

CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA DEL RÍO MENDOZA Y SUS SUBCUENCAS. MENDOZA. ARGENTINA

Lauro C.^a, Vich A.I.J.^{ab}, Moreiras S.M.^{ac}, Otta S.^a, Vaccarino E.^a, Bastidas L.^a

^aInstituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, CCT-Mendoza, CONICET, ARGENTINA

^bInstituto de Estudios del Ambiente y los Recursos Naturales (IDEARN), Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Cuyo, ARGENTINA

^cCátedra de Edafología, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, ARGENTINA

e-mail: clauro@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN

La cuenca del río Mendoza se localiza en la cordillera de los Andes y aporta agua al oasis norte mendocino cuya población supera el millón de habitantes. El comportamiento hidrológico y procesos de erosión/deposición, entre otros fenómenos, pueden ser estudiados a partir del análisis de las características morfométricas de las cuencas. El objetivo es determinar parámetros morfométricos relacionados con la geometría, relieve y red de drenaje, para establecer características propias de la cuenca del río Mendoza y las subcuencas de los ríos Las Cuevas, Las Vacas y Tupungato. La obtención de los parámetros y su relación con el caudal constituyen una herramienta de utilidad para el manejo de cuencas. A tal efecto, se utilizó el Modelo Digital de Elevación del Instituto Geográfico Militar y el modelo SRTM. Se delimitaron cuencas, se determinaron sus dimensiones, se obtuvo la curva hipsométrica de cada cuenca, altura y pendiente media y las características de la red de drenaje. Todos estos procesos fueron realizados en base a un sistema de información geográfica (SIG) con el soporte técnico de un software libre; SAGA GIS y Qgis. La cuenca alta del río Mendoza posee una superficie de 7350 km², un perímetro de 653 km, siendo considerada de orden 5. La altura media es 3509 msnm, la pendiente media 44% y la orientación media 171° respecto del Norte. La subcuenca del río Tupungato es la de mayor superficie (1762 km) y la que aporta mayor caudal al río Mendoza. La red de drenaje de la cuenca del río Mendoza y de las subcuencas presenta una baja densidad, que junto al índice de textura indican que están conformadas por material grueso de alta permeabilidad. Las relaciones entre los parámetros y el escurrimiento constituyen una herramienta esencial en la gestión de los recursos hídricos.

Palabras Clave: Parámetros morfométricos, Cuenca hidrográfica, Modelo digital de elevación, Mendoza.

INTRODUCCIÓN

La provincia de Mendoza, mediterránea y continental, de clima árido a semiárido, se encuentra situada al pie de la Cordillera de los Andes; se extiende en el centro oeste de Argentina, entre los 32° 35' de latitud sur y los 66° 30' y 70° 35' de longitud oeste. El desarrollo del oasis norte de la provincia, fue posible gracias al aprovechamiento del río Mendoza. Utilizado para las actividades agrícolas e industriales, como así también, para

el uso doméstico. Los procesos hidrometeorológicos como las crecientes y los procesos de erosión comprometen la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos de más de un millón de habitantes.

La evaluación de las características de una cuenca es necesaria para optimizar la gestión de los recursos hídricos y conservación de los recursos naturales. En el estudio del régimen hídrico de una cuenca, es importante la evaluación de las características físicas y morfométricas (Gregory y Walling, 1973, 1979; Alves y Castro, 2003; Cardoso et al, 2006; Hott et al, 2007). Las características físicas de la cuenca hidrográfica influyen notablemente sobre la respuesta hidrológica de la misma; recíprocamente, el aspecto hidrológico de la cuenca contribuye considerablemente a la conformación de ellas. Las características físicas se relacionan con las componentes físicos-geográficas de la cuenca (localización, estructura geológica, cobertura vegetal y relieve) y con las características hidrometeorológicas (radiación solar, temperatura, evaporación, precipitación, etc.). Mientras que las características morfométricas son indicadores cuantitativos de los elementos de la cuenca que de una manera u otra influyen en la magnitud y variabilidad de los procesos hidrológicos. Constituyen una base cuantitativa para predecir la respuesta de la cuenca en función de algunos parámetros (Gaspari et al, 2013). Éstos pueden agruparse en aquellos que se refieren a la geometría de la cuenca como la superficie, perímetro e índices de forma, otros se relacionan con la distribución de las altitudes y las pendientes, por último se encuentran los vinculados a la red de drenaje como la longitud de los cauces, pendiente del cauce, entre otros (Vich, 1996).

El objetivo del presente trabajo es estimar los parámetros morfométricos para establecer las características propias de la cuenca y subcuencas del río Mendoza. Esta información constituye una herramienta esencial en el análisis de las cuencas fluviales en términos de conservación de suelo y agua, como así también para el manejo de los recursos naturales.

AREA DE ESTUDIO

El área de estudio está constituida por la cuenca hidrográfica del río Mendoza y las subcuencas del río Las Cuevas, Las Vacas y Tupungato, localizadas en la cordillera de Los Andes en el centro oeste de la República Argentina (Fig. 1). Forman parte del sistema hidrográfico del río Colorado localizado íntegramente en el territorio nacional entre los paralelos 27°35' y 36°12' de latitud Sur, con una superficie aproximada de 361.620 km². Sus cauces nacen en las altas cumbres de la cordillera de Los Andes y presenta una importante red de drenaje que al alcanzar la llanura se transforman en cauces alóctonos. El sistema es colectado por el río Desaguadero, el cual esporádicamente desagua en el río Colorado que vierte sus aguas en el mar Argentino, por ello se lo conoce como sistema del río Colorado.

