erosión superficial (W) y el coeficiente de retención de sedimentos (R). Se relevó información a campo y por análisis de las imágenes satelitales. Se construyeron diversos mapas en entorno SIG para aplicar el modelo. La descarga media anual de material erosionado G es igual a 24.608,6 m³/año. La producción de sedimentos evaluada por esta metodología Graviilovic-Djorovic, da resultados que indican un nivel de degradación es muy alta (nivel 6), Mármol (2008) y Ferreira Padilla (2019). Los máximos valores observados en el mapa de distribución de la descarga media anual de material erosionado, se localizan principalmente al occidente de la cuenca coincidente con la distribución de pendientes pronunciadas, y con valores medios en áreas degradadas y áreas de cultivos.

PALABRAS CLAVE

Volumen de sedimentos, cuenca montañosa, erosión hídrica.

ABSTRACT

The production of the sediments of the Galarza river basin (Salta, Argentina) was determined by means of

the Graviilovic-Djorovic model (Gavrilovic, 1959, 1988) in the Geographical Information System environment. Landsat 5 TM satellite imagery and NASA's Digital Elevation Model (ASD) were used. The climatic information was processed to obtain the digital model of annual average and annual isothermal isohietas of the zone, from the information of meteorological stations of General Mosconi and Camp Vespucio. A supervised classification of the vegetation was carried out and the Map of Soils Salta - Jujuy de Nadir and Chafatinos (1990) was used. The methodology estimates the average annual discharge of eroded material, through the product of the average annual production of sediments by surface erosion (W) and the sediment retention coefficient (R). Information was collected in the field and by analysis of the satellite images. Several maps were built in SIG environment to apply the model. The average annual discharge of eroded material G is equal to 24,608.6 m³ / year. The sediment production evaluated by the Graviilovic - Djorovic methodology, gives results that indicate a level of degradation is very high (level 6), Mármol (2008) and Ferreira Padilla (2019). The maximum values observed in the map of distribution of the average annual discharge of eroded material, are located mainly to the west of the basin coinciding with the distribution of steep slopes, and with average values in degraded areas and areas of crops.

KEY WORDS

Volume of sediments, mountain basin, water erosion.

INTRODUCCION

La cuenca de la quebrada de Galarza (149 km²), se ubica en el Departamento San Martín, al sureste de la sierra de Tartagal o de Aguara Güe, al norte de la provincia de Salta, Argentina (Figura 1). Se trata de una cuenca torrencial donde se generan diferentes procesos erosivos y gravitacionales (deslizamientos, caídas de detritos, derrumbes, flujos densos, etc.) en los que

intervienen factores naturales y antrópicos. La geología, el relieve y las precipitaciones presentan un rol importante a los que se les suma el efecto sinérgico de las actividades económicas (grandes superficies fueron desmontadas para agricultura).

Esta cuenca está constituida por dos cursos principales, la quebrada homónima hacia el norte, y la quebrada Agua Hedionda al sur, tributaria al llegar a la ruta nacional 34. Hacia el este de la ruta nacional 34 sobre llanura aluvial se observa la gran superficie de tierras que fueron incorporadas a la actividad agrícola (principalmente soja) disecadas o atravesadas por los cauces de los cursos más importantes que tienen rumbo este-sureste, que permanecen secos la mayor parte del año para activarse en la temporada húmeda de octubre a marzo (Prado, 2011).

Este río vierte sus caudales de excesos en un área deprimida anegadiza conocida como Bañados el Tucuzal (a 45 km al sureste de la Localidad de General Mosconi). En la franja oeste de la ruta nacional 34 se caracteriza por albergar los tramos inferiores de los cursos que descienden desde la sierra de Tartagal. Con la explotación agrícola, muchos de estos cauces fueron literalmente “borrados” del territorio a través de desmontes y posterior laboreo de tierras, reemplazando la mayoría de los cauces por canales rectilíneos localizados en las líneas de linderos de las propiedades (Fariás, 2009). En el piedemonte de la quebrada de Galarza (franja este) la agricultura modificó de igual manera la dinámica hídrica de la escorrentía superficial y las zonas de derrame natural, Figura 1 (Prado, 2011).

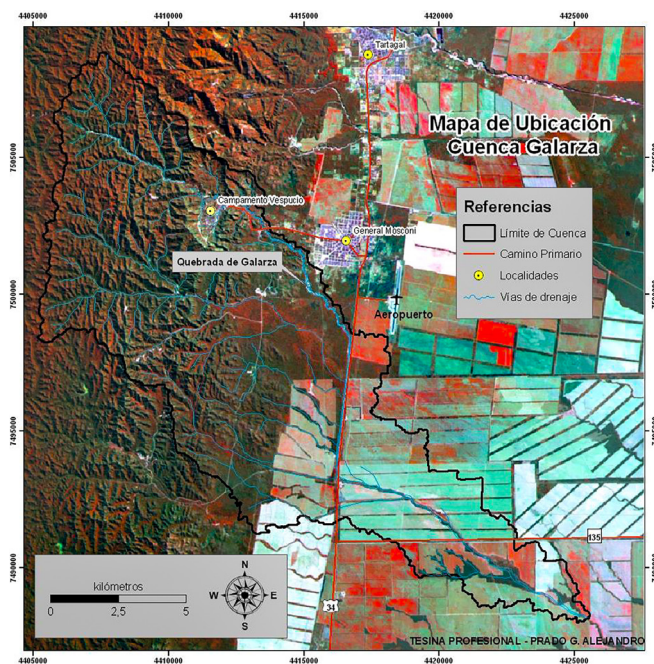


Figura 1. Cuenca de Galarza, Provincia de Salta- Argentina. Fuente: Prado 2011.

