



DELINEACIÓN Y CODIFICACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS EN LA PATAGONIA AUSTRAL

*Boris Gastón Díaz*¹

*Melisa Giménez*²

*Leandro Almonacid*³

*Fernanda Gaspari*⁴

*Mariano Bertinat*⁵

*Pablo Luis Peri*⁶

(Manuscrito recibido el 26 de agosto de 2021, en versión final 11 de noviembre de 2021)

Para citar este documento

Díaz B.G., Giménez M., Almonacid L., Gaspari F., Bertinat M. & Peri P.L. (2021). Delineación y codificación de cuencas hidrográficas en la Patagonia Austral. *Boletín Geográfico*, 43(2), 51-69.

Resumen

La definición de la cuenca hidrográfica es fundamental para enfrentar los desafíos de la gestión integrada de los recursos hídricos, considerando las demandas sociales, productivas y ambientales. Su apropiada delimitación espacial es una condición esencial para la comprensión de procesos eco hidrológicos en el territorio en diferentes escalas. En este trabajo se desarrolló la delineación y codificación de regiones hidrográficas al sur de la Patagonia Austral bajo procedimientos estandarizados y nuevas tecnologías de geo información, aún sin antecedentes en la

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) EEA Santa Cruz (Argentina). Mahatma Gandhi 1322 (CP9400), Río Gallegos, Santa Cruz (Argentina). E-mail: diaz.boris@inta.gob.ar.

² Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), CONICET. Avda. Ruiz Leal s/n (CP5500) Mendoza, Mendoza (Argentina). E-mail: mmgimenez@mendoza-conicet.gob.ar

³ Convenio Municipalidad de Río Gallegos – INTA CR Patagonia Sur. Mahatma Gandhi 1322. (CP9400), Río Gallegos, Santa Cruz (Argentina). E-mail: almonacid.leandro@inta.gob.ar

⁴ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales – UNLP. Avda. 60 y 119 s/n (CP1900) La Plata, Buenos Aires (Argentina). E-mail: fgaspari@agro.unlp.edu.ar

⁵ Secretaría de Estado de Ambiente de Santa Cruz. Elcano 260 (Z9400JGF) Río Gallegos, Santa Cruz (Argentina). E-mail: marianobertinat@gmail.com

⁶ INTA – UNPA – CONICET. Mahatma Gandhi 1322 (CP9400), Río Gallegos, Santa Cruz (Argentina). E-mail: peri.pablo@inta.gob.ar

región. Se trabajó con el modelo ALOS World 3D, escenas de alta resolución WorldView y algoritmos del software libre QGIS 3.12 para realizar delineaciones automatizadas de cuencas en diversos niveles de anidación hidrológica y su posterior codificación y nomenclado. Se logró un producto cartográfico preciso, en escala 1:25.000, sobre un territorio de 366.357,4 km², consistente en 7.307 unidades hidrográficas distribuidas en 5 niveles, con 14 grandes regiones hidrográficas (RH), en el nivel superior, 46 subregiones, 249 cuencas hidrográficas, 1.110 subcuencas y 5.888 microcuencas. La cartografía lograda mejoró la resolución y precisión de productos regionales disponibles, representando una herramienta valiosa para la gestión del recurso agua en diferentes niveles de organización y complejidad de los procesos naturales.

Palabras clave: Hidrología; SIG; recursos hídricos; GIRH.

WATERSHED DELINEATION AND CODIFICATION IN SOUTHERN PATAGONIA

Abstract

Watershed definition is fundamental for integrated management of water resources, considering the social, productive and environmental demands. The watershed spatial delimitation is essential to understand eco-hydrological processes in the territory and management. The objective of this work was to delineate and code the hydrographic regions of Southern Patagonia under standardized procedures and new geographic information technologies. The ALOS World 3D model, WorldView high-resolution scenes and QGIS 3.12 free software algorithms were used to carry out automated watershed delineations at various hydrological nesting levels, and subsequent coding and nomenclature. A precise cartographic product was achieved at a scale of 1: 25,000 on a territory of 366,357.4 km². This results in 7,307 hydrographic units distributed in 5 levels, with 14 large hydrographic regions (RH) in the upper level, 46 sub-regions, 249 hydrographic basins, 1,110 sub-basins and 5,888 micro-basins. The cartography achieved improved the resolution and precision of actual available regional products, representing a valuable tool for the sustainable water resources management at different levels of organization and complexity of natural processes.

Keywords: Hydrology; GIS; water resources; IWRM

Introducción

El agua es un recurso natural finito y vulnerable, esencial para el mantenimiento de toda forma de vida conocida y fundamental para el desarrollo de una diversidad de

actividades socioeconómicas, hechos que justifican la necesidad de un manejo integrado (Hossain, 2015; FAO, 2017; Khalifa & Bidaisee, 2018). El agua interviene vinculando a todos los recursos naturales, creando fuertes relaciones e interdependencias entre éstos y los usuarios dentro de los límites de las cuencas hidrográficas (Dourojeanni, Jouravlev & Chávez, 2002).

Esta unidad representa una base territorial esencial para la planificación y la aplicación de estrategias de gestión integrada para la conservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos minimizando los conflictos a la vez que equilibrando las demandas sociales, productivas y ambientales sobre éstos (Verdin & Verdin, 1999; Dourojeanni *et al.*, 2002; Berelson, Caffrey & Hamerlinck, 2004; Gupta, 2011). También es una unidad territorial útil para el manejo del capital natural en la ecología de paisajes, siendo el agua el factor de interconexión entre flujos de materia y energía entre diferentes ambientes (Zonneveld, 1989) e incluso entre éstos y las sociedades insertas (FAO, 2006; Brooks, Ffolliott & Magner, 2012).

Así, la delimitación espacial de cuencas hidrográficas es una herramienta crítica para la comprensión de complejos procesos hidrológicos en el territorio (Ziadat, Bunning & De Paw, 2017) y resulta fundamental para la toma de decisiones al permitir organizar sus alcances en el espacio, en la búsqueda de un equilibrio ambiental y cohesión territorial (Barborak, Cuesta, Montes & Palomo, 2015). Es el resultado de un procedimiento técnico de elaboración de cartografía mediante el cual se subdivide un territorio en un subconjunto de unidades espaciales pequeñas que satisfacen objetivos específicos de manejo y reglas para su tratamiento (Borrini-Feyerabend, Farvar, Solís & Govan, 2001), facilitando la identificación, comprensión y modelización de fenómenos hidrológicos (Lai, Li, Lv, Pan & Fei, 2016). En este procedimiento, la disponibilidad de tecnologías de la información geográfica, de datos topográficos e hidrográficos confiables y de buena resolución resultan indispensables y condicionan la calidad, detalle, confiabilidad y utilidad práctica del producto cartográfico final (Li, Yang & Wu, 2019).