La mayor parte del territorio la cuenca presenta un clima seco desértico y estepario en el llano (Norte, 1988) y climas polares fríos de altura, de tundra y de hielos eternos, en las áreas cordilleranas por encima de los 3000 metros sobre el nivel del mar (Köppen, 1948). La cordillera de Los Andes modula el régimen de precipitación de las cuencas producto del bloqueo de las masas de aire originadas en los sistemas anticiclónicos del Pacífico y Atlántico (Prohaska, 1976), consecuentemente se presentan dos sistemas de precipitación uno invernal (Junio, Julio y Agosto) producto del anticiclón semipermanente del Pacífico cuyo alcance es las zonas altas de la cuenca con un gradiente de oeste a este y un sistema estival (Diciembre, Enero y Febrero) proveniente del anticiclón del Atlántico afectando las zonas de llanura de las cuencas. Las

temperaturas son mínimas en los meses de Junio a Agosto y máximas de Diciembre a Febrero.

El gradiente altitudinal es de oeste a este y de norte a sur, alcanzando alturas que van desde los 900 msnm a más de 6000 msnm. La variación estacional del caudal es función de las variaciones estacionales de la precipitación y la temperatura junto a las características topográficas, geológicas y de vegetación.

El río Mendoza (Qa 45,89 m³/s) se origina a partir de la confluencia del río Las Cuevas (Qa 6,80 m³/s) que llega por el oeste y el río Tupungato (Qa 23,53 m³/s) por el sur, tiene como primer afluente el río Las Vacas (Qa 4,42 m³/s). El río Las Cuevas nace en las cabeceras de la quebrada Benjamín Matienzo por aporte nivo-glaciar, sus principales afluentes provienen de la quebrada de Horcones y Santa María. El 8,5 % de la superficie de esta subcuenca está ocupada por glaciares y crioformas, de los cuales solo el 25 % son glaciares descubiertos (ING, 2012a). El río Tupungato nace de la confluencia del río del Plomo y Santa Clara, el primero se origina por deshielos provenientes de los cerros Tupungato (6635 m), Nevado del Plomo (6071 m) y Juncal (4621 m) entre otros, y el río Santa Clara por deshielos del cerro homónimo (5460 m) el régimen fluvial es del subtipo glaciar clásico (Lauro et al, 2016). La superficie de la cuenca cubierta por geoformas glaciares y periglaciares es de 292 km² (ING, 2012b). El río Las Vacas nace al sur de la ladera oriental del Co. Aconcagua (6962 m), sus afluentes provienen de la quebrada de los relinchos y Fiera. El 9,7 % de la superficie presenta geoformas glaciares, de los cuales el 62 % son glaciares descubiertos (ING, 2012a). Aguas abajo el ya conformado río Mendoza recibe por la margen derecha las aguas de los ríos Colorado, Blanco y Casa de Piedra provenientes del cordón del Plata, el ambiente predominante en este sector es periglacial característico de las zonas áridas, el 65 % de los cuerpos inventariados son glaciares cubiertos con glaciares de escombros y a glaciares de escombros propiamente dichos (ING, 2012c). Por la margen izquierda el río Mendoza recibe al río Picheuta y los arroyos Tambillos, Cortaderas, Ranchitos y Uspallata, éstos provienen de la cordillera del Tigre donde se inventariaron 319 cuerpos de hielo, de los cuales el 60 % corresponden a glaciares de escombros de orientación SE localizados entre los 3292 y 5606 msnm (ING, 2012d). Se toma como punto de cierre de la cuenca la estación de aforo Guido (32° 54' S, 69° 14' O, 1550 msnm).

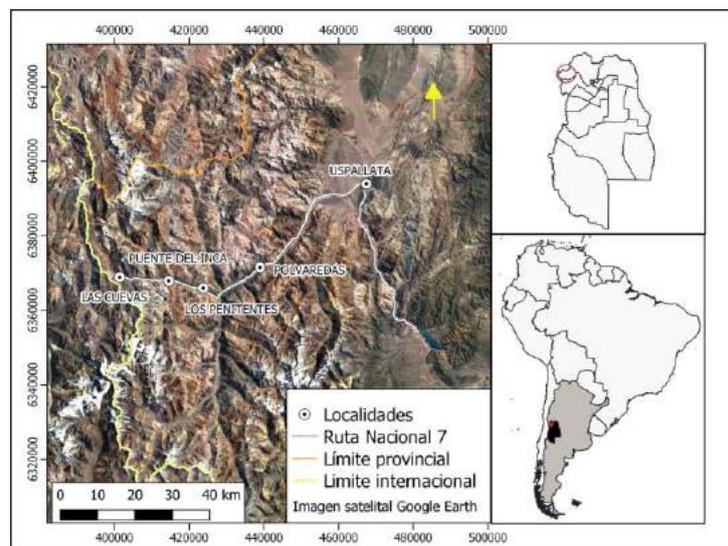


Figura 1: Ubicación del área de estudio.