La zona de bañados del Tucuzal se ubica al sureste y es el sector de menor altura de la región con aproximadamente 290 m.s.n.m., corresponde a una depresión elongada en sentido de la pendiente, que recibe los caudales de numerosos cursos que avenan la laderas orientales de la sierra de Tartagal y de las serranías de Campo Durán. La red de drenaje en el sector de las nacientes está fuertemente controlada por la estructura, litología, actitud de los estratos y por la fuerte pendiente longitudinal que produce un tránsito rápido del agua con elevada capacidad de erosión y transporte de sedimentos (Amengual y Sciortino, 2005).

El objetivo de este artículo es determinar la producción de sedimentos por erosión hídrica utilizando el modelo de Graviilovic-Djorovic, aplicando SIG (Sistema de Información Geográfica).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de éste artículo se utilizó la información generada en la Tesina Profesional del Ing. Gabriel Alejandro Prado (2011), Universidad Nacional de Salta. Se empleó una serie de imágenes satelitales Landsat 5 TM, Path/Row 230/76 tomadas del año 2011 del INPE, que fueron georreferenciadas e interpretadas en detalle. Los datos altimétricos utilizados corresponden al Modelo Digital de Elevación (MDE) ASTER de la NASA (Figura 2).

Se confeccionó la cartografía preliminar, la que posteriormente fue cotejada con datos relevados en el terreno. Se trabajó con el sistema de referencia POSGAR 94, proyección Gauss Krüger Faja 4 para la presentación de los mapas. Se procesó la información climática para obtener el modelo digital de isohietas medias anuales e isotermas medias anuales (Figuras 4 y 5) de la zona, a partir de la información de estaciones meteorológicas de Gral. Mosconi y Campamento Vespucio.

Para determinar las clases de cobertura suelo se realizó una clasificación supervisada mediante procesamiento de las imágenes satelitales Landsat 5 Tm en entorno SIG, corroboradas con muestreos de campo. Se empleó Mapa de Suelos Salta – Jujuy, escala 1:500.000. Hoja II, de Nadir y Chafatinos (1990), para determinar unidades de suelos que conforman la zona de estudio, con pozos de observación en el terreno. También se observó en campo y gabinete indicios de erosión hídrica y estado de degradación.

La producción anual de sedimentos se determinó por la metodología de Graviilovic – Djorovic (Gavriliovic, 1959, 1988) citada en Mármol 2008 y Ferreira Padilla (2019). Los cálculos de trabajo se procesaron utilizando un SIG que trabaja en formato ráster y vectorial. Esta metodología estima la descarga media anual de material

erosionado, a través del producto de la producción media anual de sedimentos por erosión superficial (W) y el coeficiente de retención de sedimentos (R). Ambos parámetros se calcularon separadamente.

$$G = W * R \text{ (m}^3\text{/año)}$$

Donde: G: Descarga media anual de material erosionado
W: Producción de sedimentos

R: Coeficiente de retención de sedimentos

$$W = T * h * \pi * Z^{3/2} * F \text{ (m}^3\text{/año)}$$

Donde: W: Producción media anual de sedimento por erosión superficial

T: Coeficiente de temperatura h: precipitación media anual (mm/año)

F: superficie de la cuenca en estudio (km²) Z: coeficiente de erosión

$$T = [(t / 10) + 0.1]^{1/2} \quad \text{Siendo t: temperatura promedio anual}$$

$$Z = X Y (\varphi + I^{1/2})$$

Donde: X: coeficiente de uso del suelo Y: coeficiente de resistencia del suelo a la erosión φ : coeficiente correspondiente al tipo de proceso erosivo observado I: pendiente superficial del terreno (%) El coeficiente de retención de sedimentos (R), se determinó aplicando la siguiente fórmula:

$$R = \frac{(OD)^{1/2} (Lc + Li)}{(Lc + 10) F}$$

Donde: O: perímetro de la cuenca (km) D: diferencia de nivel media en la cuenca (km)

D = Dm – Dc Dm: cota media de la cuenca (m) Dc: cota mínima de la cuenca (m)

Lc: longitud máxima del cauce principal (km)

Li: longitud total de los afluentes fluviales laterales (km)

F: superficie de la cuenca (km²)

Determinación del parámetro W

Los valores de W se obtuvieron para cada celda, trabajando con píxeles de 30 metros. De ésta forma para cada celda se calculó el término:

$$Wc/Fc = T * h * \pi * Z^{3/2} * \text{(m}^3\text{/año.km}^2\text{)}$$

Siendo: Wc: volumen promedio anual de sedimento erosionado en la celda (m³/año)

Fc: superficie de la celda (km²)

Para poder llevar a cabo esta operación se contó con imágenes ráster de cada una de las variables que intervienen en el cálculo. El parámetro T se calculó mediante el uso del Mapa de Isotermas Medias Anuales (Figura 5).

El parámetro h corresponde al Mapa de Isohietas Medias Anuales en mm/año (Figura 4). Para el cálculo del parámetro Z, se calculó el valor para cada celda de cada uno de los coeficientes (X, Y,) que intervienen en su determinación. En la Tabla 1 se presentan los valores recomendados de X, Y y φ respectivamente.