La importancia de la zonificación hidrográfica para la planificación, el uso sostenido y la gestión integrada de los recursos hídricos ha sido reafirmada en diversos foros internacionales, como la Conferencia de las Aguas y Medio Ambiente (Dublin 1992) y la Conferencia de las Naciones Unidas sobre El Medio Ambiente y Desarrollo (Río de Janeiro 1992), entre otros (Verdin & Verdin, 1999; Dourojeanni *et al.*, 2002). Específicamente, el Capítulo 18 de la Agenda 21 establece que la ordenación integrada de los recursos hídricos tendría que hacerse a nivel de cuenca bajo métodos estandarizados (Berelson *et al.*, 2004; De Jager & Vogt, 2010).

Los antecedentes relacionados con cartografía de cuencas en la Patagonia Austral de Argentina son numerosos desde la década de 1960 hasta el presente, cubriendo un rango amplio de escalas de delineación y fuentes de información de base (CFI, 1961; INCYTH, 1982; SRNyDS, 1998; SSRH, 2002; Diaz & Minatti, 2006; SSRH, 2010). Mayormente se han acotado a los límites político-administrativos del país, con lo cual amplias regiones con recursos hídricos compartidos carecen hasta la fecha de un mapeo completo, necesario para la caracterización, entre otros, de la

distribución de fenómenos hidroclimáticos y del balance hidrológico y, en consecuencia, limitando la planificación del manejo y su conservación.

La implementación de tecnología SIG y de teledetección basada en imágenes satelitales durante las décadas de 1980 y 1990 permitió la producción de cartografía hídrica en escalas progresivamente menores y de mayor detalle (INCYTH, 1982; SRNyDS, 1998) hasta alcanzar la versión más ampliamente utilizada en la actualidad en escala 1:250.000 (SSRH, 2010). El sistema de delineación y codificación vigente, propuesto en versiones tempranas del mapa nacional de cuencas (INCYTH, 1982), presenta un esquema básico de 100 unidades hidrográficas para todo el país, con algunas subdivisiones en la versión más reciente, publicado en el Atlas Digital de Cuencas y Regiones Hídricas Superficiales de la República Argentina (SSRH, 2010). Sin embargo, se presentan limitaciones que no permiten su implementación práctica en la gestión regional de los recursos hídricos como el no disponerse de una metodología estandarizada y documentada de graficación que permita su replicabilidad a otras escalas. Asimismo, la falta de un sistema de agregación de unidades hidrográficas limita su utilización en la modelización de la dinámica superficial del agua, así como la aplicación de políticas públicas y la toma de decisión puntual, para el uso y la conservación, en diferentes niveles espaciales.

El objetivo del presente trabajo consistió en la delineación y codificación de regiones hidrográficas superficiales en la Patagonia Austral de Argentina y territorios interjurisdiccionales con recursos hídricos compartidos, bajo procedimientos estandarizados de amplia utilización en la actualidad y nuevas tecnologías disponibles de geoinformación, como base para el planteo de una gestión integrada y sustentable del agua de superficie.

Área de estudio y Datos.

La región de interés se encuentra en la porción meridional de la Patagonia Austral e involucra territorios interjurisdiccionales con recursos hídricos compartidos con la provincia de Chubut en la República Argentina, y las Regiones de Magallanes y Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo en la República de Chile (Figura 1). Se ubica entre los océanos Pacífico y Atlántico, con elevaciones que van desde los -105 msnm en el Gran Bajo de San Julián, a poco más de 3.700 msnm en la Cordillera de los Andes. El clima es templado frío con precipitaciones medias anuales líquidas que varían desde 800 y 9.000 mm en el occidente, hasta 100 a 200 mm anuales en zonas áridas y semiáridas en el oriente. Se trata de una región con un uso del suelo predominantemente ganadero ovino durante poco más de un siglo, junto a otras actividades económicas puntuales como la minería de oro y plata, la explotación de hidrocarburos convencionales y no convencionales, el turismo y la ganadería bovina. Estas actividades, junto a prácticas de conservación del medio natural, crean situaciones de conflicto emergentes aún no abordados desde la gestión de los recursos hídricos.

Fuente de datos planialtimétricos.

Se extrajeron isolíneas de nivel y se generaron divisorias automáticas de agua (delineaciones) a partir del modelo digital de superficie ALOS World 3D (AW3D30 v2.1), desarrollado por Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA©). Consiste en una grilla planialtimétrica de 30 m de resolución espacial (1 segundo de arco en latitud y longitud), generado a partir de imágenes ópticas por la misión ALOS PRISM (Tadono *et al.*, 2016). Posteriormente, se realizó una inspección y corrección manual de las delineaciones logradas apoyado en un segundo set auxiliar de isolíneas derivadas del producto MDE-Ar v2.0, desarrollado por el Instituto Geográfico Nacional de Argentina, a partir de una hibridación de los productos AW3D30 y SRTM (IGN, 2019a). Este contiene mejoras a algunas inconsistencias del AW3D30 (IGN, 2019a), si bien su cobertura alcanza solo al territorio argentino.

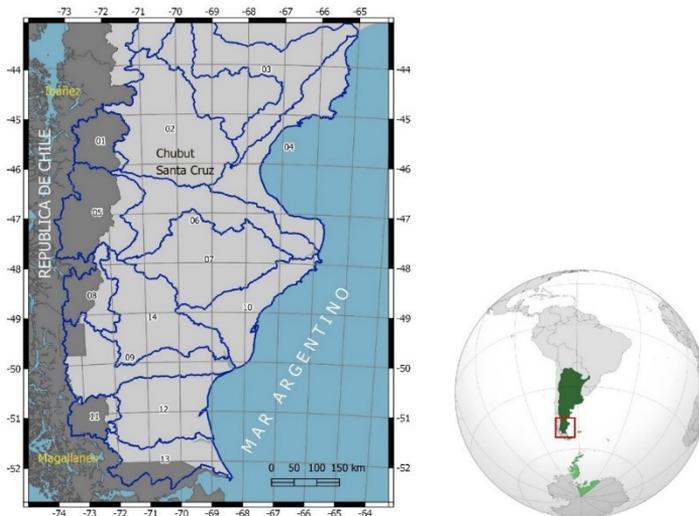


Figura 1. Ubicación y extensión de las Regiones Hidrográficas (RH) en la Patagonia Austral de la República Argentina. Fuente: Adaptado de Diaz y Giménez (2015).

La precisión vertical global del DSM AW3D30 es de un promedio (μ) de entre -0,44 y 4,36 m con desvíos estándar ($\pm \sigma$) de entre 0,70 y 4,38 m, significativamente mejor que otros productos globales libres predecesores como SRTM3 y ASTER GDEM, en especial en zonas con densas coberturas de vegetación (Santillán, Santillán & Makinano, 2016; Tadono *et al.*, 2016; Jain, Thaker, Chaurasia, Patel & Singh, 2017; Caglar, Becek, Mekik & Ozendi, 2018; Florinsky, Skrypitsyna & Luschikova, 2018; EORC & JAXA, 2020). Diversos estudios comparativos a nivel mundial permiten corroborar estos márgenes de precisión del DSM AW3D30, convalidando la confiabilidad predictiva del modelo (Jain *et al.*, 2017; Caglar *et al.*, 2018; Florinsky

et al., 2018). El producto MDE-Ar v2.0 presenta una precisión vertical $\mu = -1,44$ m y un $\sigma = \pm 1,57$ m para puntos de verificación en la provincia de Chubut y de $\mu = -0,98$ m $\pm \sigma = 1,67$ m en la provincia de Santa Cruz (IGN, 2019a), resultados consistentes con las precisiones documentadas en otras regiones del mundo.