Marco geológico

En la zona de estudio, la cuenca del río Mendoza transcurre en el ámbito geológico de la Cordillera Principal, Cordillera Frontal, en cercanías al punto de cierre transcurre por un sector de la Precordillera. Afloran rocas marinas y continentales clásticas de edad jurásica-cretásica y volcanitas, piroclastitas y psefitas terciarias. También se observan depósitos cuaternarios; glaciarios, glaci-fluviales, fluviales y coluviales. La Cordillera Frontal comprende depósitos neopaleozoicos que se asientan mediante discordancia angular sobre un basamento de edad proterozoica media. Presenta estratos marinos, los productos intrusivos y volcánicos se interdigitan y emplazan en secuencias neopaleozoicas (Ramos, 1999). El sector estudiado corresponde a la faja plegada y corrida del Aconcagua (Ramos, 1996). Afectada por fallamientos regionales de rumbo norte-sur y vergencia oriental. El paisaje corresponde a un ambiente de montañas de bloques con valles tectónicos longitudinales modificados por el accionar de procesos glaciarios y de remoción en masa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección y procesamiento del modelo digital de elevaciones

Se utilizó el modelo digital de elevaciones (MDE) elaborado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2014). Éste tiene una resolución de 45x45 m georeferenciado en coordenadas geográficas y Datum WGS84. Se encuentra accesible en la página web de la institución

<http://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigitalElevaciones/Mapa>.

Los sectores limítrofes de la cordillera se complementaron con el modelo Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de la NASA. El tamaño de pixel resultante es de 39x39 m con coordenadas planas UTM faja 19S.

Modelos digitales derivados:

A partir del MDE, se obtuvieron modelos digitales que representan variables derivadas directamente de la topografía (Felicísimo, 1994). Estos son: modelos de pendiente y orientación. Además para delimitar la cuenca del río Mendoza fue necesario obtener modelos de: dirección de flujo, área subsidiaria, número de orden de Strahler y red de canales. Para ello se utilizó el software SAGA GIS.

Delimitación de las subcuencas

Las subcuencas de los ríos Las Cuevas, Las Vacas y Tupungato se delimitaron con Qgis, primero se recortó el MDE con el polígono de la cuenca del río Mendoza (obtenida previamente). Luego se obtuvo el mapa correspondiente al orden de Strahler, a continuación se determinó la red hídrica, el valor umbral se consideró igual a 5 y el segmento mínimo en unidades de celda fue 1000 para obtener únicamente la red de cauces principales. Finalmente, a partir de la red hídrica y del MDE se delimitaron las subcuencas. La red hídrica considerada en este trabajo es la correspondiente a las cartas topográficas 1:500.000 del Instituto Geográfico Nacional (Atlas 500k; IGN, 2010).

Parámetros morfométricos

Para el cálculo de los parámetros se utilizó el software Qgis y planillas de cálculo. A continuación se presenta la lista de parámetros empleados, su procedimiento de cálculo o definición.

Tabla I: Listado de Parámetros.

	Parámetro	Unidad	Ecuación/Definición	Referencia
Forma	Área (Au)	km ²	Área resultante de la proyección de la cuenca en un plano.	
	Perímetro (Pu)	km	Longitud del contorno de la proyección de la cuenca en un plano.	
	Cuerda (L)	km	Distancia entre el punto de aforo y el punto más lejano a éste.	
	Relación de circularidad (C)	---	Relaciona el área de la cuenca con la superficie de un círculo que posee igual perímetro que la unidad de estudio.	$C = \frac{4\pi A_u}{P_u^2}$ Miller, 1972 en Vich, 1999
	Relación de elongación (E)	---	Es la relación entre el diámetro de un círculo con igual área que la de la cuenca y la longitud máxima de la misma.	$E = \frac{\sqrt{4A_u}}{L}$ Schumm, 1956 en Vich, 1999
Relieve	Cota máxima (Hmax)	msnm	Altura máxima de la cuenca. Valor máximo del pixel correspondiente a la cuenca.	
	Cota mínima (Hmin)	msnm	Altura mínima de la cuenca. Valor mínimo del pixel correspondiente al MDE de la cuenca.	
	Diferencia cota máxima y mínima (DH)	msnm	Diferencia entre altura máxima y mínima. Diferencia entre los valores de pixel máximo y mínimo del MDE de cada cuenca.	
	Cota media (Hm)	msnm	Valor medio de las alturas en la cuenca.	
	Curva hipsométrica		Representa la proporción del área de la cuenca por encima de una determinada altura.	
	Pendiente media de la cuenca (S)	%/°	Pendiente promedio de todas las laderas.	
	Orientación (O)	Grados	Dirección media de la pendiente de cada pixel. Grados respecto al N (0° a 360°)	
	Longitud del cauce principal (Lc)	km	Longitud del cauce que conecta el punto de aforo con el punto más alejado de la cuenca.	
	Pendiente media del cauce (Sc)	m/m	Promedio de la relación entre la diferencia de altura entre dos puntos y la distancia que los separa.	Linsley et al, 1977 en Vich, 1999
Red de drenaje	Conjunto de Strahler (N_K^S)	--	Donde: N _u es el número de cauces de orden u; K orden de la cuenca.	$N_K^S = (N_u, N_{u+1}, \dots, N_{k-1}, 1)$ Strahler 1964 en Vich 1999
	Densidad de drenaje (Dd)	km/km ²	Relación entre la longitud de todos los cauces de cualquier orden (Lt) y el área de la cuenca.	$D_d = L_t/A_u$ Horton 1932
	Contante de mantenimiento del canal (Ck)	km ² /km	Representa la superficie de la cuenca necesaria para mantener condiciones hidrológicas estables en una unidad de longitud de canal.	$C_k = 1/D_d$ Shumm 1956
	Frecuencia de canales (F)	m ⁻²	Número de cauces por unidad de superficie.	$F = N^\circ \text{cauces}/A_u$ Horton 1932
	Textura de drenaje (Td)	m ⁻¹		$T_d = N^\circ \text{cauces}/P_u$ Horton 1945
	Relación de bifurcación (Rb)	---	Relaciona el número de cauces de un orden con el número de cauces de orden inmediato superior.	$R_b = N_{u-1}/N_u$
	Relación de longitud (Rl)	---	Razón de incremento entre la longitud media de los cauces y el orden de magnitud de los mismos.	$R_l = \bar{L}_u/\bar{L}_{u-1}$ Horton 1945
	Relación de área (Ra)	---	Relación entre el área de drenaje y su orden.	$R_a = \bar{A}_u/\bar{A}_{u-1}$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuenca del río Mendoza

