

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, FISIOGRÁFICAS E HIDROLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RÍO GALARZA (SALTA, ARGENTINA) Y SU COMPORTAMIENTO FRENTE A LAS CRECIDAS

Ferreira Padilla Silvia - Prado Gabriel Alejandro

Universidad nacional de Salta.

Ingeniería en Recursos Naturales y Medio Ambiente,
Cátedra Manejo de Cuencas Hidrográficas.

Av. Bolivia 5150.

(4400) Salta, Capital. Argentina.

silferreira11@gmail.com

Resumen

Se analizaron las características morfológicas, de relieve e hidrológicas de la cuenca del río Galarza, relacionándolos con la respuesta hidrológica a las precipitaciones, siguiendo la metodología propuesta en la literatura existente. Es una cuenca torrencial que presenta procesos hidrológicos de crecidas cuando se producen lluvias extremas, con elevada susceptibilidad a la erosión y remoción en masa. Presenta superficie de 149,3 km², índice de compacidad de 2,4 y factor de forma de Gravellius 0,10. Los parámetros de relieve son: altitud máxima 861 msnm; pendiente media de la cuenca 10%, coeficiente de masividad 3,6 y coeficiente orográfico 1,96. Parámetros hidrológicos: presentan 621 cauces de orden 1 (77 %); 138 cauces de orden 2 (17 %), 37 de orden 3 (5%), 7 de orden 4, y 2 de orden 5; la jerarquía es de orden 6. La longitud del cauce principal es de 36,5 km desde las nacientes hasta su desembocadura en los bañados de Tucuzal, con una pendiente media de 1,4 %, densidad de drenaje: 2,6 km/km², coeficiente de torrencialidad es de 4,16. En cuanto al tiempo de concentración (Témez) es de 4,33 horas., de tal manera que la respuesta hidrológica del Galarza ante un episodio de tormenta máxima se manifiesta con crecidas que ocurren en 4 hs. La torrencialidad de esta cuenca es elevada ya que presenta numerosos cauces de orden 1.

Palabras clave red hidrográfica, cuenca montañosa, características morfológicas, crecidas.

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca de la quebrada de Galarza abarca un área de 149 km², se ubica en el Departamento San Martín, al sureste de la sierra de Tartagal o de Aguaragüe, 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).

La sierra de Tartagal o de Aguaragüe es un relieve estructural, con elevadas pendientes de laderas que coinciden aproximadamente con las inclinaciones de las capas en ambos flancos del anticlinal, favoreciendo la generación de cárcavas y movimientos en masa (Baumann et al, 2009). Desde el punto de vista geológico, los afloramientos de la zona serrana están constituidos principalmente por litologías que geotécnicamente son consideradas rocas débiles y tienen gran incidencia en la generación de deslizamientos de ladera y flujos densos (Marcuzzi y Bolli, 2007).

En numerosas oportunidades las crecientes generadas en la quebrada de Galarza, provocaron interrupciones en la ruta nacional N° 34 por acumulación de sedimentos, ruptura de calzada y puentes. En el verano del 2006, debido a las elevadas precipitaciones el cauce de la

quebrada de Galarza se llevó el puente carretero y 600 m de vías del Ferrocarril General Belgrano y amenazó la integridad de la ruta nacional N° 34.

La erosión fue muy profunda, el cauce descendió 7 m e interceptó la totalidad de las banquinas a lo largo de aproximadamente 2,8 km. Esta situación se produjo en momentos en que la provincia de Salta declaraba Emergencia Hídrica por la cantidad de fenómenos extraordinarios que se habían producido (Prado, 2011).

Este río vierte sus caudales de excesos en un área deprimida anegadiza conocida como Bañados el Tacuruzal, ubicado aproximadamente 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 todos los cursos que descienden desde la sierra de Tartagal. Los mismos presentan un patrón de alineamiento en planta divagante, meandriforme y de muy bajos gradientes, con lo que los caudales de crecidas prácticamente se dispersaban en esta zona. 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 (Farías, 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).

Las características físicas de una cuenca tienen una relación estrecha con el comportamiento de los caudales que transitan sobre ella y brindan una información valiosa sobre el comportamiento hidrológico de la cuenca. Estas características están vinculadas a la forma, al relieve y a la red de drenaje de la cuenca de estudio. Permiten comparar 2 o más cuencas vecinas o varias subcuencas de una misma cuenca.