Metodología

Proceso de delineación.

Para la delineación y jerarquización anidada de unidades hidrográficas (UH) se aplicaron procedimientos propuestos por USGS (2013) para el desarrollo del National Watershed Boundary Dataset (NWBD), en Estados Unidos. El principio fundamental de graficación se apoya en la división topográfica en donde los escurrimientos de superficie convergen en un punto común (curso o cuerpo) en su porción topográfica más baja. Se desarrolló un esquema de anidación de UH en 5 niveles, cubriendo un rango de superficies compatibles con la cobertura territorial de diferentes escalas de referencia establecidos para la cartografía analógica oficial de la República Argentina por el Instituto Geográfico Nacional (IGM, 1946), (Tabla 1).

El nivel propuesto en la escala más grande (N5) se corresponde con UH de extensiones promedio hasta 89,6 km², compatible con cartografía en E 1:25.000; el siguiente nivel (N4), posee extensiones hasta 364,6 km²; el N3 hasta 1.472,9 km²; el N2 hasta 11.335,1 km², y, en la escala más pequeña (N1), compatible con cartografía en el rango de E 1:250.000 a 1:500.000, con coberturas superiores a los 11.335,1 km² (Tabla 1).

CIUH	IDENTIFICACIÓN	NH	ESCALA	COBERTURA
2	Región Hidrográfica (RH)	N1	1:250.000 – 1:500.000	11.335,1 – 52.571,6
4	Subregión Hidrográfica (SH)	N2	1:125.000 – 1:150.000	nd
6	Cuenca (CC)	N3	1:100.000 – 1:50.000	1.259,5 – 1.472,9
8	Subcuenca (SC)	N4	1:50.000 – 1:25.000	315,5 – 364,6
10	Microcuenca (MC)	N5	< 1:25.000	78,9 – 89,6

Tabla 1. Sistema propuesto de zonificación anidada, codificación de unidades hidrográficas y relación con escalas cartográficas de referencia del IGM (1946). Donde: CIUH= Código de Identificación de Unidades Hidrográficas compuesto por un número determinado de dígitos; IDENT= Identificador de cada nivel; NH= Nivel hidrológico de organización; ESCALA= Rango de escalas cartográficas de cobertura para cada nivel propuesto; COBERTURA= Rangos de coberturas de referencia en latitudes al sur de -46°, expresada en km², para cartografía analógica papel, según normas de publicación Instituto Geográfico Nacional (IGN); nd= Escala no utilizada en cartografía oficial del país.

Para la delineación automática se utilizaron los algoritmos disponibles en GRASS 7.8.2 (OSGeo, 2019) y QGIS 3.12 con librería GDAL/OGR 3.0.3 (OSGeo,

2020), consistente en: (a) la generación de un DSM y mapas de isolíneas; (b) la creación de una red de escurrimiento superficial teórica con su respectiva dirección de flujo y puntos de acumulación; (c) la generación de un modelo de delineación de cuencas a partir de factores de corte (superficies mínimas) para los diferentes niveles de anidación propuestos; y finalmente, (d) su vectorización automática (Lindsay, Rothwell & Davies, 2008; Lai *et al.*, 2016).

El algoritmo de GRASS para la delineación de UH fue A^T Least-Cost Search, que presenta un buen desempeño para la extracción de parámetros hidrológicos a partir de un DSM, en especial en zonas relativamente planas o con importante cobertura vegetal (Ehlschlaeger, 1989; OSGeo, 2019). Las isolíneas de control, obtenidas a partir de los modelos AW3D30 y MDE-Ar, se desarrollaron mediante interpolación IDW (distancia inversa ponderada). A partir de éstas, se realizó una inspección manual de los polígonos logrados, en el rango de escalas E 1:5.000 a 1:10.000, a fin de detectar y corregir imperfecciones del trazado, el suavizado del dibujo a partir de la simplificación de nodos y vértices y, cuando resultó necesario, el planteo de correcciones topológicas a imperfecciones generadas durante la automatización a fin de asegurar la mayor exactitud posible de los resultados (Li *et al.*, 2019) y con ello, la calidad y confiabilidad de los productos obtenidos (Lindsay *et al.*, 2008).

Estas tareas se apoyaron en la inspección visual sobre imágenes libres de Bing Maps (Microsoft, 2020), disponible a través del plugin OpenLayers (2020), consistente en mosaicos satelitales de alta resolución espacial, con pixel de 0,30 m de lado World View II, provistas por la empresa comercial DigitalGlobe.

Codificación y nomenclatura de unidades hidrográficas.

La codificación de UH consistió en la agregación progresiva de caracteres como una función de la jerarquía representada por 2 para el N1 hasta un máximo de 10 para el N5, hasta lograr un Código de Identificación de Unidades Hidrográficas (CIUH) siguiendo las referencias propuestas por USGS (2013) (Tabla 1). Para toda descripción geográfica realizada o cálculo de superficies en los cuales se necesitó recurrir al límite internacional para establecer el dominio de alguna porción de territorio mapeada se utilizó la versión oficial más actualizada disponible del trazado internacional aprobado por la Comisión Nacional de Límites de la Cancillería Argentina (CONALI), en escala 1:100.000, elaborada y distribuida por el Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2019b).

La toponimia propuesta para la identificación de las UH, en los diferentes niveles de anidación, procede de fuentes de información geográfica oficiales para ambos países, como Dirección General de Aguas (2016), Biblioteca del Congreso Nacional (2017) y cartografía de la Comisión Mixta de Límites Chile - Argentina (DIFROL, 2020) para el territorio chileno, así como cartografía oficial 1:100.000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN), el producto digital SIG250 (IGN, 2019b), para el territorio argentino. El orden de prioridad para la designación de topónimos fue, desde N1 y progresivamente hasta N5: (a) atributos hidrológicos relevantes, (b) topónimos

oficiales que reflejan aspectos políticos y/o culturales significativos, (c) topónimos publicados en fuentes cartográficas no oficiales, siguiendo la propuesta de Seaber *et al.* (1987).

Cálculo de superficies.

Los productos cartográficos finales se desarrollaron en POSGAR 2007/Argentina Faja 2 (EPSG:5344). La determinación de superficies planas se realizó en el sistema Cónico de Albers (Snyder, 1987) que asegura una mínima distorsión en las áreas graficadas (Jenny, 2012; Šavrič & Jenny, 2016). Para el ajuste de paralelos de referencia ecuatorial y polar (ϕ_1 y ϕ_2) se aplicó la función dependiente de los paralelos extremos que alcanzó cada UH mapeada (ϕ_{\min} y ϕ_{\max}), (Snyder, 1987; Bugayevskiy & Snyder, 1995; Šavrič & Jenny, 2016) y aplicando un valor $K=4$ de acuerdo con la propuesta de Kavrayskiy para las formas predominantes en esta región (Bugayevskiy & Snyder, 1995) (Tabla 2). El esferoide de referencia utilizado fue GRS 1980 (ESRI:102033), (MapTiler Team, 2019).