La cuenca del río Mendoza definida con su punto de cierre en la estación de aforo Guido (32° 54' S, 69° 14'O, 1550 msnm), posee una superficie de 7350 km² y un perímetro de 653 km. Los índices de forma revelan el comportamiento del escurrimiento (Vich, 1996; Gaspari et al, 2013), en este caso, los índices empleados coinciden en que la cuenca se aleja de la forma del círculo, acercándose a una forma rectangular-oblonga. Esta característica le confiere al escurrimiento la propiedad de presentarse en la desembocadura de forma retardada entre el momento de la precipitación y la crecida, la cual, puede presentarse antes de la llegada al cauce principal o bien incrementarse hacia la desembocadura.

Los aspectos del relieve indican que la cuenca posee un desnivel de 5486 msnm, con una altura máxima de 6900 msnm y una altura mínima de 1414 msnm. La altura media es de 3509 msnm, el 50% de la superficie de la cuenca se encuentra por encima de dicha altura (Fig. 4). La curva hipsométrica relativa (Fig. 3) muestra características de que la cuenca se encuentra en una fase de equilibrio, la curva hacia la parte media presenta un incremento en la pendiente indicando un relieve menos acentuado en la parte baja de la cuenca.

El rango de pendiente media en la cuenca del río Mendoza va de 0 a 73 grados, siendo las zonas de menor pendiente las representadas en color amarillo en la Fig. 2b. Puede observarse que tanto los cursos fluviales como las crestas presentan pendientes entre 0-18°, las zonas con glaciares también presentan pendientes bajas. Las pendientes elevadas constituyen uno de los factores más relevantes de la susceptibilidad a la erosión, influyendo en la capacidad de transporte de agua (Ciccacci et al, 1987, Marmol, 2008). La erosión en manto se origina a partir de pendientes mayores a 10° Endlicher (1982), en tanto la formación de cárcavas con pendientes mayores a 15° Andreade y Castro (1976). La cuenca del río Mendoza, con una pendiente media de 23° (44%) es susceptible a diversos procesos erosivos, entre ellos se destacan los procesos de remoción en masa. De hecho, una gran cantidad de deslizamientos, flujos de detritos y caídas de rocas asociados a pendientes abruptas, entre otros factores, ocurren en diversos sectores de la misma (Moreiras et al, 2008). La orientación de las laderas más frecuente es hacia el Este. La importancia de la orientación de laderas en cuencas de régimen nivo-glacial radica en los procesos de fusión nival y ablación glacial que conforman el escurrimiento de la cuenca, considerando que las superficies de exposición norte y este recibirán mayor insolación que las de exposición sur y oeste. Como producto de los procesos de congelamiento/descongelamiento las laderas de los valles son asimétricos (Ahumada, 1986).

La red de drenaje se caracteriza por ser dendrítica de orden 5. El número de cauces decrece conforme aumenta el orden de los cauces. En total para cuenca del río Mendoza, se identificaron 94 cauces, de los cuales el 74% son de primer orden, el 19% son de segundo orden, el 3 % de tercer orden, el 2 % de segundo orden y un único cauce de primer orden (Fig. 2d). La red de drenaje presenta una baja densidad, que junto al índice de textura indica que está conformada por material grueso de alta permeabilidad. Se consideró como cauce principal para el río Mendoza, el cauce de la zona de intercuenca más el cauce principal de la subcuenca del río Tupungato alcanzando los 172 km de longitud, con una pendiente media de 2%. El perfil longitudinal este cauce (Fig. 5) muestra que la pendiente de dicho cauce es mayor en los primeros 10 km desde la cabecera y a partir de allí continua con una pendiente menor. Los puntos de inflexión,

tanto en la curva hipsométrica como en el perfil longitudinal del río podrían asociarse a la actividad tectónica de la región o cambios litológicos.

Subcuencas de los ríos Las Cuevas, Las Vacas y Tupungato

La cuenca del río Mendoza se dividió en las subcuencas de los ríos Las Cuevas, Las Vacas, Tupungato y una zona de intercuenca que comprende las subcuencas del río Uspallata (por la margen izquierda del río Mendoza) y de los ríos Blanco y del sector Cordón del Plata (por la margen derecha), esta zona de intercuenca comprende el área donde se origina el río Mendoza, hasta el punto de cierre de la cuenca en la estación de aforo Guido (Fig. 2d).

Las 3 subcuencas comprenden el 41% del área total de la cuenca del río Mendoza. La del río Las Vacas es la de menor superficie, ocupa un 8% de la superficie total de la cuenca del río Mendoza, le sigue la subcuenca del río Las Cuevas con un 9%, la del río Tupungato ocupa un 24%, mientras que la superficie de la zona de intercuenca representa un 59% del total. Los índices de forma indican que las 3 subcuencas se alejan de la forma del círculo, se aproximan a una forma rectangular-oblonga. En las cuencas con esta forma es característico que el flujo se intensifique en las desembocaduras y la onda de crecida puede manifestarse fuertemente antes del cauce principal.