Tabla 1. Valores de los coeficientes X, Y, φ . Fuente: Brea et al, (1999)

Coeficiente de uso del suelo X	
Tierra desnuda no cultivables (badlands)	1,0
Campos cultivados arriba y debajo de serranías	0,9
Huertos y viñedos sin vegetación baja	0,7
Cultivos en curvas de nivel	0,63
Bosques y arbustos degradados sobre suelos erosionados	0,6
Pastizales secos de montaña	0,6
Pasturas y cultivos perennes	0,4
Pasturas cultivadas y bien drenadas	0,3
Bosques bien conservados sobre laderas de pendientes pronunciadas	0,2
Bosques bien conservados sobre laderas de pendientes suaves	0,05
Coeficiente de resistencia a la erosión del suelo Y	
Arena, grava y suelo suelto	2,0
Loess, tobas, suelos salinos, suelos de estepa y similares	1,6
Piedra calizas y margas	1,2
Areniscas rojas y depósitos	1,1
Podzoles, parapodzoles, esquistos desintegrados, micas, gneis, esquistos arcillosos, etc.	1,0
Calizas compactas y pizarrosas, suelos con humus y silicatos	0,9
Suelos forestales marrones y suelos de montañas	0,8
Suelos de valles y suelos de ciénagas	0,6
Depósitos aluviales de buena textura	0,5
Rocas ígneas compactas y desgastadas	0,25
Coeficiente que evalúa los procesos erosivos observados φ	
Cuenca totalmente afectado por procesos de erosión profunda	1,0
Menos del 80% área afectada por surcos y cárcavas	0,9
Menos del 50% área afectada por surcos y cárcavas	0,8
Toda la zona afectada por erosión superficial, flujo de detritos y escombros, algunos surcos y cárcavas y fuerte erosión cárstica	0,7
Toda el área afectada por erosión pero sin efectos visibles profundos (surcos, cárcavas, caídas de rocas, etc.)	0,6
50% del área afectada por erosión superficial	0,5
20% del área afectada por erosión superficial	0,3
Superficies sin efectos visibles de erosión, leve derrumbes en cauces	0,2
Superficies sin efectos visibles de erosión, mayormente campos de cultivos	0,15
Superficies sin efectos visibles de erosión, principalmente bosques, pastizales, cultivos perennes, pasturas, etc.	0,1

Para determinar el coeficiente de uso del suelo (X), se desarrolló el Mapa de Coberturas (Figura 6) y se tuvieron en cuenta los trabajos realizados por Cabrera (1976), y Rodríguez Lescano (2010).

Para cuantificar el Coeficiente de resistencia del suelo a la erosión (Y), se usó como base el Mapa de Suelos (Figura 7), teniendo en cuenta los materiales originales. Para la determinación del Coeficiente que evalúa los procesos erosivos observados (φ), se contó con los datos observados a campo y con la interpretación de imágenes satelitales.

El valor de la pendiente superficial del terreno I , se calculó con los datos del Modelo de Elevación Digital. Con las distribuciones espaciales de X , Y , e I , se calcula $Z^{3/2}$ para cada píxel. Una vez obtenidos todos los parámetros con su distribución espacial, y teniendo en cuenta que la superficie de las celdas (900 m²) es una constante, se operó entre ellas para hallar el valor de Wc .

Posteriormente se aplicó la sumatoria de los valores Wc de las celdas incluidas en la superficie de la cuenca. Obteniendo de esa manera el valor del volumen promedio anual erosionado de sedimento (m³/año):

$$W = \sum Wc = Fc \sum (T. h. \pi. Z^{3/2})$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presenta el Modelo Digital de Elevación construido para la cuenca del río Galarza (Figura 2), a partir del cual se generó el Mapa de Curvas de Nivel (Figura 3), con equidistancia de 20 y 300 m.

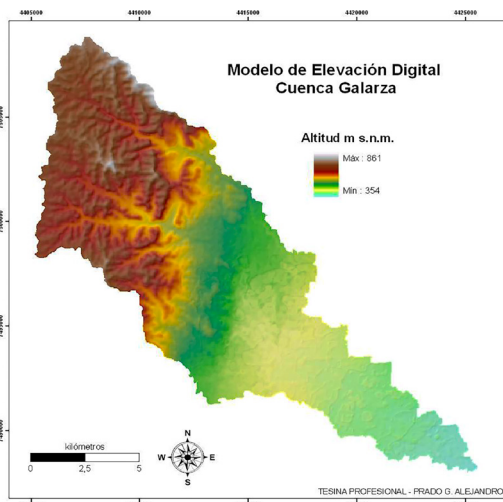


Figura 2. Modelo de Elevación Digital de cuenca de Galarza.

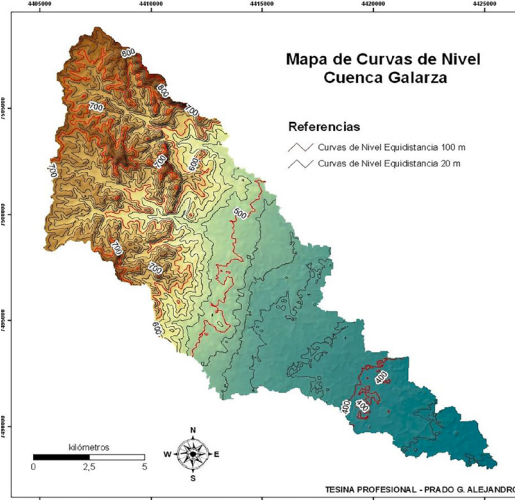


Figura 3. Mapa de Curvas de Nivel de cuenca de Galarza. Fuente: Prado, 2011.

A continuación, en las Figuras 4 y 5 se presentan los modelos digitales de precipitaciones y temperaturas anuales para la cuenca en estudio. Los mismos fueron generados en entorno SIG a partir de la interpolación de registros medios anuales de las estaciones meteorológicas de Gral. Mosconi y Campamento Vespucio, teniendo en cuenta el efecto del factor orográfico. Se observa la distribución de precipitaciones con tendencia a aumentar hacia la sierra de Tartagal, evidenciando el efecto genético del factor orográfico.