UH	Nombre	Φ_1	Φ_2	Φ_{\min}	Φ_{\max}	Mer.W	Mer.E
01	Rio Simpson	45,1577	45,8119	44,8306	46,1390	72,9572	71,3777
02	Rio Senguer	44,2977	45,5515	43,6708	46,1785	72,0727	66,1597
03	Rio Chubut *	44,4234	45,8003	43,7349	46,4887	71,2685	66,1597
04	Golfo San Jorge	44,4470	46,6500	43,3456	47,7515	69,1015	65,0435
05	L. Buenos Aires	46,4245	47,4318	45,9208	47,9355	73,5848	70,9216
06	Rio Deseado	46,5444	47,4733	46,0799	47,9378	71,9154	65,8566
07	Planicie Central	47,4212	48,4364	46,9136	48,9440	71,6727	66,5366
08	L. San Martin	48,0003	48,9109	47,5451	49,3662	73,5203	71,7683
09	Rio Santa Cruz	49,3984	50,3252	48,9349	50,7886	73,5172	68,2886
10	Rio Seco	48,3595	49,5335	47,7725	50,1206	70,1107	65,7614
11	Rio Vizcachas	50,8356	51,3054	50,6007	51,5403	73,5437	71,8498
12	Rio Coyle	50,5466	51,3425	50,1487	51,7405	72,2868	68,3546
13	Rio Gallegos	51,6107	52,2417	51,2952	52,5573	72,4439	68,3514
14	Rio Chico Central	48,2489	49,4634	47,6416	50,0706	72,3183	68,4820

Tabla 2. Parámetros utilizados para el cálculo de superficies mediante el sistema Equivalente Cónico de Albers, en superficies resultantes de cada UH, expresados en decimal de grado. Donde: * Solo se consideró la Subregión Hidrográfica Río Chico, integrante de esta RH, que consiste en una región con recursos hídricos compartidos con la provincia de Santa Cruz.

Resultados

El producto cartográfico logrado totalizó 7.307 polígonos representativos de UH en cinco niveles de anidación hidrológica jerárquica, desde 14 grandes regiones hidrográficas (RH), 46 subregiones (SH), 249 cuencas hidrográficas (CC), 1.110 subcuencas (SC) y hasta 5.888 microcuencas (MC), (Figura 2; Tablas 3 y 4). Entre las 14 grandes Regiones Hidrográficas (RH) que cubren el territorio de interés (Tabla 2, Figura 1), se encuentran dos con drenaje endorreico y arreico (RH02, RH07), ocho exorreicas con vertiente atlántica (RH03, RH04, RH06, RH09, RH10, RH12, RH13 y RH14) y cuatro exorreicas con vertiente pacífica (RH01, RH05, RH08 y RH11).

La extensión completa del territorio con recursos hídricos compartidos alcanzó 366.357,4 km², unos 3.789 km² menos que estimaciones previas realizadas por Diaz y Giménez (2015). En estos cálculos no se consideró la superficie completa de la RH03 del río Chubut, que alcanza estimativamente 63.446 km² (Tabla 4) según estimaciones de SSRH (2010), sino tan solo una subregión hidrográfica integrante (Río Chico, SH0301), dado que solo una pequeña área es territorio interjurisdiccional con despreciables aportes de caudal en cursos intermitentes.

De la extensión total, unos 244.643 km² (66,8%) se ubican en el territorio de Santa Cruz (según determinaciones de Benedetti, 1999) y los restantes 121.714,5 km² (33,2%) corresponden a la República de Chile y la provincia de Chubut. La superficie promedio de las Regiones Hidrográficas (N1) osciló en torno a 27.341,4 km² con una importante variabilidad espacial (38,7%), similar a lo obtenido en el N2 correspondiente a Subregiones Hidrográficas (39,0%), con una extensión promedio de 7.898,6 km² (Tabla 3). En este N2 se lograron 46 UH, un promedio de 3,5 UH por cada región del N1.

IDENTIFICACIÓN	NH	AREA	Q1 / Q3	NUM
Región Hidrográfica (RH)	N1	27.341,4 ± 11.323,5 (38,7%)	19.351,4 / 33.855,2	-
Subregión Hidrográfica (SH)	N2	7.898,6 ± 2.943,8 (39,0%)	5.962,3 / 8.834,9	46 (3,5)
Cuenca (CC)	N3	1.671,2 ± 482,6 (29,4%)	1.334,0 / 1.976,1	249 (18,7)
Subcuenca (SC)	N4	328,8 ± 110,2 (34,4%)	251,2 / 388,6	1.110 (83,2)
Microcuenca (MC)	N5	62,1 ± 34,1 (58,6%)	39,8 / 79,0	5.888 (440,5)

Tabla 3. Sistema propuesto de zonificación y codificación. Elaboración propia. Donde: IDENTIFICACIÓN= Identificador y sigla de cada nivel de organización; NH= Nivel hidrológico de organización; AREA= Cobertura espacial promedio en km² de las UH en el nivel de anidación ± desvío estándar y coeficiente de variación, entre paréntesis; Q1/Q3= Superficies en km² propios del primer y tercer cuartil; NUM= Número de UH en cada nivel de anidación y promedio por UH de N1, entre paréntesis.