La subcuenca que posee la cota más alta es la del río Las Cuevas mientras que la altura media es mayor en la del río Las Vacas, sin embargo, la subcuenca del río Tupungato es la que posee mayor pendiente media. En consecuencia, las velocidades de las corrientes de agua serán mayores y es más susceptible a procesos de erosión. De todas maneras, todas las subcuencas presentan pendientes medias características de un relieve muy fuerte según la clasificación de López Cadenas de Llano (1998). La orientación más frecuente en la subcuenca del río Las Cuevas son hacia el este (90°) y el oeste (250°). Las laderas de la subcuenca del río Las Vacas se orientan con mayor frecuencia hacia el noreste (70°) y suroeste (260°) al igual que en la subcuenca del río Tupungato (50° y 260°). Como se expresara anteriormente la asimetría de los valles es función de la orientación y exposición de las laderas producto de los procesos de congelamiento/descongelamiento, es así como las laderas oeste de la Quebrada Benjamín Matienzo (subcuenca del río Las Cuevas) presentan pendientes más abruptas respecto de las pendientes en la ladera este (Ahumada, 1986; Lauro, 2010).

En cuanto a la relación superficie de la cuenca y la altura, las cuencas del río Las Vacas y Tupungato son similares, mientras que el río Las Cuevas presenta un perfil más erosionado (Fig. 3). En las cuencas de régimen nivo-glaciar, resulta importante la superficie que se encuentra por encima/debajo de la de la isoterma de 0°C ya que por encima de la misma no habrá fusión y dependiendo de la estación del año habrá acumulación y por debajo habrá la ablación y por tanto escurrimiento. La isoterma anual de 0°C se estimó a los 3865 msnm en la zona del Cordón del Plata (Buk, 2002), según Drewes et al, (2018) dicha temperatura para los Andes Centrales se encuentra aproximadamente a los 3735 msnm. Para las cuencas de los ríos Las Cuevas, Las Vacas y Tupungato dicha altura representa más de 50% de la superficie de las subcuencas (Fig. 4). Es decir, que más de la mitad de la superficie de las cuencas se encuentra expuesta a procesos de congelamiento y fusión.

Las subcuencas presentan un patrón de drenaje dendrítico. El número de cauces decrece conforme aumenta el orden de los cauces. Las cuencas del río Las Cuevas y Tupungato son de orden 3 y la cuenca del río Las Vacas es de orden 2.

Tanto las subcuencas como la cuenca del río Mendoza presentan una baja densidad de drenaje (0,19 a 0,24), esto revela que están compuestas de material subsuperficial permeable (textura de drenaje menor a 2), lo que da como resultado una mayor capacidad de infiltración en la cuenca hidrográfica. Dentro de esta condición la que presenta mayor proceso de erosión es la cuenca del río Las Cuevas ya que posee la mayor densidad de drenaje (0,24 km/km²). Siendo la cuenca del río Tupungato la más permeable dado su valor alto de constante de mantenimiento.

En promedio la longitud del cauce principal de las subcuencas es de 64 km. En el perfil longitudinal de los cauces principales (Fig. 5) podemos observar que los cauces presentan pendientes más abruptas en la zona de la cabecera de las cuencas podría vincularse a al cambio del ambiente glaciario al periglaciario, en tanto, los cambios en los tramos medios podrían vincularse a control estructural. El río Las Vacas es el que presenta mayor pendiente 6%, los elevados valores de pendiente de los cauces se deben principalmente a las elevadas pendientes en el tramo cercano a la cabecera y el método de cálculo.

Tabla II: Parámetro morfométricos calculados.

Parámetro	Unidad	Subcuencas			Cuenca Mendoza
		Las Cuevas	Las Vacas	Tupungato	
Au	km ²	672	565	1762	7350
Pu	km	168	169	283	653
L	km	61	56	71	167
C	---	0,30	0,25	0,28	0,22
E	---	0,48	0,48	0,67	0,58
Hmax	m	6900	6897	6531	6900
Hmin	m	2403	2366	2403	1414
DH	m	4497	4531	4128	5486
Hm	m	3956	4153	4077	3509
S	%	52,15	49,13	54,33	44,82
O	°	172	170	175	171
Lc	km	61	58	73	172
Sc	%	3	6	4	2
N_k^S	---	N3(9,3,1)	N2(6,1)	N3(18,4,1)	N5(70,18,3,2,1)
Dd	km/km ²	0.24	0.22	0.19	0.21
Ck	km ² /km	4.10	4.62	5.21	4.79
F	km ⁻¹	0.02	0.01	0.01	0.01
Td		0.08	0.04	0.08	0.14

