

ANÁLISIS MORFOMÉTRICO COMPARATIVO DE LOS TRAMOS SUPERIORES DE LAS CUENCAS DE LOS ARROYOS SAUCE CHICO, NAPOSTÁ Y SAUCE GRANDE, SIERRAS AUSTRALES. USO DE TÉCNICAS DIGITALES.

Edgardo L. Navarro¹, Daniel M. Cano²

Resumen

Los arroyos Sauce Chico, Napostá y Sauce Grande (Sierras Australes), constituyen unidades de interés actual y potencial para el abastecimiento de agua a la región. Diversos modelados hidrogeológicos de sus tramos superiores se han desarrollado previamente, resultando de interés aportar a ese conocimiento otras consideraciones a través de variables geomórficas. Se realizó una evaluación cuantitativa comparativa de estos sectores mediante el procesamiento de información digital. La integral hipsométrica se utilizó como parámetro geomórfico principal de comparación. Modelos digitales de elevación ALOS se emplearon para la obtención de las redes de drenaje e intervalos hipsométricos. Las Hojas Geológicas Curamalal y Ventana, complementadas por imágenes SENTINEL2 y de GoogleEarth se utilizaron para el reconocimiento de la distribución litológica en las cuencas. Los procesamientos se realizaron con los software Global Mapper, Idrisi Selva, Surfer, StitchMaps y CorelDraw. Las cuencas Sauce Chico, Napostá y Sauce Grande presentan drenajes con densidades de 39.9%, 46% y 38.8% respectivamente. Curvas hipsométricas con morfologías cóncavas hacia arriba, puntos de inflexión en altimetrías bajas y valores de integral muy bajos (<25%), revelan un paisaje senil para estos sectores de las cuencas. Volúmenes teóricos de terreno iniciales fueron calculados. Procesos de tectónica cenozoica no habrían afectado significativamente a estas cuencas.

Introducción

Asociada a la evaluación morfométrica de cuencas de interés hidrogeológico, el área de estudio está situada en el sector sudoeste de la provincia de Buenos Aires, en el contexto geológico estructural de las Sierras Australes (Fig. 1). Los arroyos Sauce Grande y Napostá Grande nacen desde el Cordón de Ventana y el arroyo Sauce Chico desde el Cordón de Bravard. El sector de análisis se encuentra vinculado con el tramo superior de los mismos.

Las cuencas hidrogeológicas, resultan unidades de estudio compuestas por una gran diversidad de componentes bióticos y abióticos que interactúan entre sí, siendo necesario un conocimiento detallado de estas variables para su manejo sustentable. El análisis de estas tres cuencas ha resultado históricamente de interés, habiéndose centrado en ellas diversos estudios hidrogeológicos y geomórficos (García y de García, 1964; Albouy, 1994; Carrica, 1998; Gil, 2009 entre otros). En particular los arroyos Sauce Chico y Napostá resultan importantes por la posibilidad de explotación como recurso hídrico subterráneo, constituyendo una fuente alternativa de abastecimiento de agua a núcleos urbanos de la región (Carrica y Lexow, 2004). Por su parte la cuenca del arroyo Sauce Grande, representa la fuente primaria de abastecimiento de agua a importantes localidades como la ciudad de Bahía Blanca. El conocimiento de sus tramos superiores en particular, resulta de interés hidrogeológico por estar

¹ Dto. Geología - CGAMA - UNS, Comisión Investigaciones Científicas (CIC), San Juan 670, Bahía Blanca, Tel: 02914595101, email: enavarro@criba.edu.ar.

² Dto. Geología - UNS, CONICET, San Juan 670, Bahía Blanca, Tel: 02914595101, email: martinbahia@hotmail.com.

sus sectores de cabecera ubicados en un área de recarga (Bonorino, 1991; Albouy y Bonorino, 1997).

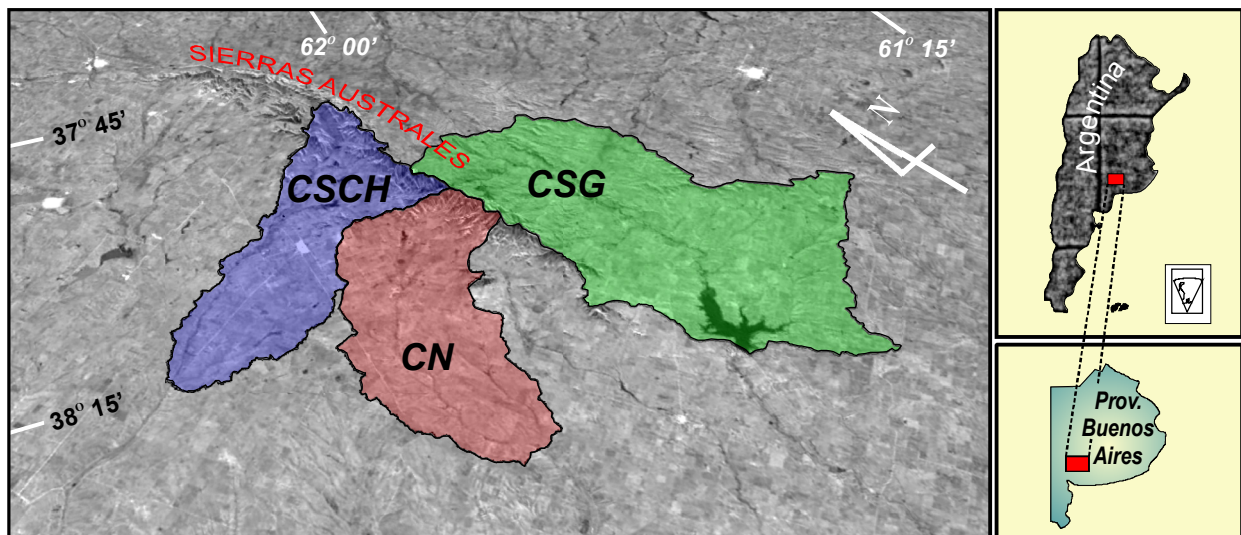


Fig. 1. Modelo tridimensional con la ubicación de los tramos superiores cuencas estudiadas. CSCH: Cuenca arroyo Sauce Chico, CN: Cuenca arroyo Napostá, CSG: Cuenca aroyo Sauce Grande.