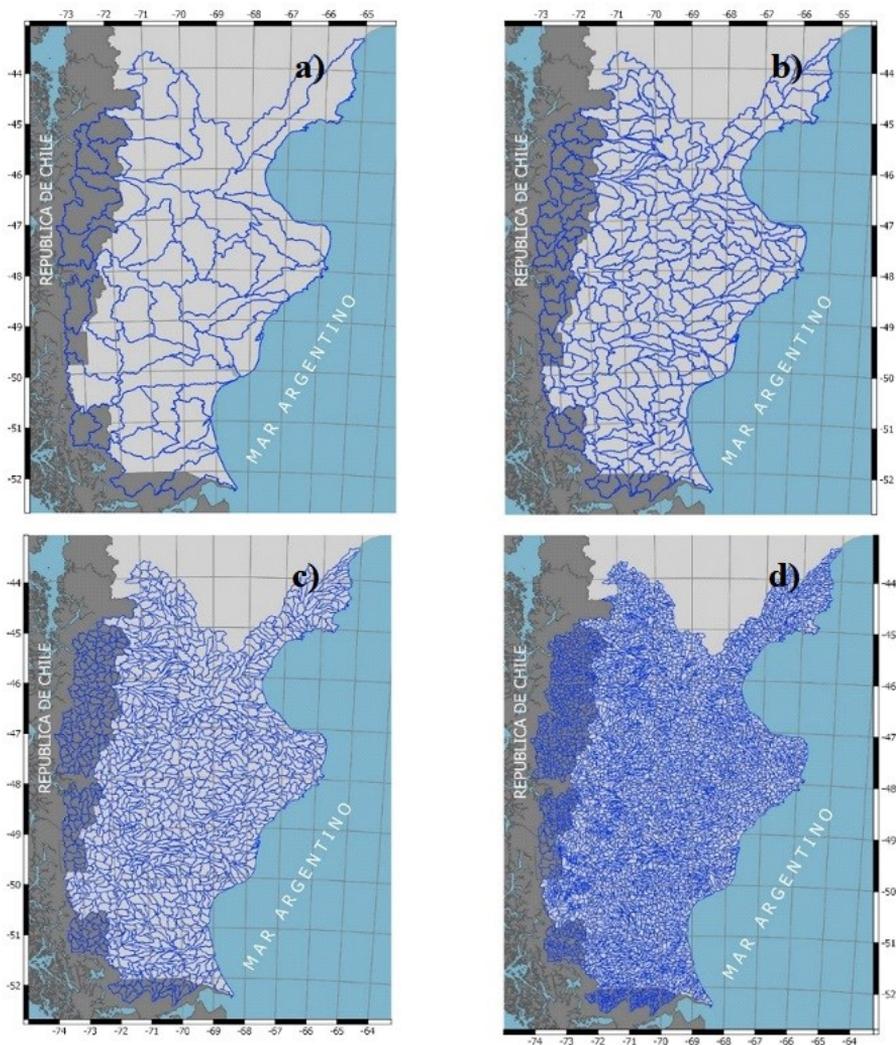


Figura 2. Mapa de UH desarrolladas para la Patagonia Austral continental en diferentes niveles de anidación (a) nivel 2, SH; (b) nivel 3, CC; (c) nivel 4, SC; y nivel 5, MC.

En la macro zonificación lograda, una superficie total de 82.750,7 km² (22,6%) corresponden a RH con recursos hídricos binacionales (RH01, RH05, RH08, RH11 y RH13), las cuales involucran la casi totalidad del límite internacional occidental y sur de Santa Cruz con las regiones de Aysén (XI° Región), y Magallanes (XII° Región)

en Chile. En las primeras cuatro mencionadas, de vertiente pacífica, Argentina consiste en la cabecera de cuenca o zona principal de recarga hídrica y en la última RH, la situación se invierte. Cuatro RH consisten en regiones interjurisdiccionales con la provincia de Chubut, dentro de los límites de Argentina (RH01, RH02, RH03 y RH04), dos de las cuales con una escasa representatividad en el territorio santacruceño (~125 km² de la RH01 y ~75 km² de la RH03), y otras dos con mayor desarrollo (RH02 y RH04) pero con drenaje escasamente desarrollado.

Se alcanzaron 249 UH en el nivel 3 (N3) correspondiente a cuencas hidrográficas (CC), con una superficie promedio de 1.671,2 km² y con una representatividad media de poco menos de 19 UH por cada RH (Tabla 3). En el N4 (SC), por su parte, se lograron 1.110 polígonos, con una superficie promedio de 328,8 km² y una representatividad de poco más de 83 por cada RH. En ambos casos, la variabilidad en las coberturas espaciales resultó similar a los niveles precedentes N1 y N2, en el orden de 29,4 a 34,4%. En estos cuatro niveles, los valores medios observados se ajustaron bien a las coberturas propuestas por las escalas de referencia según el Reglamento Cartográfico del Instituto Geográfico Nacional (IGM, 1946), (Tabla 1).

SISTEMA	DERRAME	UH	DOMINIO	AREA
Rio Simpson	Pacífico	01	Binacional	12.182,6
Rio Senguer	Endorreico	02	Argentina	50.672,9
Rio Chubut *	Atlántico	03	Argentina	63.446,5
Golfo San Jorge	Atlántico	04	Argentina	30.455,7
Lago Buenos Aires	Pacífico	05	Binacional	28.475,7
Rio Deseado	Atlántico	06	Argentina	33.855,2
Planicie Central	Endorreico	07	Argentina	40.936,7
Lago San Martin	Pacífico	08	Binacional	14.047,6
Rio Santa Cruz	Atlántico	09	Argentina	29.291,0
Rio Seco	Atlántico	10	Argentina	23.910,3
Rio Vizcachas	Pacífico	11	Binacional	8.693,3
Rio Coyle	Atlántico	12	Argentina	29.424,0
Rio Gallegos	Atlántico	13	Binacional	19.351,4
Rio Chico (Central)	Atlántico	14	Argentina	34.141,8

Tabla 4. Zonificación y codificación propuestos para el territorio provincial. Fuente: Actualizado en el presente trabajo a partir de la propuesta de Diaz y Minatti (2006). Donde: * No se desarrolló la RH completa en el presente trabajo, su delimitación y cálculo de área procede de otra fuente (SSRH, 2010). La vertiente es predominante a la escala correspondiente al N1; Dominio consiste en la jurisdicción nacional; Área expresada en km².

El N5, correspondiente a microcuencas (MC), presentó la mayor variabilidad en la extensión de los polígonos logrados (58,6%), con un promedio de 62,0 km². En esta escala de graficación resulta frecuente el impacto de artefactos en la superficie del terreno que interfieren con una apropiada delineación automatizada, asociada a la proximidad con el límite de resolución del DSM. Esto resulta particularmente significativo en áreas suavemente onduladas y relativamente planas, como amplias

zonas de las RH02, RH03, RH07 y RH12, como también así en zonas de transición topografía suave y bosques de cobertura densa. En este nivel se lograron 5.888 polígonos con un promedio de poco menos de 441 por cada RH (Tabla 3).

Los productos cartográficos finales contienen el total de codificación propuesta entre sus atributos. Sin embargo, solo fue posible la implementación de 3.975 topónimos oficiales (54,4 % de UH), permaneciendo un vacío, mayormente en el N5 de casi todas las RH y unos pocos del N4. Las fuentes utilizadas para alcanzar este objetivo en el sector argentino proceden de la cartografía oficial disponible, elaborada principalmente en E 1:250.000 a 1:100.000 entre las décadas de 1930 y 1940, sin actualización ni desarrollo de mayor detalle hasta el presente.

Discusión

Productos cartográficos logrados.

El producto AW3D30 permitió desarrollar mapas en E 1:25.000 para todos los niveles propuestos, mejorando notablemente la resolución espacial, el detalle y confiabilidad de la delineación respecto a toda la cartografía hidrográfica antecedente disponible, aspectos condicionantes para algunos usos específicos de la cartografía hídrica como la modelización hidrológica (Pilgrim, Cordery & Baron, 1982; Pilgrim, 1983; Dubreuil, 1986). Sobre regiones montañosas y libres de cobertura vegetal no se presentaron inconvenientes para la delineación automatizada. Sin embargo, ocurrieron gran cantidad de imperfecciones en zonas bajas de valles, en transiciones de coberturas forestales con la estepa, como también en paisajes de relieve suavemente ondulado con presencia de vegetación arbustiva rala. Esto se debe a la fuerte correlación entre el DSM y la cobertura existente sobre el suelo que interfiere con una apropiada modelación de la topografía (Alcaraz, Sannier, Vitorino & Daniel, 2009; Santillán *et al.*, 2016). Si bien, con AW3D30 los sesgos globales suelen ser más bajos que en otros modelos como SRTM3, pueden en ocasiones resultar sustancialmente superiores a ASTER GDEM v2x (Florinsky *et al.*, 2018), dada la sensibilidad del DSM a la microtopografía (Chu, 2011). En el presente trabajo éstos se detectaron en los grandes valles glaciales de las regiones hidrográficas RH02 y RH12, amplias zonas perilacustres de la RH02 y otras zonas de humedales en antiguas planicies glaciarias como en las RH11, RH09 y RH06 y que requirieron de la corrección manual de los vectores logrados durante la automatización.