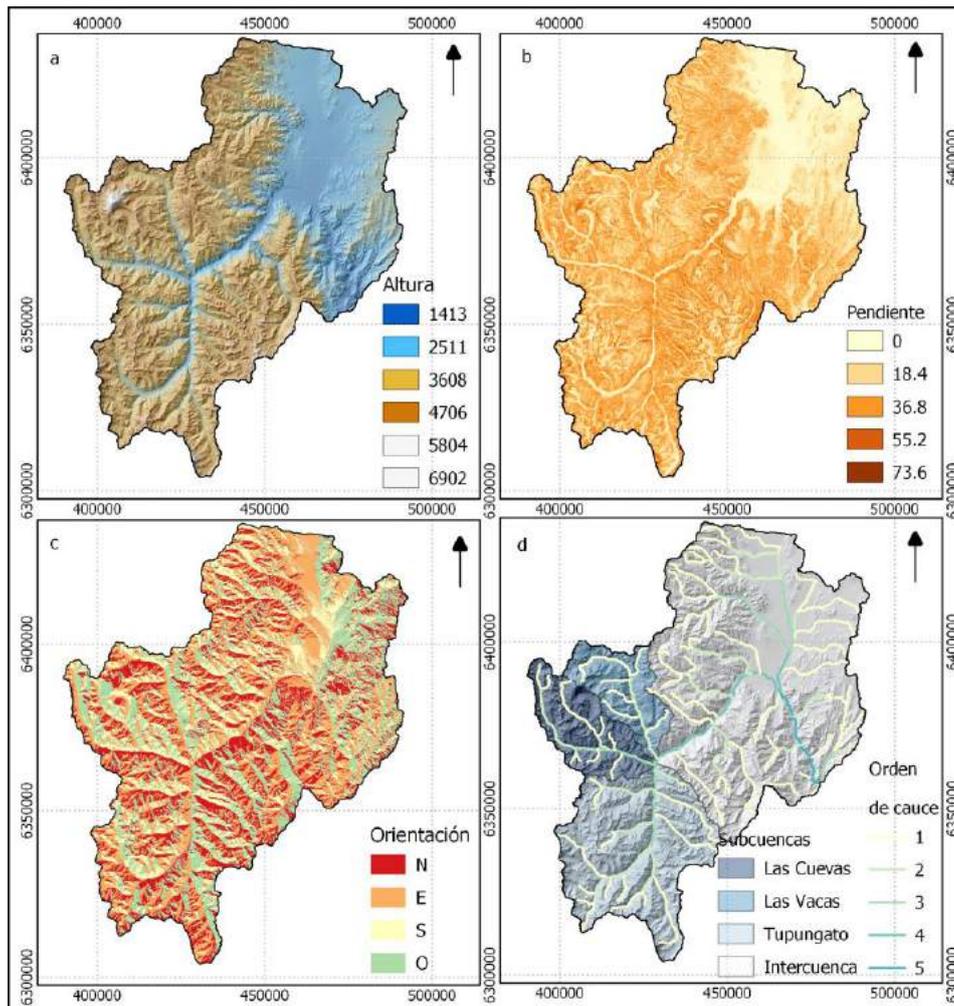


Figura 2: Mapas derivados del MDE para la cuenca del río Mendoza. **a-**Distribución altitudinal de la cuenca en metros sobre el nivel del mar. **b-**Mapa de pendientes expresada en grados. **c-** Mapa de orientación en grados respecto el norte. **d-** Subcuenclas delimitadas y jerarquía de cauces según Strahler. Sistema de coordenadas UTM19S, WGS84.

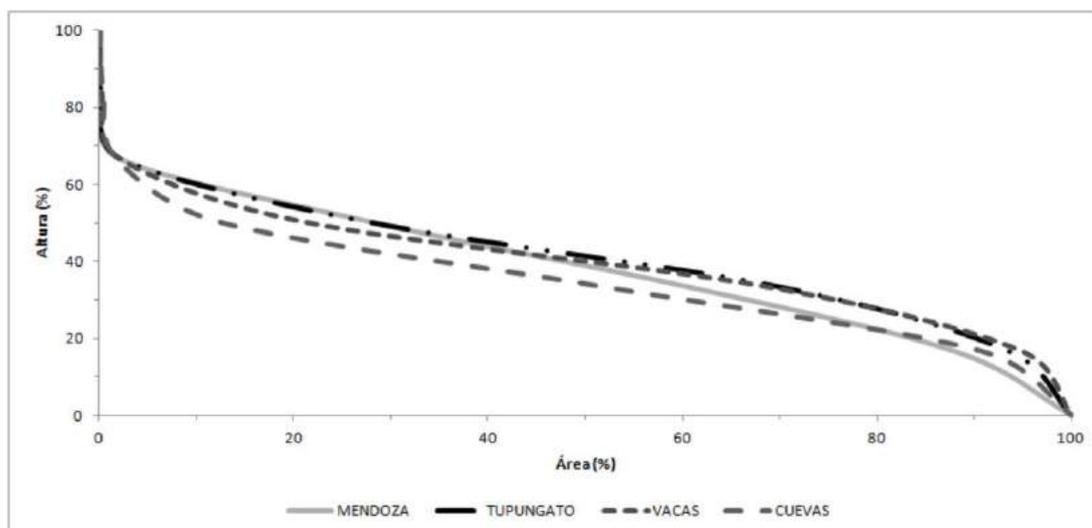


Figura 3: Curva hipsométrica en altura y áreas relativas.