Los objetivos de este artículo son: 1) determinar las características morfológicas (forma, relieve e hidrológicas) de la cuenca del río Galarza 2) Relacionar con la respuesta hidrológica de la cuenca frente a las crecidas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon imágenes satelitales Landsat 5 TM, Path/Row 230/76 tomadas entre los años 1987 y 2010 del INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), que fueron georreferenciadas e interpretadas en detalle. Se realizó la fotointerpretación del área de estudio utilizando fotos aéreas del Instituto Geográfico

Militar en blanco y negro a escala 1:80.000, la cual permitió definir en primera instancia los límites de la cuenca en estudio y la red de drenaje que la compone. Los datos altimétricos utilizados corresponden a los del Modelo Digital de Elevación (MDE) ASTER de la NASA.

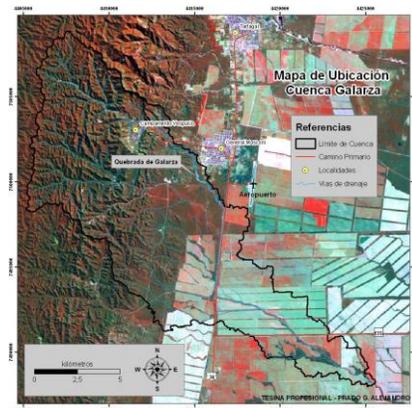


Figura 1. Cuenca de Galarza, Provincia de Salta-Argentina. Fuente: Prado 2011.

Se consultó además la carta altimétrica Tartagal 2363-I levantada por el Instituto Geográfico Militar a escala 1:250.000. Se confeccionó la cartografía preliminar en GIS (Sistema de Información Geográfica) en entorno CAD, 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. Con los datos altimétricos del MDE se obtuvo el Mapa de Curvas de Nivel, y se confeccionó la Curva Hipsométrica del relieve para la cuenca. Los modelos matemáticos empleados para el cálculo de los parámetros morfológicos, orográficos e hidrológicos se detallan en la Tabla 1. Para estimar los parámetros de forma (Índice de Compacidad, Relación de Forma, se aplicaron las ecuaciones de Vich (1996 y 1999), Ven Te Chow et al (1998) y para interpretar los valores se utilizaron las Tablas 2 a 7.

Tabla 1. Modelos matemáticos de los Parámetros Morfológicos, de relieve e Hidrológicos de una cuenca

Parámetros de Forma	$Ff = \frac{Ap}{La}$	Factor de Forma de Gravelius (Ff) (Mármol, 2008) Ap: ancho promedio (Km) La: longitud axial (Km)
	$Kc = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$	Índice de Compacidad de Gravelius (Kc) Te Chow et al (1998) P: Perímetro de la cuenca (Km) A: área de la cuenca
	$Rc = \frac{4 \cdot m \cdot A}{P^2}$	Relación de circularidad (Rc) (Miller, 1953) A: área de la cuenca (Km ²) P: perímetro de la cuenca (Km)
Parámetros de Relieve	$Jm = \frac{E \cdot Ln}{A} \cdot 100$	Pendiente media de la cuenca (Jm) (Nania, 2003) E: equidistancia entre curvas de nivel (km) Ln: longitud entre cotas (km) A: área de la cuenca (km ²)
	$Hm = \frac{\sum Ai \cdot Hi}{A}$	Altitud media de la cuenca (Hm) (Mármol, 2008) Ai: Área entre par de cotas (km ²) Hi: Altitud media entre par de cotas (km) A: Área de la cuenca (km ²)
	$CM = \frac{Hm}{A}$	Coefficiente de Masividad (Martonne, 1940) Hm: Altura media (m). Es la diferencia Hmax - Hmin. A: Área de la cuenca (Km ²)
	$CO = CM \cdot Hm = \frac{(Hm)^2}{A} \cdot 1000$	Coefficiente Orográfico (CO) (Fournier, 1960 en Mármol, 2008 y Ferreira Padilla, 2018) CM: coeficiente de Masividad (adimensional) Hm: Altura media (m). Es la diferencia Hmax - Hmin
Parámetros Hidrológicos	$Rb = \frac{Nn}{Nn+1}$	Relación de Bifurcación (Rb) (Horton, 1945) Nn: Número de cauces de orden n Nn+1: Número de cauces de orden siguiente.
	$Fc = \frac{Nn}{A}$	Frecuencias de drenaje o cursos (Fc) (Horton, 1945) Nn: número de cauces de orden n A: área total de la cuenca (km ²)
	$Dd = \frac{Lc}{A}$	Densidad de drenaje (Dd) (Horton, 1945 en Ferreira Padilla, 2018) Lc: longitud total de cauces (Km) A: área de la cuenca (Km ²)
	$Ct = \frac{N1}{A}$	Coefficiente de Torrencialidad (Ct) (Ollero Ojeda, 2000 y Ferreira Padilla, 2018) Ct: Coeficiente de torrencialidad. N1: Número de cursos de 1° orden
	$Jm = \frac{Hmáx - Hmin}{L}$	Pendiente media del cauce principal (Jm) (Mármol, 2008). Hmáx: cota máxima (m) Hmin: cota mínima (m) L: longitud del cauce principal (m)
	$Lf = \frac{1}{4Dd}$	Longitud media del flujo superficial (Lf) (Vich, 1998 y Vich, 1999) Dd: densidad de drenaje