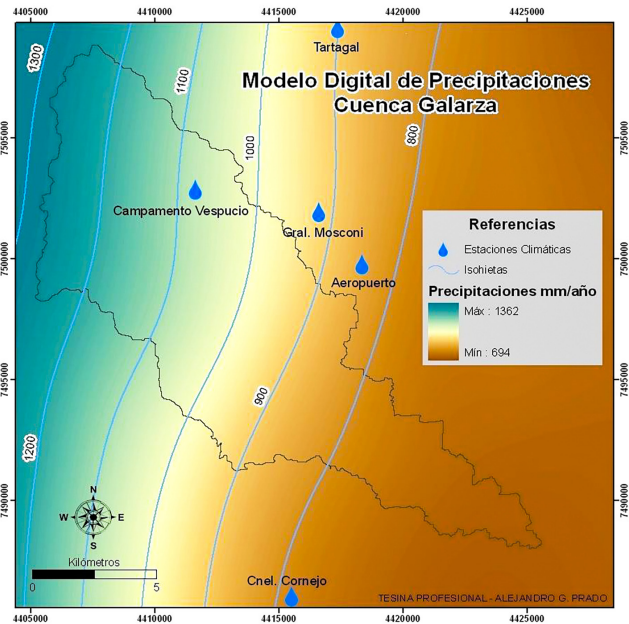


Figura 4. Modelo Digital de Precipitaciones Medias Anuales.

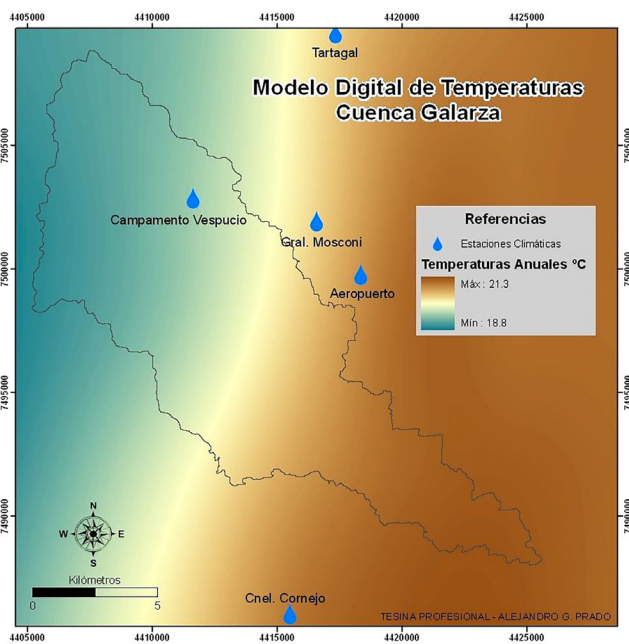


Figura 5. Modelo Digital de Temperaturas Medias Anuales. Fuente Prado (2011).

El régimen de precipitaciones de la cuenca en estudio es tropical con estación seca, las lluvias se concentran en el periodo estival de manera tal que de noviembre a marzo se supera el 80 % del total anual precipitado, mientras que los inviernos son extremadamente secos. Las precipitaciones son elevadas, presentando valores medios de 1084 mm anuales registrados en Campamento Vespucio, y de 906 mm anuales en General Mosconi. Analizando el modelo digital de precipitaciones, el cual está estrechamente relacionado con la topografía, se puede observar que las máximas precipitaciones identificadas resultan superiores a los 1200 mm ubicadas en el extremo occidental de la cuenca y a medida que nos alejamos hacia el este, la magnitud de las lluvias se reduce considerablemente.

El régimen térmico de la zona se caracteriza por presentar elevadas temperaturas, la máxima absoluta registrada supera los 48 °C, con persistencia de varios días por encima de los 40 °C, una media de máximos diarios de 29,9 °C y la media de los mínimos diarios es de 15,9 °C; la amplitud térmica media anual es de 12 °C con máximos de 22 °C. Según la clasificación climática de Thornthwaite, es Húmedo, Mesotérmico, con poco déficit hídrico durante las estaciones, y con menos de 48 % de eficacia térmica en el verano.

La vegetación presente en la cuenca en estudio pertenece al Dominio Amazónico, Provincia de las Yungas, Distrito de las Selvas de Transición y Distrito de las Selvas Montanas (Cabrera, 1976). Se detallan las especies presentes en el área de estudio de acuerdo a Rodríguez Lescano (2010). El distrito de Selva Montana está representado en las zonas altas de la cuenca, donde las precipitaciones son superiores a los 1.000 mm anuales, principalmente distribuida en fondos de quebradas y laderas sombrías húmedas a partir de los 600 m.s.n.m. En la Tabla 2 se detallan las especies arbóreas presentes.

Tabla 2. Especies arbóreas de la Selva Montana de la cuenca de Galarza. Fuente: Rodríguez Lescano (2010).

Nombre científico	Nombre común
<i>Ocotea porphyra</i> (Griseb.) Van der Werff	Laurel de la falda
<i>Cedrela balansae</i> C. DC.	Cedro salteño
<i>Myrcianthes mato</i> (Gniseb) McVaugh	Mato
<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C. Sm.	Roble, Trébol
<i>Gleditsia amorphoides</i> (Gniseb) Taub	Espina corona
<i>Calycophyllum multiflorum</i> Gniseb	Palo blanco
<i>Anadenanthera coubrina</i> (Vel.) Brenan	cebil colorado
<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	tipa colorada o Viraro
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O. Berg	Palo barroso
<i>Allophylus edulis</i> (A. St.-Hil.) A. Juss & Cambess) Hieron.	Chaichal
<i>Senna spectabilis</i> (DC.) H.S. Irwin y Bameby	Camaval
<i>Terminalia triflora</i> (Griseb) Lillo	Lanza amarilla
<i>Ceiba chodat</i> (Hass) Ravenna	Palo borracho-Yuchán
<i>Gleditsia amorphoides</i> (Gniseb) Taub var <i>amorphoides</i>	Espina corona
<i>Chloroleucon tenurilorum</i> (Benth.) Barneby & J.W. Grimes	Espinillo
<i>Cascaronia astragalina</i> Gniseb	Tipa amarilla
<i>Lonchocarpus ina</i> (Hassl.) Burkat	Quina blanca
<i>Eugenia uniflora</i> L.	Arrayan de Montaña
<i>Ruprechtia laxiflora</i> Meisn.	Viraru
<i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mad. & Eichler) Engl.	Aguay
<i>Parappadenia excelsa</i> (Gnse) Burkart	Horco cebil
<i>Juglans australis</i> Griseb	Nogal criollo