Con el propósito de realizar una comparación morfométrica entre estos tramos de cuenca, se planteó como objetivo realizar una evaluación cuantitativa de los arroyos Sauce Chico, Napostá y Sauce Grande. Para esto se emplearon datos digitales tanto raster como vectoriales existentes para la región, que en particular para aquellos asociados con los de altimetría, fueron registrados para un mismo tiempo y bajo las mismas condiciones de captura. Esto facilita que el cotejo entre sí de los índices relacionados con cada una de las cuencas tenga una mayor confiabilidad. A través del uso de la integral hipsométrica en particular, se procuró llevar adelante una valoración relativa y comparativa del paisaje para estos tramos de cuenca. La información así generada, podría constituir un aporte al modelado hidrogeológico de este sector de estudio.

Características climáticas generales

Las condiciones climáticas de la región sudoeste de la provincia de Buenos Aires son el resultado de aquellas observadas para el sur de Sudamérica, influenciadas por aspectos locales constituidos por la cercanía del mar y los accidentes orográficos (Scian, 2010). La temperatura media del mes de enero es de 24,1 °C (siendo éste el mes más cálido), mientras que julio registra el valor medio más bajo (7,7 °C). La temperatura máxima absoluta se registró en el mes de enero con un valor de 41,5 °C, mientras que la mínima absoluta se registró en julio con -10 °C (Scian, 2010).

Considerando valores históricos en la región (período 1860-2000), las precipitaciones presentan un valor medio de 555 mm., con un máximo de 1093 mm. en 1976 y un mínimo de 207 mm. en 1861, con incremento en los valores a partir de la década del 60' (Caló *et al.* 2004). De acuerdo con los datos registrados por las estaciones meteorológicas de la región de Bahía Blanca, para el periodo de 2001-2010 el valor medio anual de precipitaciones acumuladas

alcanzó los 650 mm. Las estaciones se caracterizan por presentar un patrón estacional marcado, siendo el verano y la primavera las más lluviosas, y el invierno la más seca (Bonorino, 1991; Carrica; 1998; Caló *et. al.* 2004; Lafont, 2009). Teniendo en cuenta las condiciones climáticas (semiáridas y subhúmedas secas), valores de temperatura y precipitación anual media atribuidas a la región, Scian (2010) clasificó a la región como de clima templado de transición, con veranos e inviernos bien marcados y primaveras y otoños moderados.

De acuerdo con uno de los sistemas de clasificación climática más difundidos (Thornthwaite (1948), basado en las características de la evapotranspiración potencial y el balance de agua en el suelo, la porción sur de la provincia de Buenos Aires se considera como un clima del tipo D, semiárido, con un valor del Índice Hídrico (IH) que varía entre -20 y -40. En particular para el arroyo Napostá, el balance hidrológico resulta levemente deficitario, condición que se acentúa durante el verano (Carrica y Lexow, 2004).

Geología del área

Geológicamente las cuencas motivo de estudio se encuentran enmarcadas en las serranías del sistema geológico de Ventania con una extensión y amplitud de aproximadamente 180 km. y 30 km. respectivamente (Ramos, *et al.* 2013). Dispuestas con rumbo aproximado NO-SE, habrían sido el resultado tectónico de la colisión de Patagonia con Gondwana durante el Pérmico temprano-medio (Ramos, 2008). Como consecuencia, a las tres cadenas de serranías principales que constituyen este sistema, Sierras de Curamalal, Ventana y Pillahuincó, las conforman secuencias sedimentarias paleozoicas fuertemente plegadas, con una vergencia hacia el NE y limbos más extendidos inclinando hacia el SO (Harrington, 1947; Suero, 1972). Una discordancia tectónica tendría lugar entre los Grupos Ventana y Pillahuincó (Sellez-Martinez, 2001; Ramos, *et al.* 2013).

Respecto de la tectónica asociada con la secuencia sedimentaria cenozoica, si bien no se puede reconocer en ella la presencia de fallas, los movimientos de la orogenia andina podrían haber afectado la región (Kostadinoff *et. al.* 1981). En la cuenca media del río Sauce Chico, tanto el encajonamiento como la presencia de depósitos fluviales del Pleistoceno tardío flexurados, podrían evidenciar procesos tectónicos de rejuvenecimiento (Quatrocchio *et. al.* 1992). Por su parte, mediciones gravimétricas realizadas en las Sierras Australes, permitieron definir que el área no está isostáticamente ajustada, lo que se vincularía con movimientos verticales ascendentes (Kostadinoff *et. al.* 1981). Disposiciones controladas por procesos neotectónicos fueron reconocidas en los cursos de arroyos de la región de Bahía Blanca (Bonorino *et. al.*, 1986).

En cuanto a la distribución de los afloramientos, las rocas del basamento resultan escasas y se disponen al oeste. De origen ígneo y altamente deformadas, se encuentran asociadas al Neoproterozoico - Cámbrico, con edades que varían entre los 607 Ma. y 505 Ma. (Ramos *et al.*, 2013). Sobre estos depósitos apoya la sucesión sedimentaria con unidades cuya potencia no superarían los 5 km, disminuyendo la edad de las mismas progresivamente desde el oeste hacia el este (Harrington, 1947; Sellés-Martínez, 2001). Esta sucesión está conformada por dos secuencias del Paleozoico temprano (Grupos Curamalal y Ventana) y una del Paleozoico tardío asociada al Grupo Pillahuincó. Las primeras depositadas durante el intervalo ordovícico - devónico, la restante durante el Carbónico tardío - Pérmico temprano (Harrington, 1947; Sellés Martínez, 2001). Cada una de estas secuencias se corresponderían con los Ciclos sedimentarios I, II y III de Andreis *et. al.* (1989).

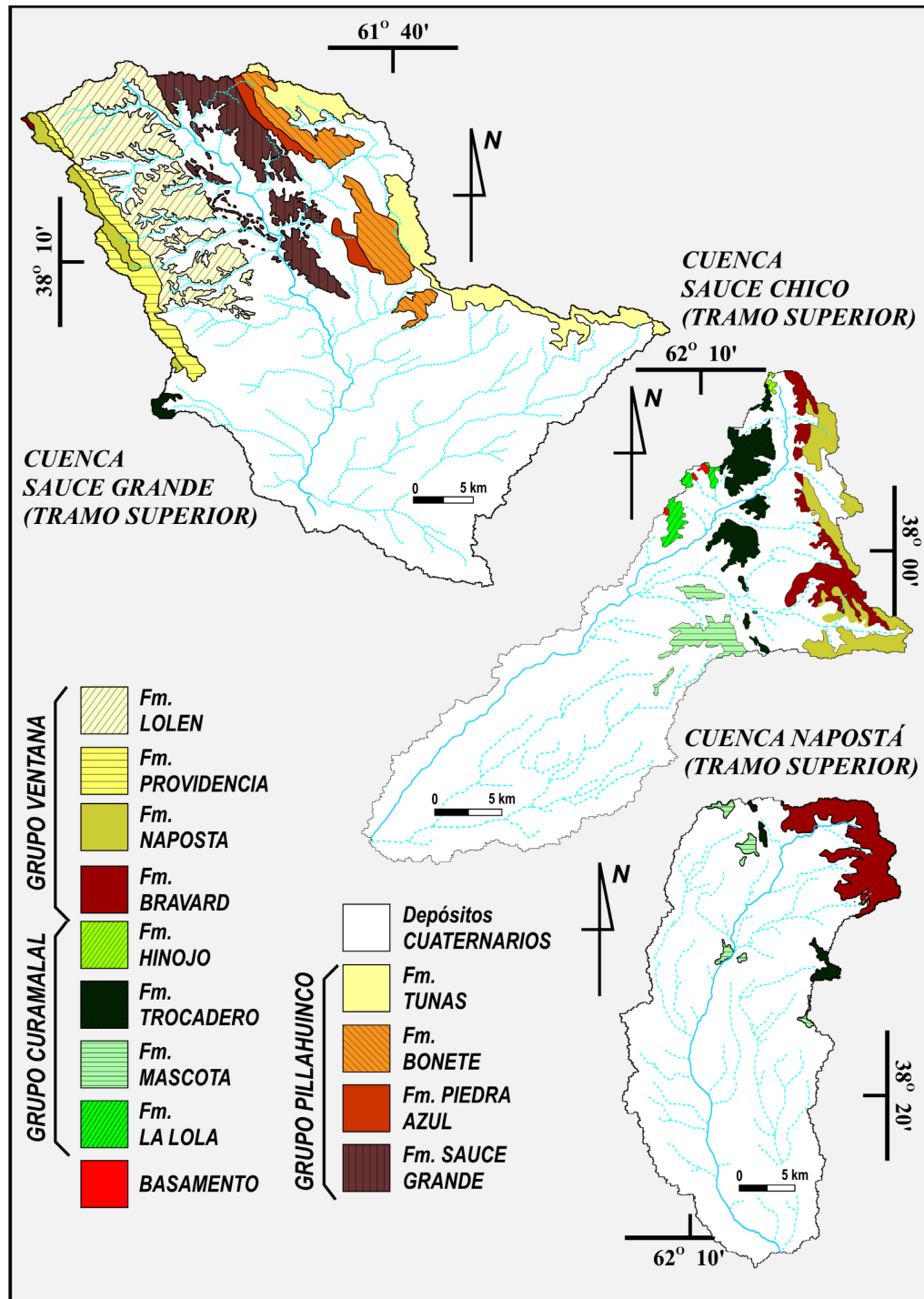


Fig. 2. Distribución de la red de drenaje y de los depósitos de las unidades litoestratigráficas aflorantes en el tramo superior de las cuencas Sauce Grande, Sauce Chico y Napostá.

Ortocuarcitas de plataforma constituyen las litologías representativas de los Grupos Curamalal

y Ventana (Harrington, 1947), en tanto que una secuencia de molasa, de areniscas inmaduras que apoyan de manera discordante sobre las cuarcitas devónicas, representan al Grupo Pillahuincó (Harrington, 1947; Ramos, 2008). Toda la sucesión sedimentaria se encuentra afectada por metamorfismo, resultando de mayor grado en el oeste aunque no supera los niveles inferiores de la facies de esquistos verdes, alcanzando en la parte oriental el anquimetamorfismo/diagénesis (Sellés-Martínez, 2001).

Materiales y Métodos

Para llevar adelante el presente estudio, se utilizaron herramientas propias de la geomática. Particularmente se desarrolló el procesamiento digital de la información raster y vectorial disponible para el área. Este tratamiento fue llevado a cabo mediante los sistemas de información geográfica (SIG) Idrisi Selva, Global Mapper, Stitch Maps y Surfer, usándose como software de apoyo Corel Draw y planilla excel. Los aspectos relacionados con variables altimétricas fueron considerados a partir de modelos digitales de elevación (MDE) ALOS S038W063, S039W062 y S039W063 del 24/05/2016, con una resolución espacial de 30m. por 30m. Imágenes Sentinel 2 del 4/10/2016 junto con ventanas de imágenes de Google Earth de 1m. por 1m. de resolución espacial fueron empleadas en el análisis visual complementario del área. La información litológica y distribución espacial de las unidades geológicas de base, fueron obtenidas a partir de las Hojas Geológicas 33 m y 34 m. Sierras de Curamalal y de la Ventana (Harrington, 1947).

La delimitación de los tramos superiores de las cuencas de los arroyos Sauce Chico, Napostá y Sauce Grande, se llevó a cabo mediante el software Global Mapper a partir del MDE. Se estableció como punto de cierre de cada una de estas cuencas, aquel sector en que la pendiente media del arroyo, tomada desde su cabecera, presenta un cambio abrupto en su valor de inclinación. Desde estos MDE, se obtuvieron también las imágenes vectoriales asociadas con la redes de drenaje. Para las mismas, se consideró como vía de escurrimiento la sucesión de puntos topográficamente más bajos dispuestos de manera alineada, con independencia de que sean ocupadas por escorrentías encauzadas superficiales permanentes o temporales (Fig. 2).

Los rasgos vectoriales de escurrimientos obtenidos en primera instancia con este software, fueron corregidos en su trayectoria mediante el análisis de la banda 8 de la Misión Sentinel 2 y ventanas de imagen de Google Earth capturadas con el soft Stitch Maps. La asociación con la longitud de onda del infrarrojo cercano (absortiva del agua) en el primer caso y la alta resolución espacial de las ventanas de Google earth, facilitaron el reconocimiento visual de los sectores húmedos vinculadas con las mismas. Una imagen falso color con las bandas 2, 3 y 8a de Sentinel 2 complementaron la información anterior. En este último caso, para hacer posible su desarrollo los píxeles de la banda 8a fueron remuestreados a 10 m. por 10 m. La red de drenaje final de cada cuenca se constituyó con aquellos elementos lineales cuya longitud fuera superior a 1 km. Esta distribución, facilitó la obtención de los parámetros longitud y densidad de drenaje.

La valoración cuantitativa de las diferentes cuencas, se realizó principalmente a través del parámetro *Integral Hipsométrica* (Strahler, 1952a,b), obtenido a partir del MDE de la región. La curva desde la cual se obtiene esta integral, describe la distribución de las superficies para los diferentes intervalos altimétricos dentro de las cuencas (Strahler, 1952a,b; Keller y Pinter, 1996). Resulta de asociar de manera acumulada los intervalos altimétricos, desde los mayores a los menores con las áreas planimétricas vinculadas con los mismos. A los efectos de

comparar a través de este parámetro las diferentes cuencas entre sí, la curva hipsométrica se presentó normalizada en relación tanto a la máxima superficie como al intervalo máximo de altitud dado por la diferencia entre la cabecera y el cierre. De esta forma, la altura relativa resulta de una relación entre el intervalo altimétrico acumulado respecto del intervalo altimétrico total, (h/H). Por su parte la superficie relativa resulta de la relación entre el área acumulada para un determinado intervalo altimétrico (considerado desde la máxima altura) y la superficie total acumulada (a/A). La tabla 1 muestra los datos para cada cuenca.

NAPOSTÁ			SAUCE CHICO			SAUCE GRANDE		
Área Km ²	Área Acum. (%)	Intervalos Altimétricos (%)	Área Km ²	Área Acum. (%)	Intervalos Altimétricos (%)	Área Km ²	Área Acum. (%)	Intervalos Altimétricos (%)
20.25	100	0	27.88	100	0	100.69	100	0
142.78	96.986	4.762	232.36	96.03	5.56	345.06	93.49	5.00
229.10	75.731	9.524	121.18	62.93	11.11	286.65	71.17	10.00
129.91	41.627	14.286	64.14	45.67	16.67	268.33	52.63	15.00
60.01	22.288	19.048	74.36	36.53	22.22	203.66	35.27	20.00
35.91	13.356	23.810	56.08	25.94	27.78	129.02	22.10	25.00
15.59	8.009	28.571	35.92	17.96	33.33	87.06	13.75	30.00
8.77	5.689	33.333	26.35	12.84	38.89	48.77	8.12	35.00
6.10	4.384	38.095	17.43	9.09	44.44	23.81	4.97	40.00
4.63	3.475	42.857	13.07	6.60	50.00	12.40	3.43	45.00
3.35	2.786	47.619	10.41	4.74	55.56	8.82	2.62	50.00
2.92	2.287	52.381	8.23	3.26	61.11	7.32	2.05	55.00
2.71	1.853	57.143	6.27	2.09	66.67	6.39	1.58	60.00
3.01	1.449	61.905	3.78	1.19	72.22	5.31	1.17	65.00
2.60	1.001	66.667	2.02	0.65	77.78	4.86	0.82	70.00
1.92	0.615	71.429	1.18	0.37	83.33	3.44	0.51	75.00
1.33	0.329	76.190	0.76	0.20	88.89	2.36	0.29	80.00
0.47	0.131	80.952	0.50	0.09	94.44	1.20	0.13	85.00
0.19	0.061	85.714	0.13	0.02	100	0.53	0.06	90
0.12	0.033	90.476				0.16	0.02	95
0.07	0.014	95.238				0.16	0.01	100
0.02	0.003	100						

Tabla 1. Intervalos hipsométricos (en porciento) y superficies acumuladas (en km² y porcentual) vinculados con los tramos superiores de las cuencas Napostá, Sauce Chico y Sauce Grande a partir de los cuales se obtuvieron las curvas e integrales hipsométricas.

El desarrollo de las curvas hipsométricas facilitó por otro lado, el cálculo de volúmenes teóricos de terreno iniciales para cada una de las cuencas. Para este caso, teniendo presente que la morfología final de las curvas definidas por Strahler (1952a,b) resultó del análisis de decenas de cuencas de referencia, se consideró como base aquella paramétrica de asociada con la etapa juvenil definida por este autor (Fig. 5). Extrapolando esta consideración, se asumió que el área que se encuentra por debajo de esta curva hipsométrica juvenil, paramétrica, adaptada a los valores de altitud y superficie de las cuencas en análisis, podría representar un volumen teórico de terreno que como mínimo podrían haber alcanzado estos sectores en la etapa inicial. El porcentaje teórico de terreno que quedaría disponible para ser erodado, surge de la relación del volumen de terreno actual [expresado por el valor de integral de cada cuenca (Fig. 3)] respecto del valor teórico de volumen de terreno (relacionado con la integral de la etapa juvenil paramétrica). La obtención de estos volúmenes teóricos se desarrolló de dos maneras

diferentes. Por un lado empleando las curvas juveniles paramétricas en cada cuenca y por otro con el software Surfer a partir de MDE definido como dato vectorial de punto.

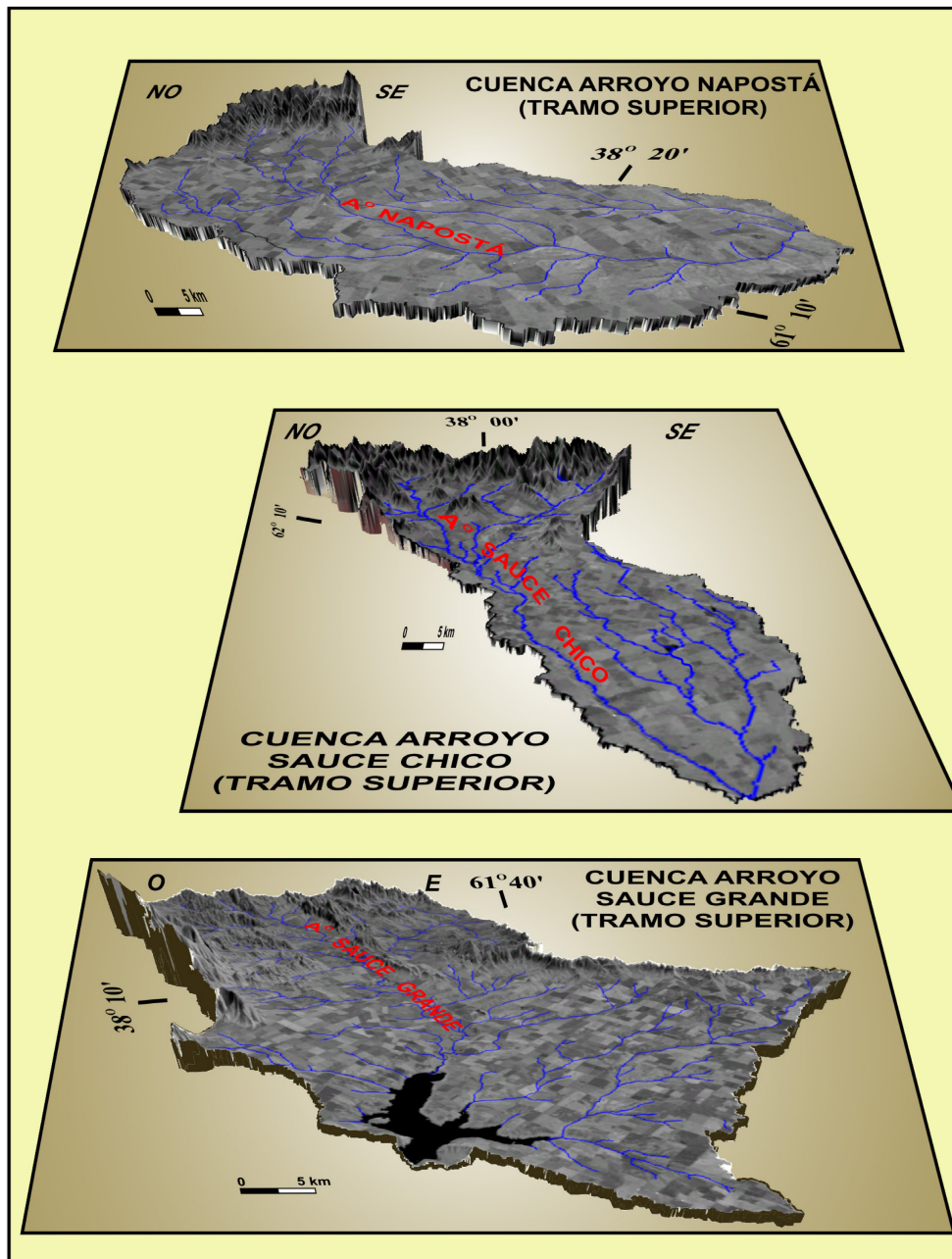


Fig. 3. Modelos tridimensionales desarrollados a partir del MDE ALOS. Volumen de terreno encerrado por la curva de integral hipsométrica para cada cuenca expuesto a la acción de los agentes exógenos. Sobreimpuesta sobre la banda 8 Sentinel 2, la red de drenaje obtenida desde el MDE.

Con el propósito de obtener la distribución de los tipos litológicos en cada una de las cuencas, expresados por las diferentes unidades litoestratigráficas de las Sierras Australes, la delimitación de las mismas se realizó a partir de en las Hojas Geológicas georreferenciadas

Curamalal y Sierra de la Ventana (Harrington, 1947). En particular, como un sector de la cuenca Sauce Grande se encuentra por fuera de ambas hojas, la distribución se completó con el análisis visual de la banda 11 y de una imagen falso color verdadero (bandas 2, 3 y 4), en ambos casos de la Misión Sentinel 2 (Tabla 2 y Fig. 2).

NAPOSTÁ			SAUCE CHICO			SAUCE GRANDE		
Sup. Km ²	(%)	Unidad Litoestratigráfica	Sup. Km ²	(%)	Unidad Litoestratigráfica	Sup. Km ²	(%)	Unidad Litoestratigráfica
7.0	1.0	MASCOTA	0.9	0.1	BASAMENTO	1.84	0.12	TROCADERO
5.8	0.9	TROCADERO	6.9	1.0	LA LOLA	0.27	0.02	BRAVARD
47.2	7.0	BRAVARD	16.8	2.4	MASCOTA	8.06	0.52	NAPOSTA
612.9	91.1	CUATERNARIO	34.1	4.8	TROCADERO	20.15	1.30	PROVIDENCIA
			28.8	4.1	BRAVARD	69.34	4.47	LOLEN
			40.7	5.8	NAPOSTÁ	39.95	2.57	SAUCE GRANDE
			575.6	81.8	CUATERNARIO	9.54	0.62	PIEDRA AZUL
						29.37	1.90	BONETE
						35.72	2.31	TUNAS
						1334.69	86.17	CUATERNARIO

Tabla 2. Superficie cubierta y distribución en cuenca de los depósitos asociados a unidades litoestratigráficas representadas en la figura 2.

Resultado y discusiones

Los puntos más altos reconocidos en las cabeceras a partir del MDE para las cuencas del Sauce Chico, Napostá y Sauce Grande, fueron de aproximadamente 804, 851 y 590 metros sobre el nivel del mar (msnm) respectivamente. En tanto que el cambio significativo en la pendiente media del curso principal, que permitió definir el cierre de la cuenca, se corresponde con 180, 151.5 y 165 msnm para cada una de ellas. En cada caso, los valores pasan de 0.95% a 0.09%, 1.29% a 0.26% y 0.63% a 0.21% respectivamente. La superficie abarcada por estas cuencas alcanza los 704 km², 673 km² y 1549 km² respectivamente, con un bajo porcentaje de depósitos paleozoicos contenidos dentro de las mismas que no supera el 20% (Tabla 2 y 3).

Cuenca	Long. Km.	Sup. Km ²	Densidad %	Volumen Teórico Inicial Km ³	
				Integral Hipsométrica	Soft. Surfer
NAPOSTÁ	309.4	673.0	46.0	562.1	506.2
SAUCE CHICO	280.7	703.8	39.9	506.5	555.5
SAUCE GRANDE	600.3	1548.9	38.8	1282.2	1180.2

Tabla 3. Parámetros obtenidos para cada cuenca.

Las redes de drenaje obtenidas, presentan una textura que tiende a ser subparalela en las cuencas Sauce Chico y Napostá, con una longitud total de vías de escurrimiento de aproximadamente 56 km y 53 km., que se distribuyen con una densidad del 39.9% y 46%

respectivamente. Para el arroyo Sauce Grande, la textura tiende a ser dendrítica, con una longitud total cercana a los 600 km., distribuida con una densidad del 38.8% (Fig. 2 y Tabla 3).

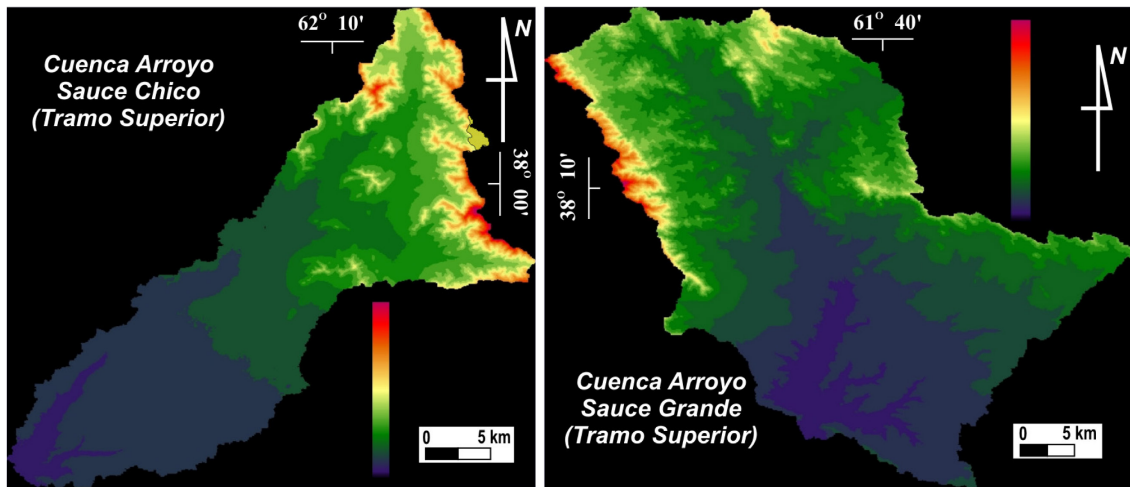
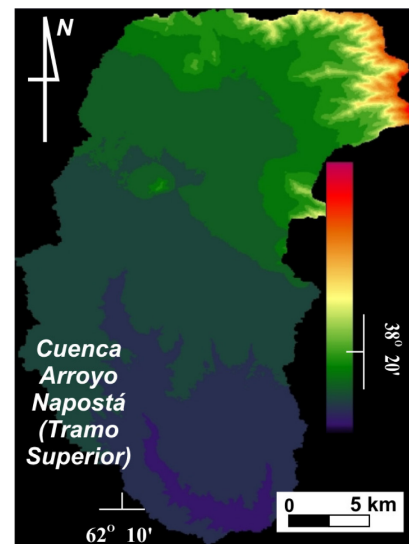


Fig. 4. Intervalos hipsométricos obtenidos con el software Idrisi del tramo superior de las cuencas de los arroyos a) Sauce Chico b) Sauce Grande c) Napostá. Obtenidos de MDE ALOS (30 m resolución espacial) y definidos para un diferencial de altitud de 50 m. Los tonos rojizos y azulados representan los mayores y menores valores altitudinales para cada cuenca respectivamente.



La figura 4 muestra el MDE con los intervalos hipsométricos a partir de los cuales se elaboraron las curvas hipsométricas de las tres cuencas. Desarrolladas con intervalos de 50 m. (Tabla 3), están caracterizadas en todos los casos por una morfología cóncava hacia arriba con puntos de inflexión dispuestos en intervalos altimétricos bajos (Fig. 5).

Los volúmenes de terreno teórico obtenidos a partir de la curva de hipsométrica de la etapa juvenil, resultan de 506.5 km³, 562.1 km³ y 1282.2 km³ para las cuencas Sauce Chico, Napostá y Sauce Grande, mientras que los obtenidos a partir de la imagen vectorial del MDE mediante el software Surfer es de 555.5 km³, 506.2 km³ y 1180.2 km³ respectivamente. En todos los casos la base del cuerpo volumétrico que conforma la cuenca, es el plano horizontal que contiene al punto de cierre y tiene la forma del límite externo de la cuenca (Fig. 3 y Tabla 3).

Strahler (1952a,b), estableció que las curvas hipsométricas pueden usarse para deducir las etapas de evolución geomórfica de una cuenca de drenaje, representando el área encerrada

por debajo de esta curva el volumen de terreno expuesto actualmente en superficie. Propone que las características morfológicas de cada una de estas curvas están condicionadas por tres factores: *tectónicos*, *climáticos* y *litológicos*. De esta manera, las formas *convexas*, *cóncavas-convexas* y *cóncava* tenderían a desarrollarse en el contexto de paisajes juveniles, maduros y seniles respectivamente. Para el área en estudio, las tres cuencas se han desarrollado en un marco de uniformidad climática, razón por la cual, la tectónica y la litología serían las variables principales a considerar en el control de la morfología de las curvas para cada una de ellas (Fig. 5).

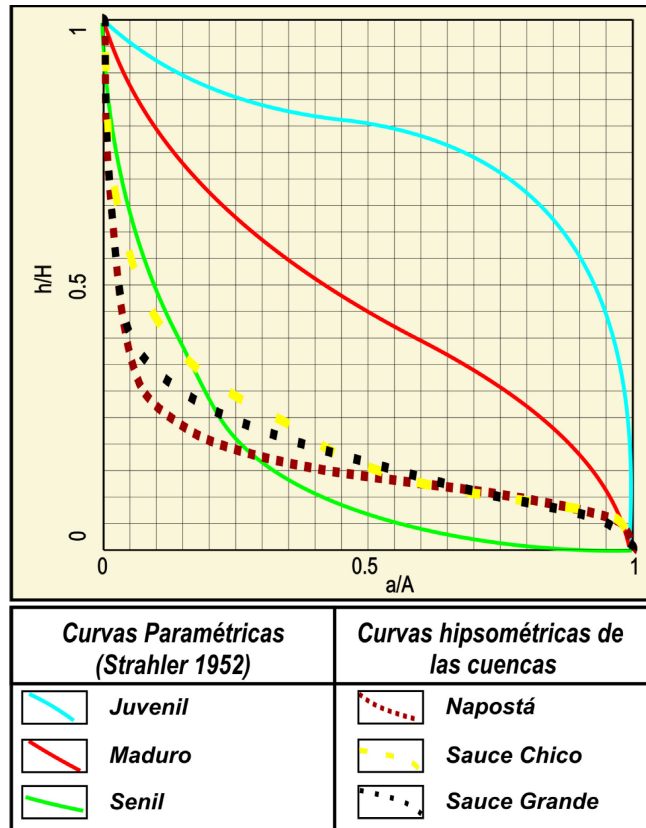


Fig. 5. Curvas paramétricas definidas por Strahler (1952) asociadas a las etapas evolutivas de paisaje. Superpuestas de manera comparativa, las curvas hipsométricas de los tramos superiores de los arroyos Napostá, Sauce Chico y Sauce Grande.

Por su parte Keller y Pinter (1996), realizaron diferentes consideraciones de la integral hipsométrica respecto de la relación entre los procesos endógenos y exógenos. Las mismas están referidas tanto a la posición del punto de inflexión de la curva, como a los valores de integral hipsométrica. Si el punto en que la inflexión de la curva se presenta a alturas relativas mayores, los procesos tectónicos serán los predominantes y mayor el porcentaje del paisaje original preservado. Por el contrario, si ese punto de inflexión se presenta a menores alturas, reflejaría un mayor grado de evolución del paisaje, predominando los procesos exógenos. Con respecto a los valores de Integral mayores a 0.5, asociados con curvas convexas que indican estadios juveniles, fueron vinculados a procesos tectónicos positivos, con predominio del levantamiento de la superficie, con generación o exposición de rocas, sobre los procesos de

erosión. Valores de Integral menores a 0.5 se asocian curvas con morfología cóncava, e indicarían una menor participación o ausencia de la variable tectónica.

Conclusiones

A pesar de que las cuencas Sauce Chico, Napostá y Sauce Grande tienen desarrollo en un mismo marco geológico estructural regional, desde el cual evolucionaron, localmente los tramos superiores de estas cuencas se presentan dispuestos en contextos geomórficos diferentes. A partir de esto, se puede establecer que:

- Los tramos superiores de los arroyos Sauce Chico y Napostá se presentan con sentido noreste-sudoeste, dispuestos morfográficamente sobre una pendiente consecuente suroccidental de la estructura principal. Con una densidad de drenaje de 39.9%, la primera tiene desarrollo mayoritariamente a partir de unidades geológicas vinculadas con los Ciclos I y II de depositación paleozoica. En tanto que la del arroyo Napostá, con una densidad de 46%, tiene nacimiento en afloramientos principalmente asociados al Ciclo II de depositación. Por su parte, el tramo superior de la cuenca del arroyo Sauce Grande se presenta con una posición morfográfica subsecuente con relación al contacto entre los Ciclos II y III de la estructura principal. Las vías de escurrimientos, que alcanzan una densidad de 38.8%, tienen cabecera sobre depósitos vinculados mayoritariamente con los Ciclo sedimentarios III y en menor medida con el II.

- Los porcentajes de rocas paleozoicas aflorantes en todos los casos resultan bajos, siendo de 18.2% para el arroyo Sauce Chico, 8.9% para Napostá y 13.8% para el Sauce Grande, no guardando correlación con los valores de integrales obtenidos de 0.24, 0.22 y 0.25 respectivamente. En todos los casos, los sedimentos y sedimentitas modernas contenidas en ellas resultan ampliamente mayoritarios, 81.8% Sauce Chico, 91.1% Napostá y 86.2% Sauce Grande. Constituyen en consecuencia, uno de los aspectos físicos importantes a considerar en el manejo integral del sector.

- No obstante los diferentes encuadres geomórficos, todas ellas presentan curvas hipsométricas de morfología y puntos de inflexión similares. Reflejan un grado de evolución del relieve que tiende al paisaje senil, actualmente con procesos depositacionales predominando sobre los erosivos. Esto indicaría que tanto la posición morfográfica como la intensidad relativa de metamorfismo alcanzado por las rocas sobre las que estas cuencas se encuentran labradas, no habrían condicionado de manera significativa la evolución de las mismas. Para el caso del metamorfismo, aún con las cuencas Sauce Chico y Napostá dispuestas sobre depósitos que presentan mayor grado de metamorfismo relativo que el de los depósitos drenados por el arroyo Sauce Grande, los porcentajes de volumen de terreno actual que se encuentran expuestos a los agentes exógenos resultan semejantes de 23.7%, 22.0% y 25.1% respectivamente.

- Existen diferencias importantes, entre los volúmenes teóricos de terreno que mínimamente podrían haber alcanzado en la etapa inicial las cuencas Sauce Chico (555.5-506.5 km³) y Napostá (562.1-506.2 km³) con respecto al de la cuenca Sauce Grande (1282.2-1180.2 km³). Esto habría sido resultado del control ejercido principalmente por la posición morfográficas de las cuencas y no tanto por el grado de metamorfismo de los depósitos paleozoicos en donde se encuentran emplazadas. Los arroyos Sauce Chico y Napostá se desarrollan circunscriptos sobre la pendiente opuesta a la vergencia de la estructura regional. El Sauce Grande, lo hace longitudinalmente de manera más extendida, flanqueado por dos serranías de la estructura

regional cuyas altimetrías superan las de la cabecera, comprendida en una divisoria perpendicular al rumbo general de las sierras .

- Los procesos de tectónica cenozoica reconocidos para la región, no habrían afectado a estas cuencas más allá de la profundización de algunos los cauces, quedando esto reflejado por los bajo valores de integral hipsométrica que en todos los casos resultan muy inferiores a 0.5. En particular, los mismos alcanzan 0.24, 0.22 y 0.25 en las cuencas de los arroyos Sauce Chico, Napostá y Sauce Grande respectivamente.

Referencias Bibliográficas

- Albouy, R. 1994. Hidrogeología de la cuenca superior del río Sauce Chico, Sierras Australes, provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. (inédita). 189 p.
- Albouy, R. y Bonorino, A. 1997. Hidrogeología de la cuenca superior del río Sauce Chico, Sierras Australes, Provincia de Buenos Aires RAGA, 52 (1): 8, p. 1-92.
- Andreis, R., Iñiguez, A., Lluch J. y Rodríguez, S. 1989. Cuenca paleozoica de Ventania, Sierras Australes, provincia de Buenos Aires En: G. Chebli y Spalletti (Eds.). Cuencas Sedimentarias Argentinas. Instituto Superior de Correlación Geológica, Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán, pp. 265-298.
- Bonorino, G.A., 1991. Evaluación de la recarga de agua subterránea en el área de la vertiente occidental de las Sierras Australes, Provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 46: (1- 2), pp. 93-102.
- Bonorino, A.G., Schilizzi, R. y Kostadinoff, J. 1986. Investigación geológica y geofísica en la región de Bahía Blanca. III Jornadas Pampeanas de ciencias Naturales, Actas (3), Santa Rosa, p. 55-64.
- Carrica, J. 1998. Hidrogeología de la cuenca del arroyo Napostá Grande, provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral. Universidad Nacional del Sur. Biblioteca Central. (inédita). 215 p.
- Carrica, J.C. y Lexow, C., 2004. Evaluación de la recarga natural al acuífero de la cuenca superior del Arroyo Napostá Grande, Argentina. RAGA, 59 (2), p. 281-290.
- García, J. y de García, O. 1964. Hidrogeología de la región de Bahía Blanca (provincias de Buenos Aires y La Pampa). Dir. Nacional de Geología y Minería, Bol. 96, Buenos Aires, p. 1-94.
- Gil, V. 2009. Hidrogeomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al peligro de Crecidas. Tesis Doctoral. Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional de Sur, Bahía Blanca. Expediente N° 883691 de Registro de Obra Inédita, Dirección Nacional de Derecho de Autor. (inédita). 262 pp.
- Harrington, H. 1947. Explicación de las Hojas Geológicas 33m y 34m Sierras de Curamalal y Sierra de la Ventana. Provincia de Buenos Aires. Boletín de Dirección de Minas y Geología, Buenos Aires, 61 p.
- Keller, E. and Pinter, N. 1996. Active tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape. Prentice Hall, New Jersey. 338 p.
- Kostadinoff, J., Gelos, E. y Font, G. 1981. Interpretación de los resultados gravimétricos de las Sierras Australes, Provincia de Buenos Aires. Asociación Geológica Argentina, Revista, XXXVI (2), Buenos Aires, p. 113-122..
- Lafont, D. 2009. Identificación y caracterización de contaminantes metálicos en el acuífero costero del área industrial de Bahía Blanca. UNS. Tesis Doctoral. (inédita). 142 pp.
- Ramos, V. 2008. Patagonia: A paleozoic continent adrift?. Journal of South American Earth Sciences 26, p. 235-251.

- Ramos, V., Chemale, F., Naipauer, M. and Pazos, P. 2013. A provenance study of the Paleozoic Ventania System (Argentina): Transient complex sources from Western and Eastern Gondwana, Gondwana Research. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2013.07.008>
- Scian, B. 2010. Clima: Bahía Blanca y el Sudoeste bonaerense. En: Ambiente y recursos naturales del Partido de Bahía Blanca: clima, morfología, suelos y agua. Paoloni, J. D. (Ed.). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina, p. 27-83.
- Sellés-Martínez, J. 2001. Geología de la Ventania (Provincia de Buenos Aires (Argentina) The geology of Ventania (Buenos Aires Province, Argentina). *Journal of Iberian Geology*. 27, p. 43-69.
- Strahler, A. 1952a. Dynamic basis of geomorphology. *Geological Society of America Bulletin*, 63, p. 923-938.
- Strahler, A., 1952b, Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography, *Bulletin of the Geological Society of America*, vol. 63, p. 1117-1142.
- Suero, T., 1972. Compilación geológica de las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires. LEMIT (La Plata), *Anales* 3, p. 135–147.
- Thorntwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, p. 55-94.