Tabla 2. Valores de Kc y Tabla 3. Valores de Rf para determinar la forma de la cuenca (Mármol, 2008).

Kc	Formas de la cuenca	Rf	Forma de la cuenca
1 a 1.25	Casi redonda a oval redonda (Compacta)	0 a 0,5	Cuadrada con salida lateral
1.25 a 1.50	Oval oblonga	0.5 a 0.785	Circular
1.5 a 1.75	Rectangular oblonga	1	Cuadrada con salida central
>1.75	Casi rectangular	>1	Rectangular

Tabla 4. Valores de Rf y forma de la cuenca (Santander y Barrios, 2011).

Rf	Forma de la cuenca
<0.22	Muy Alargada
0.22 a 0.30	Alargada
0.30 a 0.37	Ligeramente alargada
0.37 a 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 a 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 a 0.80	Ensanchada
0.80 a 1.20	Muy ensanchada
>1.20	Rodeado el desagüe

Tabla 5. Tipos de Relieve (Ortiz Vera, 2004)

Pendiente media (%) de cuenca	Tipo de relieve
0 – 3	Plano
3 – 7	Suave
7 – 12	Mediano
20 – 35	Accidentado
35 – 50	Fuerte
50 – 75	Muy fuerte
50 – 75	Escarpado
> 75	Muy escarpado

Tabla 6. Clases de densidad de drenaje (Santander y Barrios, 2011)

Dd	Valor (Km/Km ²)
Baja	<1
Moderada	1 a 2
Alta	2 a 3
Muy alta	>3

Tabla 7. Clases de densidad de drenaje (Vich, 1996)

Dd	Valor (Km/Km ²)
Gruasa (Baja)	< a 5
Media	5 a 13.7
Fina (alta)	>13.7

Para comprender la dinámica de los escurrimientos de una cuenca es necesario estimar el Tiempo de Concentración, que indica el tiempo que tarda una gota de lluvia en llegar desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de cierre. Pero, cuando llega la gota más alejada, ya han llegado todas las gotas juntas, que cayeron a menor distancia del punto de cierre, por lo tanto se produce la crecida. Se estimó el Tc a través del modelo de Témez (López Miñano, 2006):

$$tc = 0.3 \left(\frac{L}{Jm^{0.25}} \right)^{0.76}$$

tc: tiempo de concentración (h)
L: longitud del cauce principal (km)
Jm: pendiente media del cauce en m/m

3. HIDROGRAFÍA

La cuenca de la Quebrada de Galarza está constituida por dos cursos principales, la quebrada de Galarza hacia el norte, y la quebrada Agua Hedionda al sur, tributaria al llegar a la ruta nacional 34. En la Figura 2 se observa la red de drenaje que compone la cuenca. 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, 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).

La zona de baños 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).

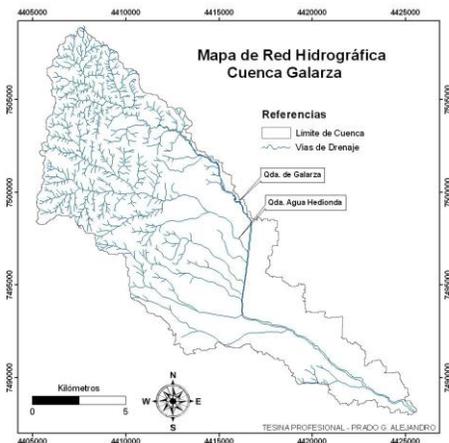


Figura 2. Red de Drenaje de la cuenca del río Galarza. Fuente: Prado, 2011.

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. En las fotografías aéreas del año '66 se pudo observar lo

mencionado. Posteriormente desviaron el curso principal hacia el sur para evitar inundaciones en las instalaciones del aeropuerto. Ello sumado a 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 (Prado, 2011).

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 nortesur 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. Luego de escurrir paralela a la ruta a lo largo de aproximadamente 5 km, el eje mayor de la quebrada la atraviesa para finalmente dirigirse al sector de llanura hasta llegar al sector de los baños del Tucuzal (Prado, 2011).