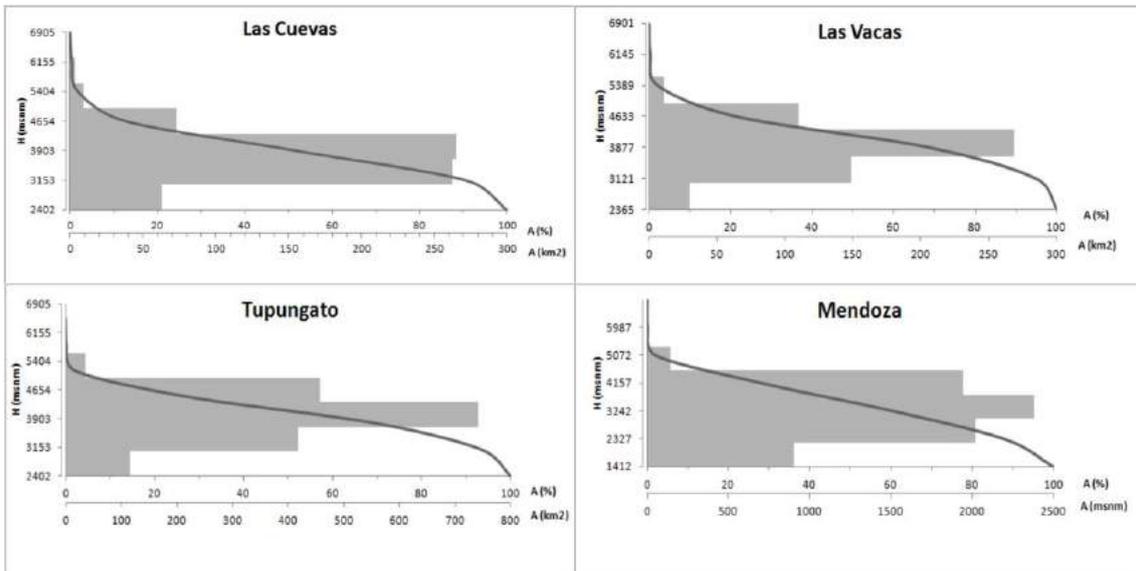


Figura 4: Curva hipsométrica y frecuencia de altura.

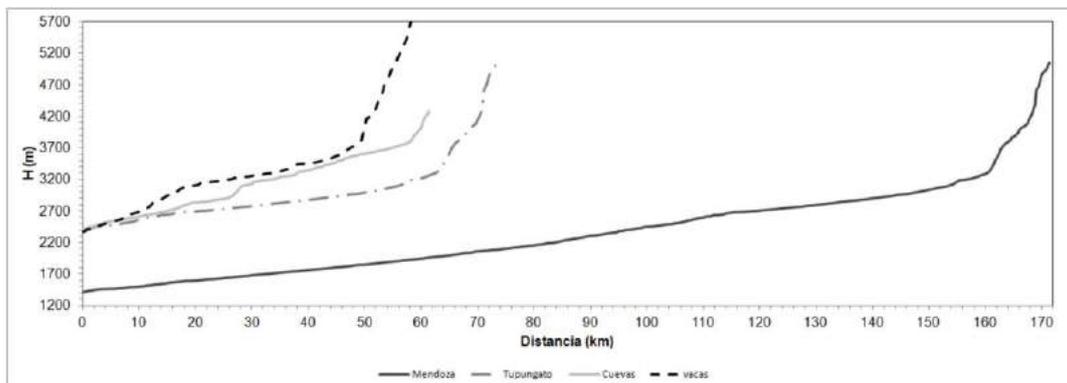


Figura 5: Perfil longitudinal del cauce principal de cada cuenca. Se considera como distancia cero el punto de aforo.

CONCLUSIONES

Las cuencas analizadas constituyen la principal fuente de agua del oasis norte mendocino, donde se localizan más de 1 millón de habitantes que utilizan el recurso hídrico para diversas actividades. El manejo de esta región para la conservación del recursos hídrico y de los servicios ambientales que brinda requiere de conocer la dinámica espacio temporal del escurrimiento superficial. Mediante el análisis de las características morfométricas se proporciona información para entender el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Mendoza y las sub cuencas del río Las Cuevas, Las Vacas y Tupungato.

Si bien el río Mendoza se extiende hasta desembocar en el río Desaguadero, en el presente análisis se contempló únicamente la cuenca alta del río Mendoza y se definió como punto de cierre la estación de aforo Guido localizada aguas arriba del dique potrerillos. Como punto de cierre de las subcuencas se consideraron las estaciones de aforo sobre el río Las Cuevas, Las Vacas y Tupungato. De la superficie total de la cuenca de río Mendoza, la subcuenca del río Tupungato resultó ser la de mayor superficie, además aporta mayor caudal al río Mendoza y tiene una red de drenaje de orden mayor que el resto de las subcuencas. Todas presentaron una forma rectangular-

oblonga, este parámetro es un indicador de que ante un evento de precipitación el escurrimiento llega con cierto retardo a la desembocadura.

El relieve de la región es moldeado por procesos geológico estructurales, procesos geomorfológicos y climáticos, las pendientes elevadas contribuyen al origen de diversos procesos de erosión y remoción en masa, como así también a elevadas velocidades de escurrimientos.

La elevada pendiente de la curva hipsométrica del río Mendoza hacia el tramo final sugiere la presencia de un relieve menos acentuado respecto de la cabecera de la cuenca. Este aspecto del relieve podría vincularse con un control estructural, dado que la región es altamente influenciada por la actividad tectónica. Tanto en la cuenca del río Mendoza como en las subcuencas la densidad de drenaje es baja, es decir, que poseen una alta permeabilidad a esta propiedad también contribuye la presencia de material grueso.

La información generada es de utilidad para la modelación hidrológica, para determinar el escurrimiento, manejo de crecidas, zonas con procesos de erosión, zonas de captación de agua de lluvia, entre otros.