Disponer de información topográfica de buena resolución espacial, como el AW3D30, resulta fundamental para numerosas aplicaciones relacionadas con las ciencias de la tierra (Farr *et al.*, 2007; Rexer & Hirt, 2014), en particular cuando proceden de fuentes con extensa cobertura territorial como la satelital (Tadono *et al.*, 2016). Esto es particularmente útil en regiones que, como la Patagonia Austral, suelen carecer de información planialtimétrica local.

Macro zonificación.

Entre las décadas de 1960 y 1990 se produjo cartografía de cuencas a nivel nacional en Argentina, en diversas escalas (E) comprendidas entre 1:2.500.000 – 1:500.000, apoyada en la única fuente topográfica oficial disponible para todo el país, del entonces Instituto Geográfico Militar (IGM) en E 1:250.000 a 1:500.000, a partir de los cuales diferentes autores propusieron la división del territorio patagónico en número y trazados diversos de regiones hidrográficas (CFI, 1961; INCYTH, 1982; SRNyDS, 1998). Entre los años 1973 y 1986, el Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídrica (INCYTH) elaboró el Mapa de Cuencas y Regiones Hídricas Superficiales de la República Argentina, en E 1:2.500.000 basado en cartografía de la Organización Aeronáutica Civil Internacional, de la Dirección de Geología y Minería de la Nación y del IGM (SSRH, 2010), que estableció la base conceptual de subdivisión del territorio en cuencas superficiales y su respectiva codificación, y que se han mantenido en todos los productos cartográficos posteriores hasta la actualidad. Durante la década del 2000, el uso creciente de tecnologías de teledetección y SIG, así como la disponibilidad de modelos de superficie de acceso libre, facilitó el desarrollo de una nueva generación de cartografía de cuencas, más precisa y de mayor detalle, si bien apoyada en los mismos principios de delineación y codificación precedentes, manteniendo siempre el número de unidades mapeadas.

Durante la década de 1980, la autoridad provincial en la gestión del agua utilizó como referencia cartografía elaborada por Caballero (1988) con una propuesta de 11 grandes cuencas que cubrían el territorio. Con este antecedente, y la utilización de imágenes satelitales de resolución media Landsat TM5, diferentes autores en años posteriores incrementaron la precisión de las delineaciones hasta el rango de E 1:250.000 – 1:100.000, con propuestas de subdivisión entre 10 y hasta 13 grandes regiones hidrográficas (SSRH, 2002; González & Rial, 2004; Diaz & Minatti, 2006; Giraut *et al.*, 2008; SSRH, 2010). En 2004, la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, el Instituto Nacional del Agua (INA) y la Dirección Provincial de Recursos Hídricos de Santa Cruz, elaboraron cartografía hidrográfica en E 1:250.000 apoyada en escenas Landsat, las primeras versiones libres de modelos de superficie SRTM3 de 90 m de resolución espacial y los vectores oficiales del sistema de información geográfica oficial del Instituto Geográfico Nacional (IGN). La cartografía lograda propuso para la provincia 13 grandes unidades hidrográficas denominadas Sistemas Hídricos Superficiales, que agrupan 43 unidades hidrográficas entre cuencas y subcuencas componentes (Giraut *et al.*, 2008), con una gran dispersión de tamaños y sin argumentación metodológica que permita establecer la razón particular de los trazados y unidades seleccionados. Estas contribuciones históricas son significativas en número, si bien es escasa la mejora en términos del crecimiento del conocimiento del territorio y su aplicabilidad en la gestión de los recursos hídricos superficiales, revelando un permanente replanteo de productos cartográficos, metodológicamente más avanzados conforme las tecnologías de la geoinformación y los geodatos disponibles, en especial de libre acceso, han evolucionado en años recientes, aunque conceptualmente similares.

Las escalas pequeñas, propias de las anidaciones de mayor jerarquía, como las logradas RH (N1) y SH (N2), son comparativamente más apropiadas para la realización de estudios del cambio y la variabilidad climáticas respecto a escalas más grandes (N3 a N5), de igual forma que se adaptan mejor a las decisiones de gestión a nivel de políticas públicas específicas, en especial orientadas a la adaptación ante eventos climáticos extremos como los que experimenta la región en años recientes. En el otro extremo, escalas grandes en niveles de anidación N3 a N5, resultan más afines a la planificación en grado de detalle, para el mejor aprovechamiento y conservación del recurso hídrico.

Meso y micro zonificación.

La superficie promedio de las MC (N5) y SC (N4) resultó próxima a las representativas del tamaño conjunto de 1 o 2 establecimientos agropecuarios típicos de la región, como también de las concesiones mineras de oro y plata. El tamaño promedio de las SC (N4) es compatible con las extensiones medias de los yacimientos y concesiones hidrocarburíferas en la región. Éstas son las actividades socioeconómicas más relevantes en la provincia en términos del Producto Bruto Geográfico, a la vez que las mayores demandantes de agua y con alto riesgos de impacto de su contaminación. Así, la delineación lograda en los diferentes niveles representa una herramienta de gran utilidad para la gestión pública de los recursos hídricos, para la planificación y toma de decisión. En estas grandes escalas incluso, resulta posible el estudio en detalle del ciclo hidrológico y del impacto humano en los recursos hídricos asociado a estas explotaciones, en especial en regiones de compleja diversidad de tipos de ocupación del suelo, un aspecto que se torna más difícil en niveles de anidación superiores hacia los cuales se suelen proyectar comportamientos modelizados (Pilgrim, 1983). También resulta una escala práctica de intervención para la aplicación de buenas prácticas de manejo del agua a escala predial o de empresa.

Conclusiones

La cartografía lograda en el presente trabajo mejoró la resolución espacial y precisión de todos los productos precedentes, disponibles para la región, hasta escalas geográficas de gran detalle. La implementación de un método estandarizado para la delineación y codificación permitió la creación de cartografía ordenada, consistente y asociada jerárquicamente de modo tal que permite el estudio, la modelización y la comprensión de procesos ecohidrológicos en diferentes escalas espaciales y magnitudes de complejidad, todas aplicaciones que podrán representar líneas de investigación futura a partir de la libre distribución de los productos vectoriales desarrollados en el presente trabajo. También permite la replicabilidad del método utilizado, un aspecto importante en territorios extensos en los que el trabajo colaborativo interinstitucional para el desarrollo de cartografía puede resultar

indispensable para mejorar su precisión con el desarrollo de nuevos niveles de anidación, un aspecto no considerado en la cartografía de cuencas disponible hasta el momento.

La cartografía lograda resulta un insumo fundamental para la síntesis y representación de geoinformación hídrica sobre el territorio, herramienta a la vez indispensable para la realización de apropiados diagnósticos de situación, planificación, y modelización de escenarios de uso, en un marco de ordenamiento y gestión territorial, en especial para regiones con recursos hídricos compartidos binacionales, para los cuales, en algunos casos, hasta la fecha no se disponían de antecedentes con el detalle alcanzado en este trabajo. Las escalas propuestas para los diferentes niveles de anidación también facilitan el diagnóstico de situación en el uso y conservación del recurso hídrico, la toma de decisión y la definición de políticas específicas para asegurar usos sustentables en diferentes niveles de intervención.

Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado por el Proyecto Estructural 2019-PE-E2-I041-001 (2019 – 2022) “Aportes para la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) en cuencas del Sistema Agroalimentario Argentino”, del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Expresamos nuestro agradecimiento a Dolores Puente (Dirección Nacional de Servicios Geográficos del IGN) y Carlos Osvaldo Nelson (Dirección Nacional de Producción Cartográfica, IGN); a Julio Benedetti (Universidad de Buenos Aires), y Miljenko Lapaine (University of Zagreb, Faculty of Geodesy; ICA Commission Vice-Chair on Map Projections; President of the Croatian Cartographic Society), quienes contribuyeron con valiosos conceptos geográficos y geodésicos, así como críticas fundamentadas, para el desarrollo del trabajo.

Bibliografía

- Alcaraz, S. A., Sannier, C., Vitorino, A. C. T. & Daniel, O. (2009). Comparison of methodologies for automatic generation of limits and drainage networks for hydrographic basins, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13 (4), 369-375. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000400001>
- Barborak, J. R., Cuesta, F., Montes, C. & Palomo, I. (2015). *Planificación en áreas protegidas: Territorio y cambio climático*. Cooperación Alemana al Desarrollo GIZ, Ed. Visión. 61p.
- Benedetti, J. C. (1999). Proceso de cálculo de la superficie continental de la República Argentina. *Revista Cartográfica IPGH*, 68, 73-79.
- Berelson, W. L., Caffrey, P. A. & Hamerlinck, J. D. (2004). Mapping hydrologic units for the National Watershed Boundary Dataset. *Journal of the American Water Resources Association*, 40 (5), 1231-1246. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2004.tb01582.x>

- Biblioteca del Congreso Nacional. (2017). *Sistema Integrado de Información Territorial*. Portal BCN. Accesada el día 15 de abril de 2020. <https://www.bcn.cl/siit>
- Borrini Feyerabend, G., Farvar, M. T., Solis, V. & Govan, H. (2001). *Manejo conjunto de los recursos naturales: Organizarse, negociar y aprender en la acción*. GTZ – UICN, Kasperek Verlag Ed, Heidelberg, Germany. 113 p.
- Brooks, K. N., Ffolliott, P. F. & Magner, J. A. (2012). *Hydrology and the management of watersheds*. John Wiley & Sons Inc. (4th Ed.), USA. 545 p.
- Bugayevskiy, L. M. & Snyder, J. P. (1995). *Map Projections: A Reference Manual*. Taylor & Francis, London, 328 p.
- Caglar, B., Becek, K., Mekik, C. & Ozendi, C. (2018). On the vertical accuracy of the ALOS World 3D-30m digital elevation model. *Remote Sensing Letters*, 9 (6), 607-615. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2018.1453174>
- CFI (1961). *Recursos Hidricos Superficiales*. Consejo Federal de Inversiones, Serie Evaluación de los recursos naturales de la Argentina, Tomo IV, Volumen I. Buenos Aires, 459 p.
- De Jager, A. L. & Vogt, J. B. (2010). Development and demonstration of a structured hydrological feature coding system for Europe. *Hydrological Sciences Journal*, 55 (5), 661-675. <https://doi.org/10.1080/02626667.2010.490786>
- Diaz, B. G. & Giménez, M. (2015). *Zonificación y codificación hidrográfica en Santa Cruz (Patagonia Austral, Argentina)*. XXV Congreso Nacional del Agua, Paraná, Entre Ríos. Actas, 13 p.
- Diaz, B. G. & Minatti, S. (2006). *Aplicación de información topográfica SRTM3 en la delimitación de grandes cuencas hidrográficas de la provincia de Santa Cruz*. VI Jornadas Nacionales de Geografía Física, Río Gallegos, Santa Cruz, Actas 11 p.
- DIFROL (2020). *Mapas*. Dirección Nacional de Fronteras y Límites del Estado, Ministerio de Relaciones Exteriores de Chile. Consultada el día 15 de Abril de 2020. <https://difrol.gob.cl/>
- Dirección General de Aguas. (2016). *Atlas del Agua: Chile 2016*. Ministerio de Obras Públicas, Chile. 24 p. <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/26705>
- Dourojeanni, A., Jouravlev, A. & Chávez, G. (2002). Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. CEPAL *Serie Recursos Naturales e Infraestructura* 47, Chile. 83 p. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/6407>
- Dubreuil, P. L. (1986). Review of relationships between geophysical factors and hydrological characteristics in the tropics. *Journal of Hydrology*, 87 (3-4), 201-222. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(86\)90014-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(86)90014-4)
- Ehlschlaeger, C. R. (1989). Using the A^T Search Algorithm to develop hydrologic models from digital elevation data. *Proceeding of the International Geographic Information System (IGIS) Symposium*, Baltimore, USA, 275-281.
- EORC & JAXA (2020). *ALOS global digital surface model (DSM)*. *Product description* v3.1. https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/aw3d30v31_product_e_a.pdf
- FAO (2006). *The new generation of watershed management programmes and projects*. FAO Forestry Paper 150, Rome, Italy. 137 p. <http://www.fao.org/3/a0644e/a0644e00.htm>

- FAO (2017). *Water for sustainable food and agriculture*. A report produced for the G20 Presidency of Germany. FAO, Rome, Italy. 33 p. <http://www.fao.org/3/a-i7959e.pdf>
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen R., Duren, R., Hensley, S. & Umland, J. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, 45 (2), 1-33. <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>
- Florinsky, I. V., Skrypitsyna, T. N. & Luschikova, O. S. (2018). Comparative accuracy of the AW3D30 DSM, ASTER GDEM and SRTM1 DEM: A case of study on the Zaosky testing ground, Central European Russia. *Remote Sensing Letters*, 9 (7), 706-714. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2018.1468098>
- Giraut, M., Valladares, A. I., Rey, C. A., Diaz, B. G. & Dente, M. V. (2008). *Mapa de cuencas y regiones hídricas superficiales de la provincia de Santa Cruz*. IVº Congreso de la Ciencia Cartográfica, Buenos Aires. Actas. 11 p.
- González, L. y Rial, P. (Ed.). (2004). *Guía geográfica interactiva de Santa Cruz*. INTA Ediciones, Argentina. 60 p.
- Gupta, S. K. (2011). *Modern Hydrology and sustainable water development*. John Wiley & Sons Ltd. (Ed.), India. 464 p.
- Hossain, M. Z. (2015). Water: The most precious resource of our life. *Global Journal of Advanced Research*, 2 (9), 1436-1445. <http://gjar.org/articles/WATER--THE-MOST-PRECIOUS-RESOURCE-OF-OUR-LIFE>
- IGM (1946). Reglamento cartográfico. Instituto Geográfico Militar, República Argentina, 2da. Edición. <https://www.ign.gob.ar/descargas/biblioteca/ReglamentoCarto1946.pdf>
- IGN (2019a). Modelo digital de elevaciones de la República Argentina versión 2.0. Instituto Geográfico Nacional, República Argentina. https://www.ign.gob.ar/archivos/Informe_MDE-Ar_v2.0_30m.pdf
- IGN (2019b). Capas SIG. Instituto Geográfico Nacional, República Argentina. <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG>.
- INCYTH (1982). Delimitación de cuencas y regiones hídricas superficiales de la República Argentina: provincias de Santa Cruz y Chubut, E.1:1.000.000.
- Jain, A. O., Thaker, T., Chaurasia, A., Patel, P. & Singh, A. K. (2017). Vertical accuracy evaluation of SRTM DEM GL1, GDEM v2, AW3D30 and CartoDEM v3.1 of 30 m resolution with dual frequency GNSS for Lower Tapi Basin India. *Geocarto Internacional*, 33 (11), 1237-1256. <https://doi.org/10.1080/10106049.2017.1343392>
- Japan Aerospace Exploration Agency (2018). *ALOS Global Digital Surface Model, ALOS World 3D – 30m*. JAXA Earth Observation Research Center. Accesada el día 15 de Abril de 2020. <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/data/index.htm>
- Jenny, B. (2012). Adaptive composite map projections. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 18 (12), 2575-2582. <https://doi.org/10.1109/tvcg.2012.192>
- Khalifa, M. & Bidaisee, S. (2018). The importance of clean water. *Journal of Scientific & Technical Research*, 8 (5), 6780-6783. <http://dx.doi.org/10.26717/BJSTR.2018.08.001719>

- Lai, Z., Li, S., Lv, G., Pan, Z. & Fei, G. (2016). Watershed delineation using hydrographic features and a DEM in plain river network region. *Hydrological Processes*, 30 (2), 276-288. <https://doi.org/10.1002/hyp.10612>
- Li, L., Yang, J. y Wu, J. (2019). A method of watershed delineation for flat terrain using Sentinel-2A imagery and DEM: A case of study of the Taihu Basin. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8 (12). <https://doi.org/10.3390/ijgi8120528>.
- Lindsay, J. B., Rothwell, J. J. & Davies, H. (2008). Mapping outlet points for watershed delineation onto DEM-derived stream networks. *Water Resources Research*, 44 (8), W08442, 1-9. <https://doi.org/10.1029/2007WR006507>
- MapTiler Team (2019). *ESRI:102033 South American Albers Equal Area Conic*. Coordinate systems worldwide. Accesada el día 15 de Abril de 2020. <https://epsg.io/102033>
- Microsoft (2020). *Bing Maps v8*. Microsoft Open Source Map Projects. Accesado entre el 15 de abril y el 30 de agosto de 2020. <https://docs.microsoft.com/en-us/bingmaps/>
- OpenLayers (2020). *A high-performance, feature-packed library for all your mapping needs*. Consultada entre el 15 de abril y el 30 de agosto de 2020. <https://openlayers.org/>
- OSGeo (2019). *GRASS Gis*. GRASS Development Team. Consultada entre el 15 de abril y el 30 de agosto de 2020. <https://grass.osgeo.org/grass7/>
- OSGeo (2020). *QGIS, Sistema de Información Geográfica Libre y de Código Abierto*. Accesado el 15 de abril de 2020. <https://www.qgis.org/es>
- Pilgrim, D. H. (1983). Some problems in transferring hydrological relationships between small and large drainage basins and between regions. *Journal of Hydrology*, 65 (1-3), 49-72. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(83\)90210-X](https://doi.org/10.1016/0022-1694(83)90210-X)
- Pilgrim, D.H., Cordery, I. & Baron, B. C. (1982). Effects of catchment size on runoff relationships. *Journal of Hydrology*, 58 (3-4), 205-221. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(82\)90035-X](https://doi.org/10.1016/0022-1694(82)90035-X)
- Rexer, M. & Hirt, C. (2014). Comparison of free high resolution digital elevation data sets (ASTER GDEM2, SRTM v2.1/4.1) and validation against accurate heights from the Australian National Gravity Database. *Australian Journal of Earth Sciences*, 61 (2), 213-226. <https://doi.org/10.1080/08120099.2014.884983>
- Santillán, J. R., Santillán, M. M. & Makinano, R. M. (2016). Vertical accuracy assessment of ALOS World 3D – 30 m digital elevation model over Northeastern Mindanao, Philippines. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 5374-5377. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2016.7730400>
- Šavrič, B. & Jenny, B. (2016). Automating the selection of standard parallels for conic map projections. *Computers & Geosciences*, 90, 202-212. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.02.020>
- Seaber, P. R., Kapinos, F. P. & Knapp, G. L. (1987). Hydrologic unit maps. *USGS Water Supply Paper 2294*. <https://doi.org/10.3133/wsp2294>
- Snyder, J. P. (1987). Map projections – A working manual. *USGS Professional Paper 1395*. <https://doi.org/10.3133/pp1395>

- SRNyDS (1998). *Cartografía Hidrica Superficial de la República Argentina, Provincia de Santa Cruz*. Dirección Nacional de Política Hídrica. Escala 1:3.508.772.
- SAyDS (2019). *Atlas de glaciares de la Argentina*. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Buenos Aires, Argentina. 224 p.
- SSRH (2010). *Atlas de cuencas y regiones hídricas superficiales de la República Argentina*. Subsecretaría de Recursos Hídricos, Ministerio de Planificación Federal – Instituto Nacional del Agua. Buenos Aires, Argentina. Escala 1:250.000.
- SSRH (2002). *Atlas Digital de los Recursos Hídricos Superficiales de la República Argentina*. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación – Instituto Nacional del Agua. Buenos Aires, Argentina. Escala 1:500.000.
- Tadono, T., Nagai, H., Ishida, H., Oda, F., Naito, S., Minakawa, K. & Iwamoto, H. (2016). Generation of the 30 m-Mesh Global Digital Surface Model by ALOS PRISM. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41, 157-162. <https://doi.org/10.5194/isprs-archivesXLI-B4-157-2016>.
- USGS (2013). Federal standards and procedures for the National Watershed Boundary Dataset (WBD). Techniques and Methods 11-A3, 4th Ed. USA. <https://doi.org/10.3133/tm11A34>
- Verdin, K. L. & Verdin J. P. (1999). A topological system for delineation and codification of the Earth's river basins. *Journal of Hydrology*, 218 (1-2), 1–12. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00011-6](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00011-6)
- Ziadat, F., Bunning, S. & De Pauw, E. (2017). *Land resource planning for sustainable land management*. FAO Working Paper 14. <http://www.fao.org/publications/card/en/c/a36df3f9-62ee-46cd-86bc-d9c133a57bc8/>
- Zonneveld, I. S. (1989). The land unit – A fundamental concept in landscape ecology and its applications. *Landscape Ecology*, 3, 67-86. <https://doi.org/10.1007/BF00131171>