La cuenca se extiende en dos ambientes: serrano y llanura. Durante los meses de lluvias, en la zona serrana se produce un superávit hídrico, debido a que las precipitaciones en éste sector superan a la evapotranspiración. Parte del agua precipitada se infiltra en las serranías y regresa al sistema hídrico a través de manantiales, lo que genera un escurrimiento superficial en los meses de sequía. Durante el período de estiaje, el poco caudal que transporta se infiltra al llegar a la zona de llanura, debido a la elevada permeabilidad que presentan los sedimentos del cauce (Manjarrés, 2000).

Por otra parte, durante el verano, teniendo en cuenta la magnitud de las precipitaciones que ocurren en la zona, y de acuerdo a la morfología de la cuenca en estudio, que presenta un porcentaje elevado de cursos de primer y segundo orden, con pendientes medias que superan el 20 %, se generan crecientes de extrema violencia y poder destructivo con gran capacidad de arrastre de materiales, esto último evidenciado luego de períodos de crecida (Prado, 2011).

4. RESULTADOS Y DISCUSION

Características referidas a la Forma

La cuenca de la Quebrada de Galarza presenta un perímetro de 104,8 km y un área de 149,3 km². Sus nacientes se encuentran ubicadas al sureste de la sierra de Tartagal. Si bien no presenta elevada altitud media sobre el nivel del mar, las pendientes en la zona serrana son muy pronunciadas. Se observa los dos tipos de relieves; la sierra de Tartagal hacia el oeste y la zona ondulada hacia el este. Presenta una considerable variación altitudinal, la máxima altura identificada es de 861 m s.n.m., mientras que el punto más bajo coincidente con el cierre de la cuenca tiene un valor de 354 m.s.n.m., presentando un desnivel altitudinal de 507 m.s.n.m. en aproximadamente 30 km de longitud, con una pendiente de 2 %, valor importante a tener en cuenta en la magnitud de los escurrimientos.

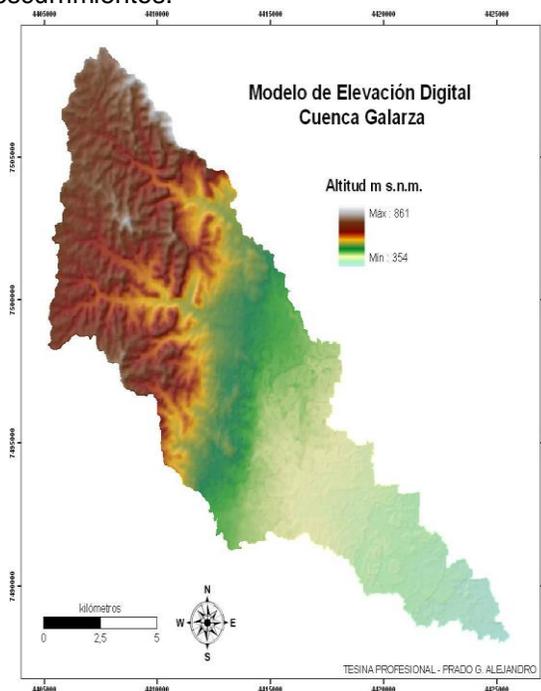


Figura 3. Modelo de Elevación Digital de la cuenca de Galarza. Fuente: Prado, 2011.

En la Tabla 8 se presentan los Parámetros Morfológicos más relevantes de la cuenca de estudio, obtenidos a partir del procesamiento digital de los datos altimétricos y aplicación de los modelos matemáticos.

Tabla 8. Parámetros Morfológicos de la cuenca de la Quebrada de Galarza

Parámetros Morfológicos	Valores
Superficie de la cuenca(Km ²)	149,3
Perímetro de la cuenca (Km)	104,8
Índice de Compacidad (Kc)	2,4
Factor de Forma de Gravelius (Ff)	0,1
Relación de Circularidad (Rc)	0,171
Tiempo de Concentración (hs)	4,33

El valor del Índice de Compacidad (2,4) indica que la cuenca presenta una *forma casi rectangular* (Tabla 2). De acuerdo a la Tabla 3 de Relación de Forma de Horton, corresponde a un valor menor de 0,5 perteneciendo a una *forma de cuenca cuadrada con salida lateral y muy alargada* según la Tabla 4. Las cuencas alargadas presentan un retardo en la concentración de la escorrentía a causa de la gran longitud del cauce principal y con ello mayor brusquedad de la crecida, una vez concentradas las aguas.