El distrito de Selva de Transición, ubicada en los faldeos de las serranías de escasa altitud y en la zona de piedemonte, con lluvias de 600 a 1000 mm anuales. En la Tabla 3 se detallan las especies arbóreas presentes.

Tabla 3. Especies arbóreas de la Selva de Transición o Pedemontana en la cuenca de Galarza. Fuente: Rodríguez Lescano (2010)

Nombre científico	Nombre común
<i>Tipuana tipu</i> (Benth) Kuntze	Tipa blanca
<i>Cedrela balansae</i> C. DC.	Cedro salteño
<i>Maclura tinctoria</i> Steud ssp. <i>Tinctoria</i>	Mora amarilla
<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C. Sm.	Roble, Trébol
<i>Gleditsia amorphoides</i> (Griseb) Taub.	Espina corona
<i>Calycophyllum multiorum</i> Griseb.	Palo blanco
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vel) Brenan	cebil colorado
<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	tipa colorada o Viraro
<i>Myroxylon peruferum</i> Lf.	Quina, Incienso Colorado
<i>Allophylus edulis</i> (A. St.-H, A. Juss & Cambess.) Heron	Chaichal
<i>Tecoma stans</i>	guarán amarillo
<i>Ceiba chodat</i> (Hassl) Ravenna	Palo borracho o Yuchán
<i>Gleditsia amorphoides</i> (Griseb.) Taub var. <i>amorphoides</i>	Espina corona
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão.	Urundel
<i>Ruprechtia inflora</i>	duraznillo
<i>Tessaria integrifolia</i> var. <i>integrefolia</i> Ruiz & Pav. var. <i>integrifolia</i>	Palo bobo
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vel.) Morong	Pacara o Timbo colorado
<i>Cordia trichotoma</i> (Vell) Aráb. ex Steud	Peteribi
<i>Patagonula amencana</i>	lanza blanca
<i>Perapitadenia excelsa</i> (Gniseb) Burkart	Horco cebil
<i>Pisonia zapallo</i> Griseb. var <i>zapallo</i>	Zapallo caspi
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart ex DC.) Mattos	Lapacho Rosado
<i>Salix humboldtiana</i> Willd. var. <i>humboldtiana</i>	Sauce
<i>Schinopsis haenkeana</i> Engl.	Horco Quebracho
<i>Cordia saccolia</i> Gottschling y J.S. Molino.	Guayabil

En la Figura 6 se presenta el Mapa de Coberturas para la cuenca en estudio obtenido a partir de la clasificación supervisada de imágenes satelitales Landsat 5 Tm. Se procesó en entorno SIG, y se definieron seis clases de coberturas. En la Tabla 4 se indica la superficie, porcentaje y valores de X asignados a cada clase de coberturas definidas en la cuenca, de acuerdo a Tabla 1.

Coberturas	Área (km ²)	Porcentaje	Valor de X
Cultivos	47,49	31,81	0,9
Selva Montana	19,41	13	0,2
Selva Transición Exposición Oeste	21,59	14,46	0,2
Selva Transición Exposición Este	30,08	20,15	0,2
Selva Pedemontana	30,72	20,58	0,6

La cuenca en estudio está caracterizada por asociaciones de suelos, que respetan el lineamiento morfológico de la zona (Figura 7). En la Tabla 5 se resumen las superficies relativas para cada unidad de suelo y valores asignados de Y, según Tabla 1.

La cubierta vegetal presente en la cuenca fue extensamente explotada observándose escasos ejemplares de maderas valiosas con gran número de renovales, y numerosos troncos cortados de distintos portes, especialmente en la Selva de Pedemontana. También hay que agregar el impacto que genera la ganadería a monte sin manejo y la tala localizada que realizan pobladores

locales con fines de subsistencia que aumentan el nivel de deterioro del bosque.