REFERENCIAS

- Ahumada, A.L. *Procesos Criogénicos y Mineralógicos en Qda. Matienzo Cord. Principal-Mendoza* (desde las nacientes del río Cuevas hasta la localidad de Cuevas). Tesis doctoral Facultad Ciencias Naturales UNT. (1986).
- Alves, J.M.P.; Castro, P.T.A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 33, n. 2, p. 117-127, 2003
- Buk, E. Hidrología de ambientes periglaciales. Cuenca morenas coloradas - Vallecitos, Cordón del Plata, Cordillera Frontal, Mendoza. En: *IANIGLA, 30 Años de Investigación Básica y Aplicada en Ciencias Ambientales*. Editores Trombotto D. y Villalba R. pp.165–169. ISBN: 987-43-4545-4 (2002).
- Cardoso, C. A., Dias, H. C. T., Soares, C. P. B., Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, Rio de Janeiro., *Revista Árvore*, Vol.30, No. 2, 2006, pp. 241-248.
- Cicacci, S.; Fredi, P.; Lupia, L.; Palmieri, L. y Pugliese, F. Indirect evaluation of erosion entity in drainage basins through geomorphic, climatic and hydrological parameters. In: Gardinier, V. *International Geomorphology*. Chichester: John Wiley and Sons Ltd., (1987).
- Drewes, J.; Moreiras, S.; Korup, O. Permafrost activity and atmospheric warming in the Argentinian Andes. *Geomorphology*, 323, pp. 18-24 (2018).
- Endlicher, W., Instalación de parcelas de erosión para evaluar la erosión del suelo en la costa de Chile central. *Tercer Congreso Geológico Chileno*. Concepción (1982)
- Felicísimo, A.M. Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en ciencias ambientales 118 pp. <http://www.etsimo.uniovi.es/feli/pdf/libromdt.pdf> (1994)
- Gaspari F.J., Rodríguez Vagaría, A.M., Senisterra, G.E., Delgado, M.I. y Besteiro S.I. Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. 1ed.- La Plata: *Universidad Nacional de la Plata*. E-Book. ISBN 978-950-34-0963-3 (2013)
- Gregory, K. y Walling, D. *Drainage Basin. Form and processes. A geomorphological approach*. Kent, Arnold (1973).
- Gregory, K. y Walling, D. *Man and environmental processes. A Physical Geography perspective*. London, Dawson (1979).
- Horton, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geol. Soc. America Bull.* 56: 275-280 (1945).
- Hott, M.C., Furtado, A.L.S., Ribeiro, C.A.A. S., Determinação automática de parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas no município de Campinas, Sao Paulo., *Memorias*

- del Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, INPE Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, pp. 3381-3388 (2007).
- IGN. Modelo Digital de elevaciones de la República Argentina MDE-Ar (2014).
- Inventario Nacional de Glaciares. Informe de las subcuencas de los ríos de las Cuevas y de las Vacas Cuenca del río Mendoza, provincia de Mendoza. *IANIGLA-CONICET, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación* (2012a).
- Inventario Nacional de Glaciares. Informe de la subcuenca del río Tupungato Cuenca del río Mendoza provincia de Mendoza. *IANIGLA-CONICET, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación* (2012b).
- Inventario Nacional de Glaciares. Informe de las subcuencas de los ríos Blancos y Sector del Cordón del Plata Cuenca del río Mendoza, provincia de Mendoza. *IANIGLA-CONICET, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación* (2012c).
- Inventario Nacional de Glaciares. Informe de las subcuencas del arroyo Uspallata y del sector Cordillera del Tigre Cuenca del río Mendoza, provincia de Mendoza. *IANIGLA-CONICET, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación* (2012d).
- Köeppen, W. Climatología. Con un estudio de los climas de la Tierra. *Fondo de Cultura económica*. México DF–Buenos Aires. 496 pp (1948).
- Lauro, C. *Estudio del origen y morfología de los paleo-represamientos de la quebrada Benjamín Matienzo, nacientes del río de las cuevas, Mendoza*. Tesis de grado (2010).
- Lauro, C., Vich, A., Moreiras, S.M. 2016. Variabilidad del régimen fluvial en cuencas de la región de Cuyo. *Geoacta* 40(2): 28-51.
- López Cadenas de Llano. *Restauración Hidrológica Forestal de cuencas y Control de la Erosión*. Ingeniería Medioambiental, TRAGSATEC, Ministerio de Medio Ambiente. Editorial Mundi Prensa. España: 945 p. (1998).
- Mármol, L. Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas y Corrección de Torrentes. *Universidad Nacional de Salta*. ISBN 987-05-0569-4 (2008).
- Moreiras, S.M, Lenzano M. G. y Riveros N. Inventario de procesos de remoción en masa en el Parque Provincial Aconcagua, provincia de Mendoza – Argentina. *Multequina vol.17 no.2 Mendoza jul./dic.* (2008).
- Norte, F. *Características del Viento Zonda en la Región de Cuyo*. Tesis doctoral. Universidad de Buenos Aires. 255 pp. Disponible en el Programa Regional de Meteorología (PRM), Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. (IANIGLA), Centro Científico Tecnológico (CCT), CONICET, Mendoza, Argentina. <http://www.prmarg.org/tesis-doctorado>. (1988)
- Prohaska, F. The climate of Argentina, Paraguay and Uruguay. En .W. Schwerdtfeger, (ed.), *World Survey of Climatology*. Climates of Central and South America. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands (1976).
- Ramos, V. A. Geología de la región de Aconcagua, prov. de San Juan y Mendoza. *Anales*. 24(I): 447-460 (1996).
- Ramos, V. A., Las provincias geológicas del Territorio Argentino. En: *Geología Argentina*, R. Caminos (ed), Subsecretaria de Minería de la Nación. Servicio Geológico Minero Argentino SEGEMAR. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Anales 29, no 3 pp. 41–73. Buenos Aires (1999).
- Strahler A. *Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks*. In: V. Chow, (Ed), *Handbook of applied Hydrology*, McGraw-Hill. New York, EE.UU (1964).
- Vich, A.I.J. *Aguas continentales. Formas y procesos*. Manual de Aplicaciones prácticas. Mendoza. ZETA Editores (1999).