Independiente del área estudiada un Kc igual a 1 (para cuencas imaginarias de forma exactamente circular), indica la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano sea a la unidad (Fuentes Junco, 2004).

Una relación de circularidad (Rc) igual a 1 quiere decir que la cuenca es perfectamente circular y si da igual a 0 sería cuadrada. En este caso da un valor 0.171, lo cual corresponde a una cuenca ni circular ni cuadrada.

Mientras más alargada sea la cuenca, tendrá mayor tiempo de concentración (Tc) y por lo tanto transcurrirá más tiempo para evacuar a los pobladores ubicados en áreas susceptibles de inundación. En este caso el Tc = 4,33 horas, es el tiempo en llegar la crecida al punto de cierre de la cuenca. En ese tiempo se podrá evacuar a los pobladores que se encuentran cercanos a la ruta nacional n° 34 y, sobre todo, a los que están aguas debajo de la carretera. Para ello deberá implementarse un Sistema de Alerta Temprana.

Características de Relieve

A partir del Modelo de Elevación Digital y con módulos del SIG empleado se obtuvieron las curvas de nivel para la cuenca en estudio con equidistancias de 20 y 100 m (Figura 4). El análisis del Mapa Topográfico permite visualizar que las mayores pendientes se ubican en el sector montañoso occidental donde las curvas de nivel están próximas entre sí, luego y hacia el este se observa una paulatina reducción de la pendiente manifestada en una mayor separación de las curvas; las mismas se distancian aún más en el sector oriental caracterizado por pendientes bajas propias de la llanura aluvial (Prado, 2011). Para representar gráficamente el relieve medio de la cuenca, se elaboró la Curva Hipsométrica (Figura 5) a partir de los límites y el Mapa de Curvas de Nivel. Se determinó que la mediana de la altitud es de 550 m.s.n.m., que corresponde al 50 % del área acumulada, mientras que la altitud media es de 541,6 m.s.n.m. Ambos valores están muy cercanos.

A partir del Modelo de Elevación Digital también se elaboró el Mapa de Pendientes (Figura 6), que fue reclasificado para una mejor interpretación de acuerdo a la clasificación de la USDA (1997), en Mármol (2008).

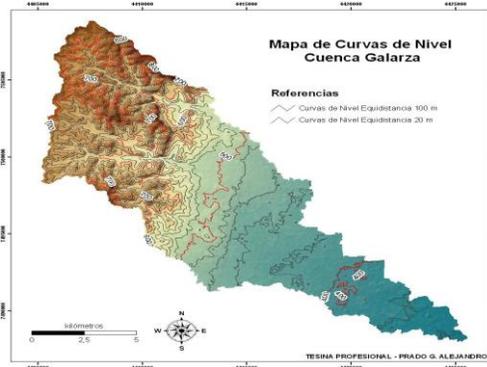


Figura 4. Mapa de Curvas de Nivel de la Cuenca de Galarza. Fuente: Prado, 2011.

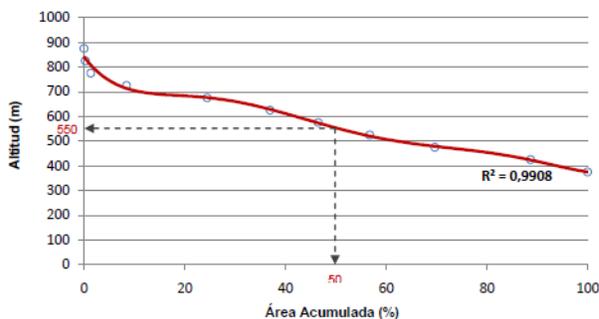


Figura 5. Curva Hipsométrica de la cuenca de Galarza

La Tabla 9 resume las superficies de cada uno de los rangos de pendientes presentes para la cuenca estudiada. Las pendientes mayores al 50 % se encuentran en 33 Ha (1 %) de la cuenca; los mayores valores de superficies (51 %) presentan valores de pendiente bajos (0-3 % y 3- 7 %). Las pendientes entre 12-25 % ocupan 3421 Ha (23 %). Los valores de pendiente entre 12 y 25 % ocupan sólo el 7 % de la superficie de toda la cuenca.