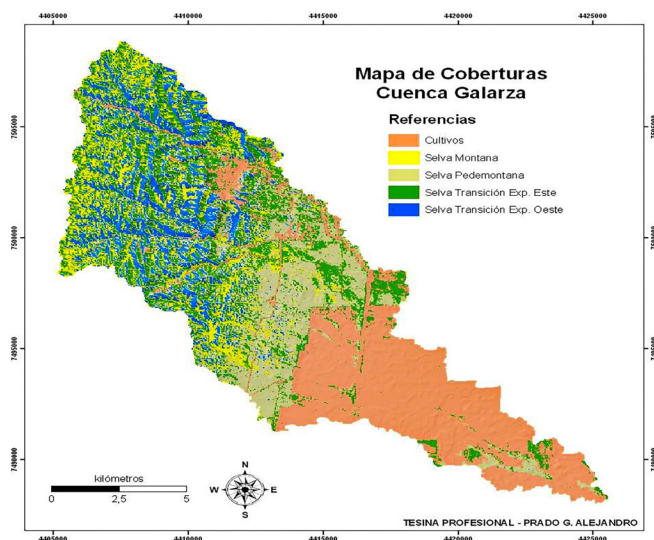


Figura 6. Mapa de coberturas en la Cuenca Galarza

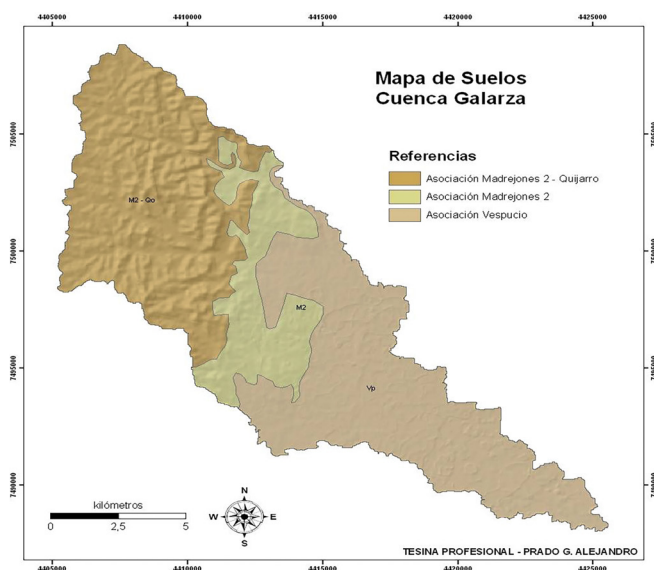


Figura 7. Mapa de Unidades de Suelos en la cuenca Galarza. Fuente Prado, 2010.

Tabla 5. Superficies, Porcentajes y valores Y de las unidades de suelos

Asociación	Área (km ²)	%	Valor de Y
Madrejones 2 – Quijarro	61,733	41,35	1,1
Madrejones 2	23,07	15,45	1,1
Vespucio	64,494	43,2	0,5

Dentro de los suelos determinados en la cuenca, en el sector occidental predominan los franco – limosos (Asociación Madrejones 2 – Quijarro) y franco arenosos (Asociación Madrejones 2), con un elevado porcentaje

de materia orgánica en superficie. Mientras que el sector oriental de la cuenca está representado por suelos de textura franca arcillosa (Asociación Vespucio), con reducido contenido de materia orgánica en áreas de cultivos.

El parámetro **T** se obtuvo a través del modelo digital de temperaturas anuales aplicando la ecuación correspondiente. La pendiente superficial del terreno **I** se obtuvo directamente del modelo digital del terreno. Los valores de **X**, **Y** y ϕ se obtuvieron de la Tabla 1 teniendo en cuenta las características de la vegetación, de los suelos y del estado de degradación que presenta la cuenca en estudio. El mapa con su distribución espacial se obtuvo reclasificando el mapa de las unidades de suelos asignando los valores de **Y** en cada unidad.

Para determinar el coeficiente que evalúa los procesos erosivos observados (ϕ) se tuvieron en cuenta las observaciones de campo y la interpretación de las imágenes satelitales. Este parámetro es el menos sensible en la determinación de la producción de sedimentos (Cadore, Peviani, Baldi, 1994, en Brea et al, 1999).

El ambiente serrano de la cuenca presenta un relieve estructural, con elevadas pendientes de ladera que coinciden aproximadamente con las inclinaciones de capas en ambos flancos del anticlinal, favoreciendo la generación de cárcavas y movimientos en masa. Se caracteriza por presentar afloramientos que están constituidos principalmente por rocas deleznales y tienen gran incidencia en la generación de procesos de remoción en masa.

Se determinó que toda el área de estudio está afectada por erosión pero sin efectos visibles profundos (cárcavas, surcos, etc.), por lo que el valor del coeficiente ϕ corresponde a **0,6**, asignándole el valor obtenido a la superficie total de la cuenca, determinando la distribución espacial de ϕ .

Los coeficientes **X**, **Y**, ϕ representan, respectivamente, el grado de protección al suelo dado por la vegetación y la intervención antrópica, el grado de erodabilidad del suelo, y el estado de inestabilidad de la cuenca (Brea et al, 1999). Posteriormente con las distribuciones espaciales de las variables **X**, **Y**, ϕ , e **I**, se operó con el SIG para obtener el Coeficiente de Erosión (**Z**) distribuido en la cuenca (Figura 8). Este mapa refleja el peso relativo que presentan las 4 variables en la determinación de los sitios más susceptibles a ser afectados por erosión superficial. El coeficiente de erosión (**Z**) varía de **0,055 a 1,4714** en toda la cuenca, con un valor medio de **0,2765**, determinando que la erosión para el área de estudio es débil, que corresponde a la **clase IV**, según Aguilo Bonin (1984) para valores de **Z**.

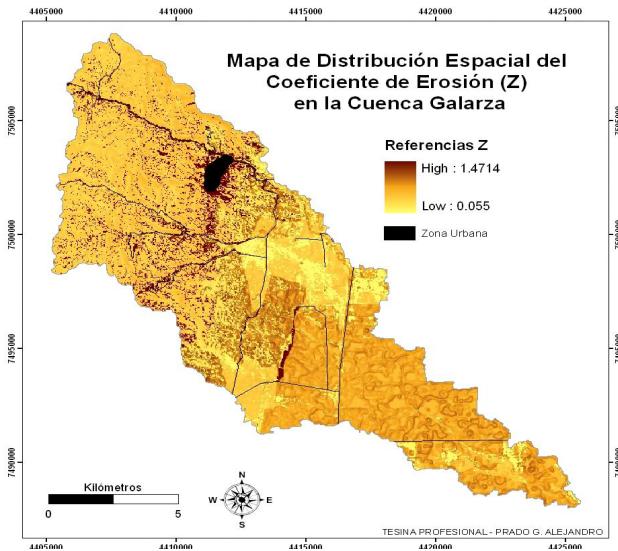


Figura 8. Mapa del Coeficiente de Erosión Z en la cuenca Galarza

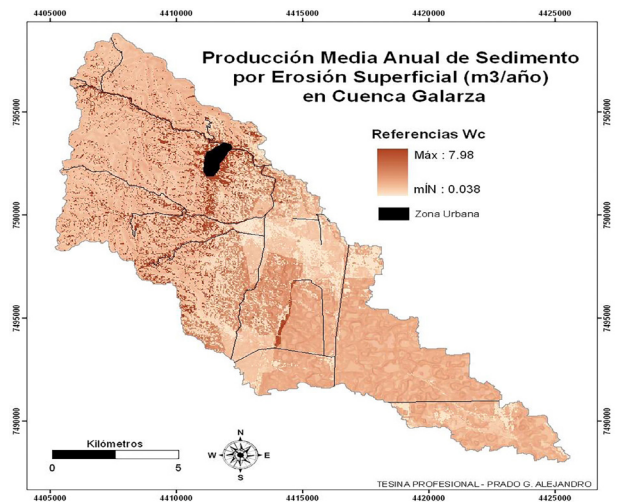


Figura 9. Mapa de Producción media anual de sedimentos en la cuenca Galarza. Fuente: Prado (2011).

Obtenidos los mapas de los parámetros **T**, **h**, **Z**, y teniendo en cuenta que para los cálculos, se trabajó con píxeles de 30 metros (siendo el área de los mismos igual a 900 m²), se operó entre ellos de forma tal de hallar el valor de la producción media anual de sedimento por erosión superficial (**Wc**) para cada píxel que componen la cuenca estudiada.

Obteniendo como resultado, la distribución espacial del parámetro **Wc** presentado en la Figura 9, que es un claro indicador de las zonas más susceptibles de ser atacadas por erosión superficial. Muestra una producción de sedimento **mínima** de **0,038 m³/año** y una **máxima** de **7,98 m³/año** ubicada principalmente en el sector occidental de la cuenca coincidente con la distribución de pendientes pronunciadas, con valores medios en áreas degradadas y áreas de cultivos.

Como la superficie de los píxeles (**Fc**) es una constante (900m²), el valor del volumen promedio anual erosionado de sedimento (**W**) se calculó sumando todos los valores de **Wc** de las celdas o píxeles incluidos en la superficie de la cuenca estudiada. Siendo la producción de sedimentos **W** igual a **98.949 m³/año**.

El valor del coeficiente de retención de sedimentos **R** depende de parámetros que caracterizan a toda la cuenca por lo que habrá un único valor (Brea et al, 1999). La Tabla 6 indica los valores que se emplearon en el cálculo de **R**. Los mismos se obtuvieron mediante el uso de herramientas de procesamiento digital del software utilizado.

Siendo el coeficiente de retención de sedimentos **R** para la cuenca igual a **0,2487**. En la Figura 9 se aprecia la descarga media anual de material erosionado (**Gc**) distribuida en toda la cuenca de estudio. El mismo resultó del producto entre el mapa de **Wc** y el valor obtenido de **R**. Se aprecia un valor **mínimo** de **0,01 (m³/año)** y un **máximo** de **1,98 (m³/año)** localizada principalmente al occidente de la cuenca coincidente con la distribución de pendientes pronunciadas (mayor a 50 %), con valores medios en áreas degradadas y áreas de cultivos.

Tabla 6. Valores considerados en el cálculo de R

Parámetros	Valores
Perímetro de la cuenca (km)	104,8
Diferencia de nivel media de la cuenca (km)	0,1876
Cota media de la cuenca (m)	541,6
Cota mínima de la cuenca (m)	354
Longitud máxima del cauce principal (km)	36,5
Longitud total de afluentes laterales (km)	352,97
Superficie de la cuenca (km ²)	149,3

El cálculo final consiste en la determinación del volumen de sedimento producido por erosión y transportado a la sección final de la cuenca (**G**), sumando los valores de **Gc** de los píxeles que componen la cuenca estudiada.

$$G = \Sigma Gc = W * R [m^3/año]$$

Por lo tanto, la descarga media anual de material erosionado **G** igual a **24.608,6 m³/año**.

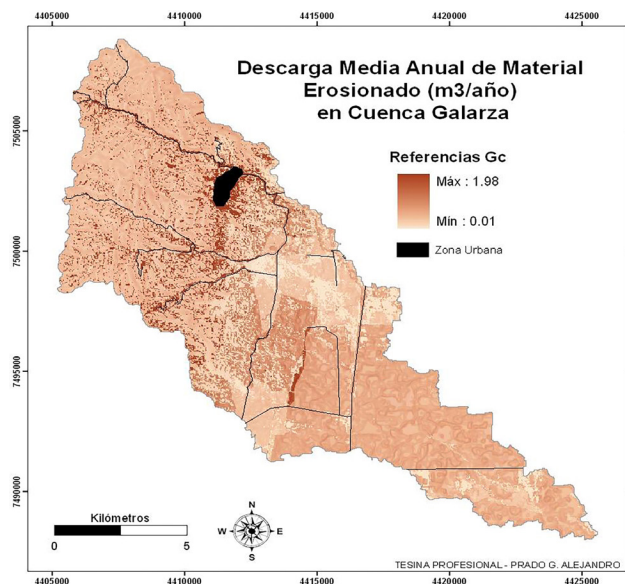


Figura 10. Mapa de descarga media anual de material erosionado en la cuenca Galarza

CONCLUSIONES

La cuenca Galarza ocupa un área de 149,3 km², las nacientes se encuentran emplazadas al sureste de la sierra de Tartagal o de Aguaragüe, e ingresa al sector de llanura luego de un frente de fracturación (Falla de Aguaragüe) para evacuar sus excesos en zona de bañados.