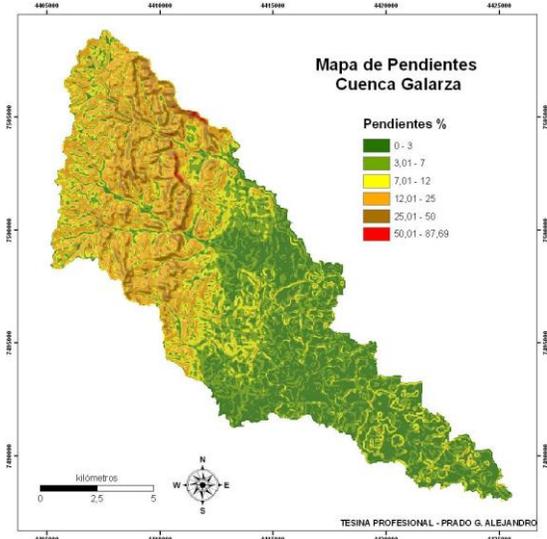


Figura 6. Mapa de Pendientes de la cuenca de Galarza. Fuente: Prado, 2011.

Tabla 9. Superficies correspondientes a los rangos de pendientes de la Quebrada de Galarza

Superficie (Ha)	% de Superficie	Rango de Pendientes (%)
3924	26	0-3
3857	25	3-7
2658	18	7-12
3421	23	12-25
1037	7	25-50
33	1	>50

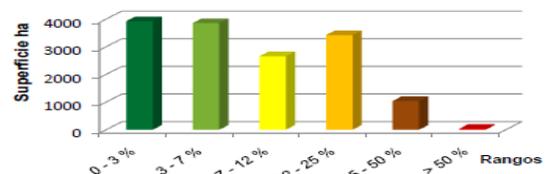


Figura 7. Rangos de Pendiente versus Superficie que ocupan (Ha)

En la Tabla 10 se presentan los Parámetros de Relieve de la cuenca estudiada.

La cuenca presenta una pendiente media del 10 %. Sin embargo en el sector montañoso estos valores oscilan entre 15 a 88 %, con una media del 16 % evidenciando la importancia de la cuenca para generar procesos erosivos, ya que la escorrentía superficial respondería rápidamente a las precipitaciones estivales. Para el sector ondulado la pendiente media es del 4 %.

Tabla 10. Parámetros de Relieve de la cuenca de la Quebrada de Galarza

Parámetros de Relieve	Valores
Altitud Máxima (m.s.n.m.)	861
Altitud Mínima (m.s.n.m.)	354
Altitud Media (m.s.n.m.)	541,6
Altitud Mediana (m.s.n.m.)	550
Pendiente Media de la cuenca (%)	10
Coefficiente de Masividad	3,6
Coefficiente Orográfico	1,96

Según el valor del Coeficiente Orográfico (Tabla 10), se trata de una *cuenca de relieve poco accidentado*. Y de acuerdo la clasificación de Ortiz Vera (2004) el *tipo de relieve es mediano*. Las mayores pendientes de laderas se presentan en el flanco oriental de la sierra de Tartagal o de Aguaragüe.

Parámetros hidrológicos

El patrón de drenaje que predomina es dendrítico, ya que está formado por cursos pequeños, cortos e irregulares, que discurren en todas las direcciones y llegan al cauce principal formando diferentes ángulos.

Mediante el análisis cartográfico y el procesamiento digital de la información a escala 1:80.000 se obtuvo la siguiente información (Tabla 11 y Figura 8).

Tabla 11. Datos de los cauces en la cuenca de Galarza

Nº de Orden de cursos	Nº de cauces	% de cauces	Longitud de cauces (Km)	Pendiente media de cauces (%)	Relación de Bifurcación (Rb)
1	621	77,05	156,5	27	4,5
2	138	17,12	97,6	12	3,7
3	37	4,61	56,1	5	5,3
4	7	0,87	13,2	3	3,5
5	2	0,25	36,3	2	2
6	1	0,10	29,7	1	-

Se puede apreciar en la Tabla 11, que el número de cauces de primer orden es elevado y con pendientes medias pronunciadas (> 25 %), las pendientes máximas fluctúan entre 50 y 88 % (Figura 6) en zona de nacientes de cuenca en el área montañosa, lo cual indica que el grado de erosión que puede presentar la cuenca sea importante.

Los cauces de segundo orden se presentan en un 17 %, y también con pendientes medias pronunciadas (12 %) y pendientes máximas en el rango de 25 y 50 % (Figura 6). La pendiente media para los cursos de orden 3 es de 5%, pudiendo variar la pendiente máxima entre 7 y 12 % (Figura 6). Finalmente, las zonas más planas que corresponden a 4,5 y 6, presentan pendiente media entre 1 al 3 % (Tabla 11), siendo las pendientes máximas del rango del 3 al 7 % (Figura 6). El grado de erosión en las zonas de menor elevación sigue siendo importante.

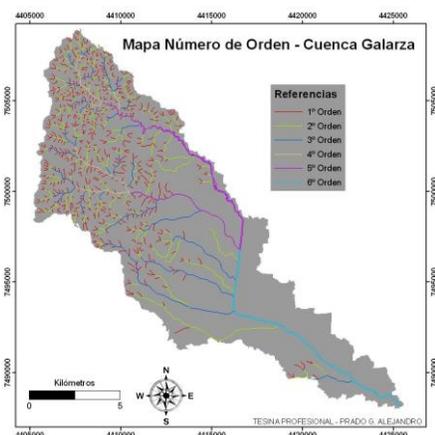


Figura 8. Mapa Número de Orden de los cauces en la cuenca Galarza. Fuente: Prado, 2011

En cuanto a los valores obtenidos por la Relación de bifurcación de los cursos de la cuenca del Galarza, se puede apreciar en Tabla 11 que hay

mucha variación (entre 2 y 5,3), lo que indica que los procesos erosivos siguen actuando con cada precipitación intensa, dado que se trata de una cuenca juvenil, donde la dinámica fluvial es muy intensa y el río intenta equilibrar los disturbios que ha sufrido. Cuando mayor es la diferencia entre las relaciones de bifurcación de los cauces de diferentes órdenes, indica que en nacientes continuarán ocurriendo procesos erosivos en búsqueda de una mayor estabilización Vich, 1996 y Ferreira, 2018. La Tabla 12 resume los valores de los parámetros hidrográficos.

Tabla 12. Parámetros hidrográficos de la cuenca del Galarza

Parámetros	Valores
Jerarquía del cauce principal	6
Densidad de Drenaje (Dd)	2,6
Frecuencia de Drenaje (Fd)	5,4
Coefficiente de Torrencialidad (Ct)	4,16
Canal de Alimentación Km ² /Km (Ca)	0,1
Pendiente Media del cauce principal (%)	1,4
Alejamamiento Medio (Alm)	3,12
Longitud media del flujo superficial	0,096
Longitud del cauce principal (Km)	36,5

La longitud del cauce principal es de 36,5 km, y la pendiente media del mismo es de 1,4 %, con una jerarquía de orden 6. La densidad de drenaje calculada fue 2,6 km/km², indica en general que la cuenca presenta 2,6 kilómetros de cursos por cada km² de cuenca.

Según la clasificación de Santander y Barrios (2011), la densidad de drenaje identificada en Galarza es alta (Tabla 6), y según Stralher (Vivj, 1996) (Tabla 7) es gruesa y baja. Este factor depende de la escala del Mapa de Red de Drenaje. Cuando la escala es detallada, los valores de Dd aumentan porque está expresada en medida de longitud, y si la escala es poco detallada el valor de Dd es menor o más bajo. Siempre es conveniente trabajar con escala detallada. Hay que tener en cuenta que el sector oriental de la cuenca en estudio se encuentra con escasa red de drenaje, abarcando aproximadamente un 50 % de la superficie total, que tiene incidencia en la clasificación mencionada. Sin embargo al observar las Figuras 2 y 8, en el sector occidental de la cuenca del

Galarza que coincide con la sierra de Tartagal, que la red de drenaje es mucho más concentrada, determinando una densidad Dd mayor, Prado, 2011.

Los valores de densidad gruesa son frecuentes en áreas de terrenos permeables y baja intensidad de lluvia. Los valores medios son propios de zonas húmedas y los valores altos o finos son típicos de regiones con suelos muy erodables, poco permeables y alta intensidad de lluvia (Vich, 1996).

Coincidiendo con lo expresado acerca de la red de drenaje en el párrafo anterior, la frecuencia de drenaje calculada indica que existen 5,4 cauces por cada km² de cuenca y de ellos 4,16 son orden 1, ubicados principalmente en los sectores montañosos de la cuenca de recepción (Figuras 2 y 8), determinando una torrencialidad marcada de 4,16. Según Tabla 12, se requiere 0,1 km² de cuenca para alimentar o proveer de agua cada kilómetro del cauce de río, cuando ocurren las precipitaciones.

5. 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 Aguara güe, e ingresa al sector de llanura luego de un frente de fracturación (Falla de Aguara güe) 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 nortesur 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.

Se trata de una cuenca de montaña de carácter torrencial. Presenta una pendiente media del 10 %, correspondiendo a un relieve mediano según Vich (1996). En las nacientes las pendientes son muy pronunciadas con valores que oscilan entre los 15 % a 88 %, con valor medio de 16 %. Mientras que en el sector más bajo de la cuenca, correspondiente al ambiente de piedemonte, la pendiente media es de 4 %. 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.

La jerarquía del cauce determinada es de orden 6. Se trata de una cuenca torrencial debido a que el 77 % de los cursos son de primer orden, con pendientes medias de 27 %, de corta longitud, y en algunas situaciones comportándose como cárcavas retrocedentes por acciones antrópicas.

Los procesos erosivos siguen actuando con cada precipitación intensa, dado que se trata de una cuenca juvenil, donde la dinámica fluvial es muy intensa y el río intenta equilibrar los disturbios que ha sufrido; esto se evidencia en los valores disimiles de las Relaciones de Bifurcación entre los cursos de ordenes consecutivos.

La profundización y ensanchamiento del cauce principal de la quebrada, ha avanzado hasta exhibir las discontinuidades de las pendientes del cauce aguas debajo del puente Recaredo que une Campamento Vespucio con General Mosconi; y también aguas abajo del puente en ruta nacional 34.

El sector oriental de la ruta nacional 34 donde se halla la cuenca baja de Galarza, coincidente con el piedemonte, se caracteriza por un incremento significativo en las últimas décadas de la superficie desmontada para ser introducida a la actividad agrícola. Su incidencia en la modificación de la dinámica fluvial por aumento del escurrimiento, al retirar la cobertura vegetal y el consiguiente aumento en la velocidad de la corriente deberían ser correctamente valorados, ya que afecta a numerosos cursos que drenan la ladera oriental de las sierra de Tartagal o de Aguarañü.

6. BIBLIOGRAFÍA

Baumann V., Seggiaro R., Azcurra R., García V. (2009). Inundación de detritos en la ciudad de Tartagal, provincia de Salta. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. ISSN 0328-9052, Buenos Aires, Argentina.

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.

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. (2018). Manejo de Cuencas Hidrográficas y Técnicas para la Restauración Ecológica en Cuencas de Montaña. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Naturales. Salta. Argentina.

Fuentes Junco J.J.A. (2004). Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancitaro. Dirección General de Investigaciones de Ordenamiento y Conservación de Ecosistemas. Instituto Nacional de Ecología. México.

Gil V. (2012). Geomorfología fluvial de la cuenca del arroyo el Negro, Buenos Aires, Argentina. Revista Universitaria Geográfica. Vol 20 Nº1, Bahía Blanca, junio 2011.

Horton R.E. (1932). Drainage basin Characteristics. Tras. Am. Geophys Union. Vol. 13. USA.

Horton R.E. (1945). Erosional development of streams. Geol. Soc. Am. Bull. Vol. 56. USA.

López Miñano M.I. (2006). Análisis de los principales parámetros de un método hidrometeorológico para el cálculo de avenidas y aplicación a una cuenca mediterránea. Tomo I. Trabajo de fin de carrera. Ingeniería Técnica de Obras Públicas Especialidad Hidrología. Universidad Politécnica de Cartagena. Colombia.

Manjarrés C. A. (2000). Estudio hidrogeológico en la localidad de General Enrique Mosconi y zonas de influencia. Tesis Profesional. Facultad

de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta. Argentina.

Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina.

Marcuzzi, J. J. y Bolli M. I. (2007) Geología y Riesgos Asociados a la traza de la ruta Nacional Nº 34 Salta – Jujuy. Universidad Católica de Salta. Salta, Argentina.

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.

Martonne E. (1940). *Traité de Géographie Physique*. Armand Colin, Paris. Francia.

Miller V.C. (1953). A quantitative geomorphic study of drainage basic characteristics in the Clinch mountain area. Office Naval Research Project. Columbia University. USA.

Nania L.S. (2003). La cuenca y los procesos hidrológicos. Apuntes de Clase. Hidrología superficial y subterránea. Ingeniería hidráulica. Universidad de Granada.

Ollero Ojeda A. (2000). Tipos de cauce y Tramos Homogéneos en el Sistema Fluvial Ara. Universidad de Granada. España.

Ortiz Vera O. (2004). Evaluación Hidrológica. HIDRORED. Red Latinoamericana de Micro Hidroenergía. Revista Digital. Lima, Perú.

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.

Santander D.A y Barrios A.M. (2011). Morfometría de cuencas. Cátedra de Hidrología. Universidad de los Andes, Venezuela.

Ven Te Chow, D. Maidment, y L. Mays. (1998). Hidrología Aplicada. Universidad de Illinois. USA.

Vich A. (1996). Aguas Continentales. Formas y Procesos. Hidrografía. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.

Vich A. I. (1999). Aguas Continentales. Formas y Procesos. Manual de Aplicaciones Prácticas.