Históricamente la cuenca Galarza tenía una superficie menor, ya que su curso principal llegaba hasta el sector donde se encuentra emplazado el Aeropuerto de General Mosconi, y se insumía en sus cercanías. Posteriormente desviaron el curso principal hacia el sur para evitar inundaciones en las instalaciones del aeropuerto.

La influencia de la construcción de la ruta nacional 34 y su posterior elevación de calzada para evitar cortes por el volumen de material que transporta la quebrada en épocas de crecida, modificaron aún más su drenaje natural.

Actualmente la cuenca presenta una superficie mayor. El curso principal de la quebrada está orientado en sentido noroeste – sureste, y al llegar a la ruta nacional 34, cambia de dirección a norte-sur para escurrir paralela a la misma sobre el sector occidental, alimentándose en ese trayecto de los excesos de la quebrada Agua Hedionda y otros cursos de menor importancia, aumentando de esa forma la superficie drenada. Realiza captación de aguas, elevando el volumen de caudal erogado en épocas de lluvias.

La **producción de sedimentos** evaluada por la metodología Grailovic – Djorovic, da resultados que indi-

can un **nivel de degradación débil** para el coeficiente de erosión **Z**, según Aguilo Bonin (1984), Tabla 7. Los máximos valores observados en el mapa de distribución de la descarga media anual de material erosionado, se localizan principalmente al occidente de la cuenca coincidente con la distribución de pendientes pronunciadas, y con valores medios en áreas degradadas y áreas de cultivos.

Tabla 7. Clasificación de erosión en función de Z.

Clase	Erosión	Valores de Z
I	Excesiva	1,01 – 1,50
II	Intensa	0,71 – 1,00
II	Media	0,41 – 0,70
IV	Débil	0,20 – 0,40
V	Muy Débil	0,01 – 0,19

De acuerdo a los niveles de degradación de cuencas de Tabla 8, en Mármol (2008) y Ferreira Padilla (2019), la cuenca de Galarza presenta el máximo valor, nivel 6 de Degradación muy alta (> 2000 m³/km². Año).

Tabla 8. Niveles de degradación de cuencas.

Calificación	Nivel	m ³ / Km ² . año	Tn / Km ² . año
Denudación geológica normal	1	0 – 100	1.25 – 125
Degradación muy baja	2	100– 200	125 – 250
Degradación baja	3	200– 500	250 – 625
Degradación media	4	500– 1000	625 – 1250
Degradación alta	5	1000 – 2000	1250 – 2500
Degradación muy alta	6	>2000	>2500

La máxima altitud identificada es de 861 m y la mínima de 354 m, con un desnivel vertical de 507 m en aproximadamente 30 km de recorrido del cauce. Este desnivel potencia la energía erosiva de este río, que transporta gran cantidad de sedimentos cuando ocurren las crecidas máximas, producto de lluvias extremas o severas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilo Bonnin, J., Castillo Sánchez V., Insúa Ortíz de Urbina J., Llop Pomarez R., López Cadena del Llano F., López Unzu F., Mintegui Aguirre J. A., Nicolas Jimeno R. y Pérez-Soba Baro A. 1984. Metodología para la Evaluación de la Erosión Hídrica .MOPU. Dirección General del Medio Ambiente. Madrid.

Amengual R. E. y Sciortino J. B. (2005). Diagnóstico de las Condiciones de Avenamiento que afectan la propiedad Zanja Honda. Departamento San Martín, Provincia de Salta. Inédito.

Brea, D., Busquets M. y Spalletti P. (1999). Generación y Transporte de Sedimentos en la Alta Cuenca del Río Bermejo. Impacto en la Hidrovía, Delta del Paraná y Río de la Plata. Instituto Nacional del Agua y del Ambiente. PEA Programa Estratégico de Acción para la Cuenca del Río Bermejo.

Cabrera, 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia de Agricultura y Jardinería. Buenos Aires, Argentina.

Farías H. D. (2009). Procesos morfológicos en cauces afectados por un descenso en su nivel de base. Caso de arroyos en la región Este de la provincia de Salta, Argentina. Instituto de Recursos Hídricos, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Argentina.

Ferreira Padilla S.E. (2019). Manejo de Cuencas Hidrográficas y Técnicas para la Restauración Ecológica en Cuencas de Montaña. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Naturales. Salta. Argentina.

Gavrilovic S. (1959). Methode de la classification des bassins torrentiels et equations nouvelles pour le calcul des hautes eaux et du debit solide. Vadoprivreda, Belgrado.

Gavrilovic Z. (1988). The use of an empirical method (Erosion Potential Method) for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams. Wallingford, England.

Mármol L. A. (2008). Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas y Corrección de Torrentes. Cátedra Manejo de Cuencas Hidrográficas. Facultad Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta. Argentina.

Nadir, A. R. y Chafatinos T. (1990). Los Suelos del NOA (Salta y Jujuy), Tomo I, II y III. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta.

Prado G. A. (2011). Estimación de la producción de sedimentos y pérdida de suelos por erosión hídrica en la Quebrada de Galarza, Depto. Gral. San Martín- Provincia de Salta. Tesina de Grado. Ingeniería en Recursos Naturales y Medio Ambiente. Escuela de Recursos Naturales. Universidad Nacional de Salta.

Rodríguez Lescano M. L. (2010). Análisis de la composición florística, diversidad e IVI de la vegetación arbórea y variación temporal del uso del suelo en la cuenca del río Seco. Departamento San Martín, Provincia de Salta. Tesina de Grado. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta.