SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

XXVII CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

CN30-CL-v2, ACTUALIZACIÓN CURVA NÚMERO GRILLADA DE 30 METROS DE RESOLUCIÓN PARA CHILE CONTINENTAL

HERNÁN MORALES JAMETT[1]
IGNACIO TORO MENA [2]
RICARDO GONZÁLEZ VALENZUELA[3]
XIMENA VARGAS MESA[4]

RESUMEN

El método de la Curva Número es ampliamente utilizado en Chile y el mundo, donde en general, el valor adoptado difiere de acuerdo con los supuestos considerados por el especialista a cargo, adoptando usualmente un valor medio para toda la cuenca, lo que se ha demostrado, no refleja adecuadamente el comportamiento real de estas. El contar con un producto distribuido de Curva Número, que refleje la heterogeneidad de las cuencas cobra relevancia, permitiendo, por ejemplo, diferenciar zonas de mayor permeabilidad en las cuencas, vincular el cambio en la CN en función de la línea de nieves para cuencas con régimen pluvio-nival, entre otros. En este trabajo, se presenta el producto CN30-CL-v2, una actualización del producto CN30-CL, que reemplaza el grupo hidrológico de suelos utilizado anteriormente (HYSOGs250m), de carácter global, por HSG100-CL, un producto desarrollado a nivel nacional que subsana algunas de las limitaciones identificadas en la versión anterior. CN30-CL-v2 puede considerarse una referencia para estudios hidrológicos específicos, al proporcionar un producto distribuido de Curva Número para todo Chile Continental a una resolución de 30 metros, reflejando la heterogeneidad de las cuencas. Junto al producto se hace entrega, además, de las herramientas de programación utilizadas en el desarrollo de CN30-CL-v2, facilitando su adaptación o modificación según las necesidades del usuario.

[1]Hidrólogo, Mine Water, WSP Chile – hernan.morales@wsp.com, hernan.amj@gmail.com
[2]Hidrólogo esp. en cambio climático, Mine Water, WSP Chile – ignacio.toro@wsp.com, toromena@hotmail.com
[3]Hidrólogo Senior, Mine Water, WSP Chile – ricardo.gonzalez@wsp.com
[4]Profesora Asociada, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile – xvargas@uchile.cl

1. INTRODUCCIÓN

El método de la Curva Número (CN) fue desarrollado en la década de 1950 por el U.S.D.A. Servicio de Conservación de Suelos, o SCS (ahora el Servicio de Conservación de Recursos Naturales, o NRCS) y ha sido utilizado ampliamente para estimar la escorrentía de tormentas a partir de eventos de lluvia (Hawkins et al., 2009).

El método de la CN se ha incorporado en diversos modelos hidrológicos, tales como HEC-1 (Hydrologic Engineering Center) (USACE, 1990) y HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) (USACE, 1998); CREAMS (Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems) (Knisel, 1980); y AGNPS (Agricultural Non-Point Source Pollution Model) (Young et al., 1989), entre otros, evidenciando su amplio uso en la estimación de la escorrentía líquida superficial (González et al., 2015).

Según Stöwhas (2003), el método consiste en asignar a la cuenca de estudio un valor apropiado de CN, dependiendo de la geología, cobertura vegetal y uso de los suelos de la cuenca. El valor máximo corresponde a 100, relacionado con una superficie completamente impermeable, mientras que el mínimo se asocia con un suelo capaz de infiltrar toda la precipitación que caiga sobre ella, asignándole el valor de 0. Una detallada descripción del método de la CN puede ser encontrada en Hawkins et al. (2009).

La CN generalmente se determina a partir de tablas que vinculan dos variables: tipo de suelo hidrológico y la cobertura de suelo presente en la cuenca (González et al., 2015). Por otro lado, Stöwhas (2003) demostró que la adopción habitual de valores promedios constantes para la aplicación del método de CN en cuencas heterogéneas no refleja adecuadamente el comportamiento real de estas.

Toro et al. (2023) desarrollaron un producto grillado de CN de 30 metros de resolución para Chile Continental (CN30-CL), el cual sirve de referencia en estudios hidrológicos y refleja la heterogeneidad de las cuencas, permitiendo, por ejemplo, diferenciar zonas de mayor permeabilidad, vincular el cambio en la CN en función de la línea de nieves para cuencas con componente nival, entre otros.

Una de las limitaciones mencionadas por Toro et al. (2023) respecto a la CN30-CL, corresponde a la utilización del producto global grillado HYSOGs250 m (por Global Hydrologic Soil Groups, con una resolución de 250 m) desarrollado por Ross et al. (2018).

Recientemente Dinamarca et al. (2023) publicaron el producto nacional denominado CLSoilMaps, el cual entrega clasificaciones y propiedades de suelo con una resolución de 100 m, lo que permite la actualización del grupo hidrológico de suelos (HSG por sus siglas en inglés), y, por consiguiente, la actualización del producto CN30-CL, con una nueva base de datos desarrollada para Chile Continental. En base a esta información, se desarrolló el producto **CN30-CL-v2**, cuya metodología se presenta en este trabajo.

2. METODOLOGÍA

A continuación, se presenta la metodología utilizada para asignar y validar la Actualización de la CN para Chile Continental con una resolución de 30 metros, **CN30-CL-v2**.

Asignación Curva Número para Chile Continental, CN30-CL-v2

Para el desarrollo de CN30-CL-v2, se vincula la cobertura de suelo de Chile Continental a resolución de 30 metros desarrollada por Zhao et al. (2016) con el grupo de suelo hidrológico derivado desde el producto de resolución de 100 metros desarrollado por Dinamarca et al. (2023). Ambos productos se presentan en mapas para Chile Continental en la sección Anexos.

La asignación de CN se realiza en base a bibliografía como NRCS (2009) y González et al. (2015), así como también la experiencia hidrológica de cada uno de los autores de este trabajo. Cabe destacar que se consideran los valores representativos del caso en que la abstracción inicial (Ia) se adopta igual al 20% de la Capacidad Máxima de Infiltración del Suelo (S). En caso de que se adopte un 5% u otro porcentaje de S, se debe aplicar una transformación a los valores de CN; en tal caso, se recomienda consultar Hawkins et al. (2009).

Se hizo una asociación entre los tipos de textura de suelo y la conductividad hidráulica de suelo saturado obtenidos por Dinamarca et al. (2023), con los grupos de suelo hidrológico (HSG), con lo que se estimó posteriormente la CN. La descripción general de la asociación de HSG se muestra en la Figura 1, mientras que la clasificación y rangos del Grupo de Suelo Hidrológico con las texturas de suelo y conductividades hidráulicas saturadas se presentan en la Tabla 1, de acuerdo con la clasificación indicada por Hawkins et al. (2009) y por la NRCS (2009) respectivamente.

El producto CLSoilMaps presenta las texturas de suelo y las conductividades hidráulicas de suelo saturados a distintas profundidades. En este trabajo, se consideró que el HSG estará dado por la capa más impermeable presente hasta una profundidad de 60cm, dado que a esa distancia se encuentra en el límite superior (capa somera) de la clasificación de suelos de la NRCS (2009), en donde indica las asociaciones de HSG con las conductividades saturadas.

Para la clasificación final del Grupo Hidrológico de Suelo, utilizando el producto CLSoilMaps, se otorgó prioridad a la textura del suelo, por sobre la conductividad hidráulica del suelo saturado (Ksat), dado que corresponde a una definición directa propuesta por Dinamarca et al. (2023), en cambio, la Ksat se consideró como un subproducto complementario. En los casos en que la clasificación HSG basada en Ksat resultara dos o más clasificaciones por debajo (es decir, suelos más impermeables) en comparación con la clasificación obtenida a partir de la textura del suelo según la Tabla 1, se optó por reducir una categoría en la clasificación final del HSG (hacia suelos más impermeables). La asignación antes mencionada se encuentra presentada en la Tabla 2, con lo cual se obtiene el producto HSG100-CL.

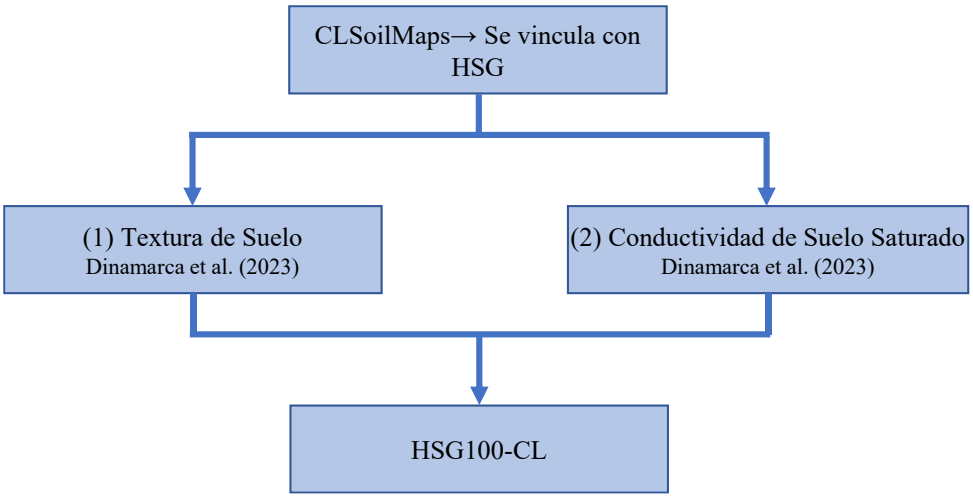


Figura 1. Metodología utilizada para la asignación del grupo hidrológico de suelos | HSG100-CL. (1) y (2) corresponde al orden de prioridad para clasificar HSG100-CL.

Tabla 1. Grupo Hidrológico de suelos (HSG) según textura de suelo y conductividad hidráulica saturada.

Grupo Hidrológico de Suelo (HSG100-CL)	**Textura de Suelo (Hawkins, (2009))**	**Conductividad Hidráulica Saturada (cm/día) (NRCS, 2009)**
A	Arena, arena franca, franco arenoso	[40 µm/s, +∞ [
B	Franco limoso, franco	[10 µm/s, 40 µm/s [
C	Franco arcillo-arenoso (sandy clay loam)	[1 µm/s, 10 µm/s [
D	Franco arcilloso, franco arcillo-limoso, franco limoso arcilloso, arcilla limosa, arcilla	[-∞, 1 µm/s [

Tabla 2. Asignación Grupo Hidrológico de suelos (HSG100-CL) según textura de suelo y conductividad hidráulica saturada.

Asignación HSG100-CL	**HSG según Textura de Suelo (Hawkins, (2009))**	**HSG según la Conductividad Hidráulica Saturada (cm/día) (NRCS, 2009)**
A	A	A, B
B	A B	C, D A, B, C
C	B C	D A, B, C, D
D	D	A, B, C, D

La metodología aplicada para generar el producto CN30-CL-v2 se muestra en la Figura 2, mientras que los valores adoptados de CN para cada Cobertura de Suelo y Grupo de Suelo Hidrológico se presentan en la Tabla 3, de acuerdo con la nomenclatura utilizada en Zhao et al. (2016) y por NRCS (2009).

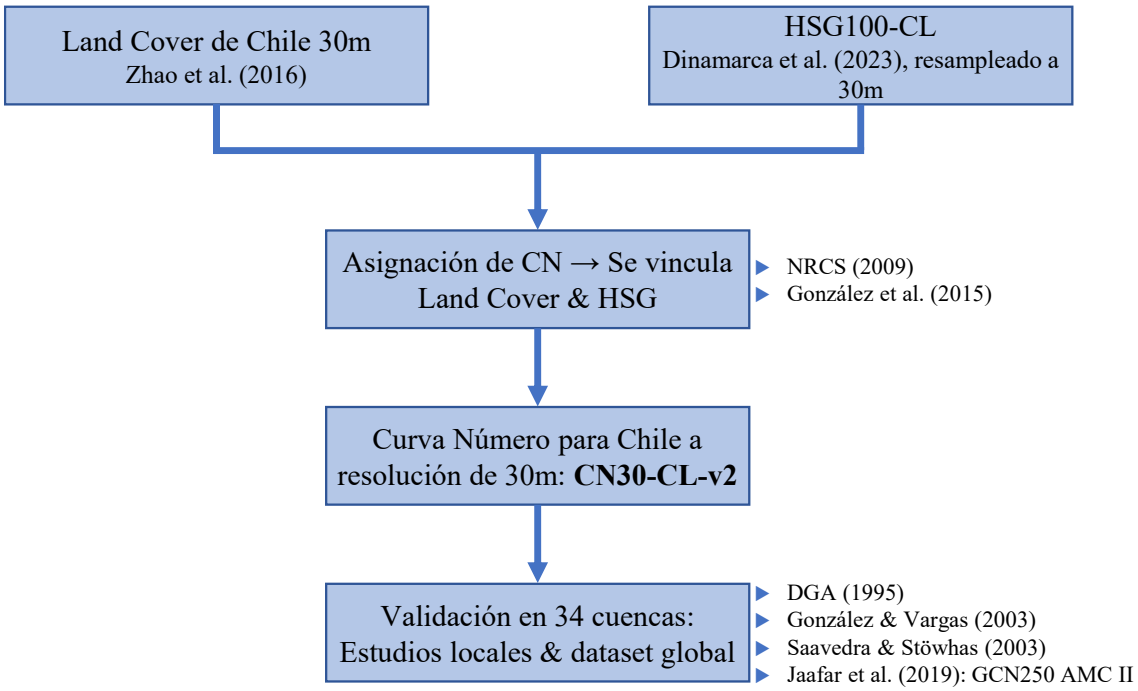


Figura 2. Metodología utilizada para la asignación y validación de la Curva Número para Chile Continental | CN30-CL-v2

Tabla 3. Curva Número adoptada para cada Cobertura de Suelo y Grupo de Suelo Hidrológico. Condición de Humedad Antecedente (AMC) II

Nivel 1	**Nivel 2**	**Nivel 3**	**N°**	**CN**			
				A	**B**	**C**	**D**
100	110		110	60	72	80	84
	120		120	59	74	82	86
	130		130	52	69	79	84
	140		140	52	69	79	84
	150		150	74	83	88	90
200	210	211	211	45	55	70	77
		212	212	45	55	70	77
	220	221	221	45	55	70	77
		222	222	45	55	70	77
	230	231	231	45	55	70	77
		232	232	45	55	70	77
	240	241	241	45	55	70	77
		242	242	45	60	73	79
	250	251	251	45	55	70	77
		252	252	45	60	73	79
300	310	311	311	45	58	71	78
	310	312	312	45	58	71	78
	320		320	45	61	74	80
	330		330	49	69	79	84

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	N°	CN			
				A	B	C	D
400	410		410	45	65	75	80
	420		420	45	65	75	80
	430		430	49	68	79	84
	440		440	45	65	75	80
	450		450	49	68	79	84
500	510		510	30	58	71	78
	520		520	30	58	71	78
	530		530	30	58	71	78
600	610		610	100	100	100	100
	620		620	100	100	100	100
	630		630	100	100	100	100
	640		640	100	100	100	100
800			800	83	89	92	93
900	910		910	98	98	98	98
	920		920	63	77	85	88
	930	931	931	77	86	91	94
		932	932	58	72	80	83
1000	1010		1010	95	95	95	95
	1020		1020	100	100	100	100

Validación CN30-CL-v2

Se validan los resultados comparando CN30-CL-v2 contra estimaciones de Curva Número realizadas por estudios locales en base a eventos de precipitación escorrentía registrados en 34 cuencas de Chile. Se debe tener en cuenta el potencial efecto de la línea de nieves y de la humedad antecedente correspondiente a cada evento, debido a esto se compara el rango dado por las estimaciones basadas en registros versus las estimaciones de CN30-CL-v2 para Condiciones de Humedad Antecedente (AMC por sus siglas en inglés) I, II y III.

Se consideran los estudios desarrollados por DGA (1995), Saavedra & Stöwhas (2003) y González & Vargas (2003). Se utiliza además como comparación el producto global GCN250 desarrollado por Jaafar (2019) y el producto CN30-CL por Toro et al. (2023), ambos para AMC II.

3. RESULTADOS

Curva Número para Chile Continental, CN30-CL-v2

Al aplicar la metodología descrita en la Figura 2 se obtiene el producto CN30-CL-v2, el que proporciona estimaciones distribuidas de CN para Chile Continental. En la Figura 3 se presenta CN30-CL-v2 para AMC II, así como también las 34 cuencas utilizadas para validar este producto.

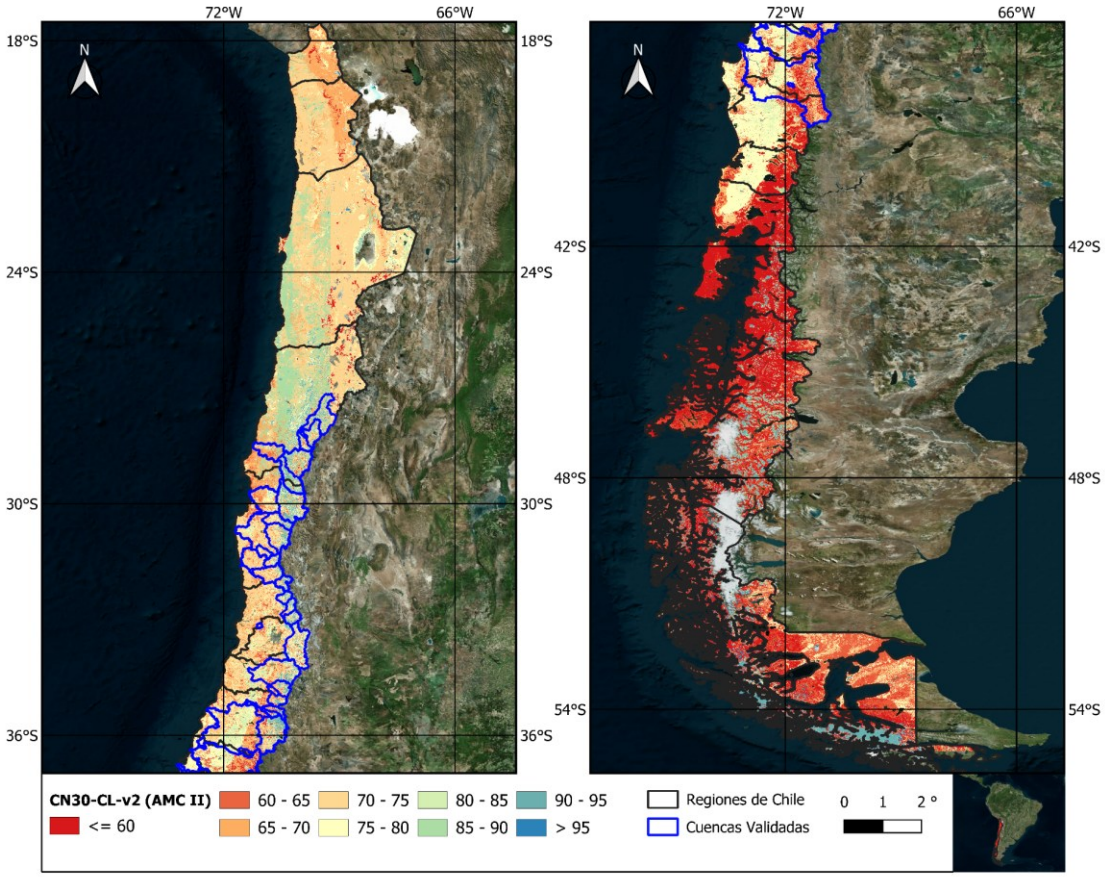


Figura 3. CN30-CL-v2 (AMC II) para Chile Continental y cuencas utilizadas para validación

La Tabla 4 presenta las estimaciones de CN para cada una de las regiones de Chile, destacando el valor medio y los percentiles 10 y 90% (percentiles se estiman desde el rango de valores presente en cada región). Lo mismo se realiza para cada cuenca de Chile Continental (ver Anexo), de acuerdo con la delimitación propuesta en CIREN (2014).

Tabla 4. Curva Número para regiones de Chile Continental de acuerdo con CN30-CL-v2. Condición de Humedad Antecedente (AMC) I, II y III

Región	CN (AMC I)			CN (AMC II)			CN (AMC III)		
	Perc. 10%	Media	Perc. 90%	Perc. 10%	Media	Perc. 90%	Perc. 10%	Media	Perc. 90%
Arica y Parinacota	47	51,3	61	68	71,1	79	83	84,9	90
Tarapacá	47	51,5	52	68	71,4	72	83	85,3	86
Antofagasta	52	56,6	72	72	75,1	86	86	87,4	93
Atacama	47	60,7	81	68	77,8	91	83	88,7	96
Coquimbo	44	58,8	81	65	76,5	91	81	87,9	96
Valparaíso	47	58,0	72	68	76,1	86	83	87,7	93
Metropolitana	44	58,7	69	65	76,5	84	81	87,9	92
O'Higgins	48	58,3	72	69	76,3	86	84	87,7	93
Maule	48	57,7	72	69	75,6	86	84	87,2	93

Región	CN (AMC I)			CN (AMC II)			CN (AMC III)		
	Perc. 10%	Media	Perc. 90%	Perc. 10%	Media	Perc. 90%	Perc. 10%	Media	Perc. 90%
Ñuble	34	54,0	69	55	72,6	84	74	85,3	92
Bío-Bío	34	51,7	63	55	70,7	80	74	84,2	90
La Araucanía	26	51,9	63	45	70,7	80	65	84,0	90
Los Ríos	26	47,4	60	45	66,4	78	65	81,0	89
Los Lagos	26	36,2	60	45	54,9	78	65	72,3	89
Aysén	26	40,2	72	45	58,5	86	65	75,0	93
Magallanes	26	48,3	89	45	66,0	95	65	80,4	98

Cabe destacar que la CN podría ser subestimada por CN30-CL-v2 para el Norte de Chile, en específico para el Desierto de Atacama, el más árido del mundo. Esto debido a que se tiene registros de eventos de precipitación menores a 5 mm que han generado escorrentía, lo cual se puede relacionar con una mayor impermeabilidad del suelo, falta de registros de precipitación distribuida de buena calidad, la formación superficial de la Chuca (o Chusca), entre otros.

No se observa una dependencia de la CN con respecto a la latitud, aunque se aprecia que la mayor permeabilidad se tendría desde las regiones de Los Ríos hasta Magallanes, lo que se vincula a la presencia de bosques.

Validación CN30-CL-v2

Los resultados de CN30-CL-v2 son validados a través del análisis en 34 cuencas en las que se cuenta con estimaciones de CN basadas en eventos de precipitación escorrentía registrados. Cabe señalar que las cuencas de validación se encuentran principalmente en la zona centro sur, abarcando valle y cordillera. Los resultados de la validación se presentan en las Figuras 4, 5, 6 y 7, mostrando las estimaciones realizadas en estudios anteriores, así como del producto global GCN250 (AMC II), CN30-CL (AMC II) y CN30-CL-v2 para AMC I, II y III.

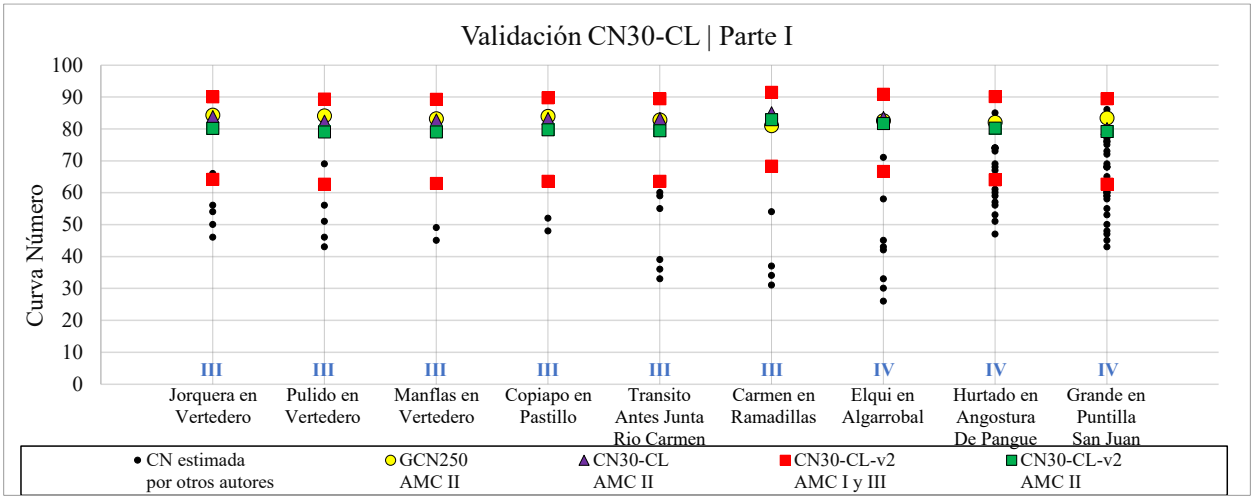


Figura 4. Validación CN30-CL en 34 cuencas de Chile – Parte I

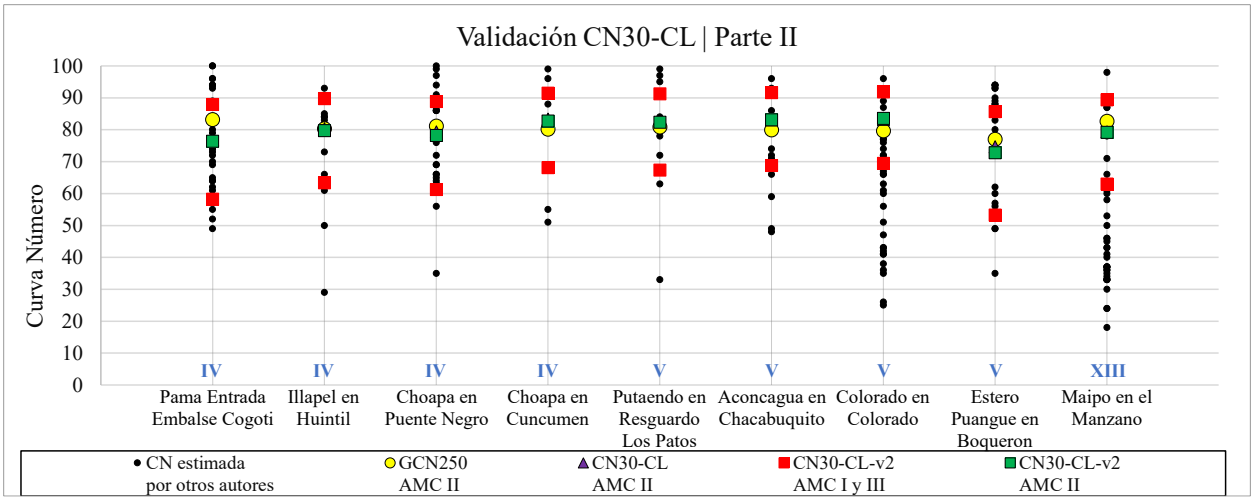


Figura 5. Validación CN30-CL en 34 cuencas de Chile – Parte II

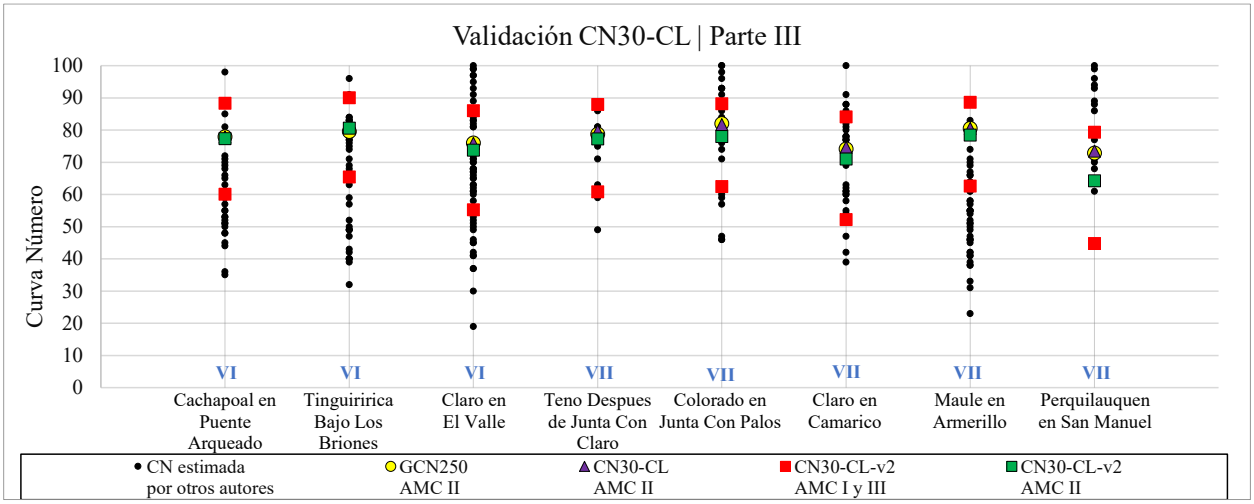


Figura 6. Validación CN30-CL en 34 cuencas de Chile – Parte III

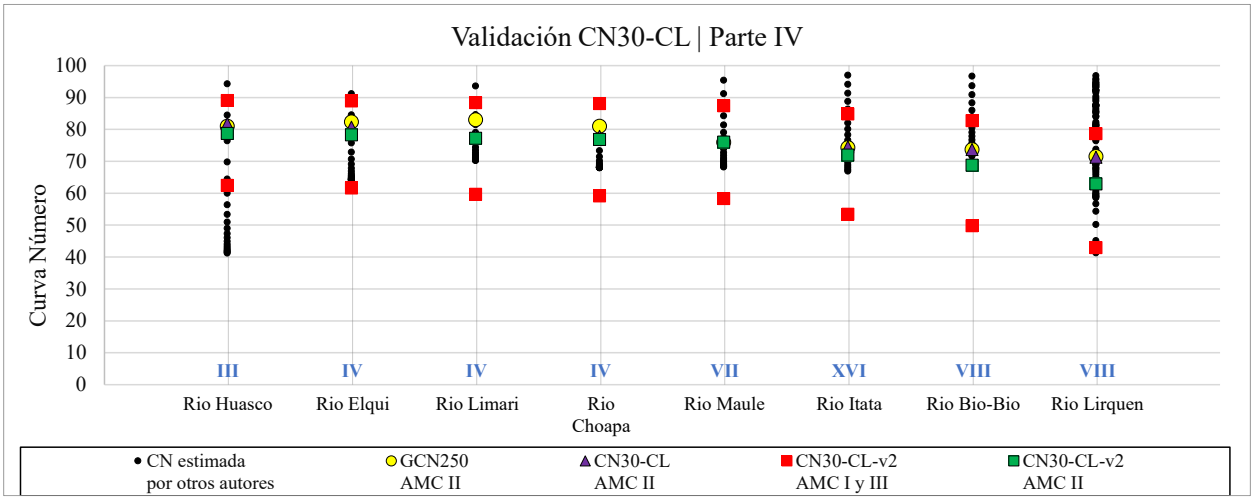


Figura 7. Validación CN30-CL en 34 cuencas de Chile – Parte IV

Se observa un mejor desempeño gráfico paras las cuencas ubicadas en la zona Centro y Sur del país, con un mejor ajuste en general del AMC II. En el caso de las cuencas del Norte se destaca la escasa información disponible contra la cual contrastar los valores de CN30-CL-v2.

Las estimaciones de estudios anteriores corresponden a las asociadas a eventos particulares, no reportando la Condición de Humedad Antecedente (AMC) del evento, donde además la CN se estima de acuerdo con el área pluvial de cada evento, mientras que la estimación de CN30-CL-v2 corresponde a la de la cuenca en su totalidad, lo que explica algunas de las diferencias, como por ejemplo la gran presencia de valores estimados en estudios anteriores que se encuentran por debajo de CN30-CL-v2 con condición de humedad antecedente seca (AMC I) o sobre estos con humedad antecedente húmeda (AMC III).

Barrientos y Stöwhas (2001) realizaron una caracterización de la AMC más probable para eventos de precipitación para cuencas de la zona centro y sur de Chile. Dicho estudio permite tomar una decisión más informada sobre la CN a adoptar, complementando así el uso de CN30-CL-v2.

Al comparar los productos CN30-CL-v2 y GCN250 para AMC II en las cuencas de validación no se exhiben grandes diferencias, sin embargo, esto se relaciona con que se están comparando valores medios en cada cuenca.

Respecto a la versión anterior, CN30-CL, se puede observar que las AMC II no difieren en gran medida, y que las mayores diferencias se encuentran en las cuencas más australes de la validación (Perquilauquén en San Manuel y Rio Lirquén), lo que se asocia a la aparición de HSG tipo A en la actualización, el cual es el suelo de mayor permeabilidad de la clasificación.

En la Figura 8 se presenta la resta entre ambos productos (CN30-CL y CN30-CL-v2), donde se observan claras diferencias en la zona sur de Chile (aparición de HSG tipo A, ver Figura 10), obteniendo una menor diferencia para la parte cordillerana del Centro y Norte, asociado a la actualización del HSG100-CL, el cual fue derivado de un producto nacional, por lo que se considera con un mayor sustento y representatividad del territorio nacional.

En términos generales, CN30-CL-v2 se encuentra dentro del rango de las estimaciones de CN utilizadas en la validación, excepto en la zona Norte y Sur Austral, donde la comparación debería considerar humedades antecedentes distintas a la AMC II, según lo indicado por Barrientos y Stöwhas (2001). Se considera que CN30-CL-v2 puede ser utilizado como una referencia adicional en estudios de precipitación escorrentía y modelación hidrológica, caracterizando la heterogeneidad de las cuencas y presentando una base de datos con mayor respaldo que su versión anterior CN30-CL.

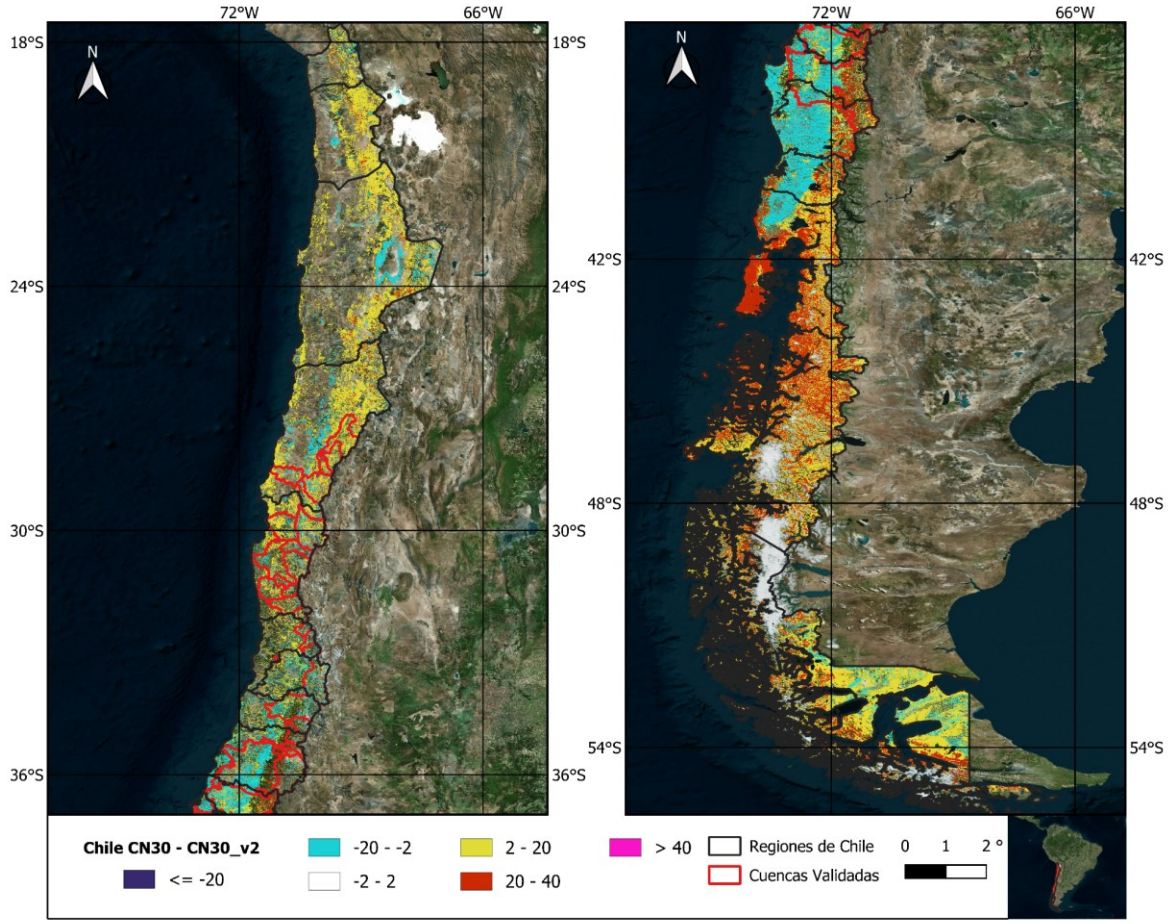


Figura 8. Diferencia entre productos CN30-CL y CN30-CL_v2, AMC II

Limitaciones y consideraciones adicionales

CN30-CL-v2 presenta varias fuentes de incertidumbre y limitaciones que se detallan a continuación:

1. La base de CN30-CL-v2 corresponde al Land Cover de Chile definido por Zhao et al. (2014) y a la inferencia del Grupo de Suelo Hidrológico (HSG), antecedentes que son dinámicos y que poseen inherentemente incertidumbre asociada. Se deben seguir actualizando estos productos, a medida que se cuente con recursos o información más confiable y reciente.

2. La asignación de la CN posee incertidumbre y sesgos asociados a la decisión que tome cada especialista en base a bibliografía y a su propia experiencia. Por esta razón se pone a disposición las herramientas utilizadas en el desarrollo de CN30-CL-v2, con el fin de facilitar cualquier modificación que se quiera realizar sobre este producto.

3. La presente actualización cuenta con la ventaja, a diferencia de la versión anterior, de basarse en un producto desarrollado a nivel nacional (HSG100-CL), en donde aparece la clasificación del grupo de suelo hidrológico tipo A (en particular para la macrozona sur del país, que era una de las limitaciones de la versión anterior).

4. Chile ha experimentado incendios forestales de forma cada vez más frecuente y de mayor severidad, lo cual tiene un impacto importante en la estimación de CN. Esto se debe tener en cuenta al momento de estudiar cuencas que se encuentren en las zonas afectadas, dado que dicha información no se encuentra incorporada en CN30-CL-v2.

5. Para el norte de Chile y en particular para el Desierto de Atacama, el lugar más árido del mundo debe evaluarse con atención la CN a adoptar, debido a las características particulares del suelo. CN30-CL-v2 podría subestimar la CN, esto en base a que eventos recientes de precipitación menores a 5 mm han generado escorrentía superficial, sin embargo, en las cuencas de validación ubicadas al Norte de Chile (regiones de Atacama y Coquimbo) CN30-CL-v2 se encuentra en el orden de las estimaciones de estudios anteriores, si se considera AMC I en el análisis. Lo anterior refuerza que se trata de una zona de gran incertidumbre.

CN30-CL-v2 se puede considerar como una referencia para estudios hidrológicos específicos a nivel de Chile Continental. Se sugiere que, en caso de diferir con alguno de los criterios adoptados se haga uso de las herramientas de programación entregadas en este trabajo (enlace) en sección de Conclusiones, de no funcionar contactar a los autores) y modificar lo que se considere necesario.

4. CONCLUSIONES

El método de la Curva Número es ampliamente utilizado en Chile y el mundo, donde en general, el valor adoptado difiere de acuerdo con los supuestos considerados por el especialista a cargo, adoptando un valor para toda la cuenca.

La presente actualización del producto CN30-CL-v2 se considera de una mayor fiabilidad que la versión anterior CN30-CL, dado que la clasificación del HSG, se deriva de un producto nacional de 100m de resolución (CLSoilMaps) en lugar de un producto global de 250m de resolución. Además, a diferencia de CN30-CL, ahora se identifica la presencia de la clasificación HSG de suelo tipo A, que correspondía a unas de las limitaciones según lo indicado por Toro et al. (2023).

CN30-CL-v2 permite contar con un producto distribuido de CN para todo Chile Continental a una resolución de 30 metros, reflejando la heterogeneidad de las cuencas a escalas pequeñas, entregando valores que se consideran apropiados para la mayoría de las cuencas analizadas. No obstante, siempre es necesario sensibilizar los valores en estudios específicos, de acuerdo con el criterio de cada especialista.

El producto CN30-CL-v2 se ha validado en 34 cuencas, sin embargo, se estima necesario evaluar su idoneidad en otras zonas de Chile, a través de distintas técnicas, como lo son modelación hidrológica, estimación de CN para eventos de precipitación-escorrentía registrados, entre otros, permitiendo también incorporar posibles correcciones.

Se destaca las distintas fuentes de incertidumbre presentes en cada producto utilizado como base para CN30-CL-v2, así como también en los valores adoptados para cada cobertura de suelo y grupo de suelo hidrológico considerado. Se recomienda actualizar las estimaciones de CN30-CL-v2 a medida que se cuente con información más confiable y reciente.

Como trabajo futuro, se recomienda evaluar otros enfoques de validación, así como también comparar las estimaciones de CN30-CL-v2 con otras generalizaciones propuestas para Chile en función de la ubicación y/o latitud de interés.

Link: CN30-CL-v2

REFERENCIAS

Barrientos, M. y Stöwhas, L. (2001). "Condiciones antecedentes de humedad en tormentas chilenas". XV Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica.

CIREN, Centro de Información de Recursos Naturales. (2014). Redefinición de la clasificación red hidrográfica a nivel Nacional. Informe Final, S.D.T. Nº 356.

Dinamarca, D.I., Galleguillos, M., Seguel, O. et al. CLSoilMaps: A national soil gridded database of physical and hydraulic soil properties for Chile. Sci Data 10, 630 (2023). https://doi.org/10.1038/s41597-023-02536-x

Dirección General de Aguas (DGA). (1995). "Análisis de Eventos Hidrometeorológicos Extremos en el País. Caudales Máximos y Mínimos. Volumen IV". Elaborado por AC Ingenieros Consultores Ltda. Departamento de Estudios y Planificación, SIT N°24.

González, R. y Vargas, X. (2003). Pronóstico de crecidas en tiempo real: uso de redes neuronales. Tesis (magister en ciencias de la ingeniería, mención recursos y medio ambiente hídrico). Universidad de Chile.

Gonzalez, A., Temimi, M. y Khanbilvardi, R. (2015). Adjustment to the curve number (NRCS-CN) to account for the vegetation effect on hydrological processes, Hydrological Sciences Journal, 60:4, 591-605, DOI: 10.1080/02626667.2014.898119.

Hawkins, R., Ward, T., Woodward, D., y Mullem, J. (2009). Curve Number Hydrology: State of the Practice. 10.1061/9780784410042.

Jaafar, H., Ahmad, F., y El Beyrouthy, N., 2019. GCN250, new global gridded curve numbers for hydrologic modeling and design. Sci Data 6, 145. doi:10.1038/s41597-019-0155-x.

Knisel, W. G. (1980). *CREAMS: A field-scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems.* USDA Conservation Research Report No. 26.

NRCS. (2009). Part 630 Hydrology National Engineering Handbook, Chapter 7: Hydrologic Soil Groups.

Ross, C., Prihodko, L., Anchang, J., Kumar, S., Ji, W. y Hana, N. (2018). HYSOGs250m, global gridded hydrologic soil groups for curve-number-based runoff modeling. Scientific Data 5, 180091. https://doi.org/10.1038/sdata.2018.91

Saavedra, C. y Stöwhas, L. (2003). "Cálculo y análisis crítico del método de la curva número para cuencas del país". XVI Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica.

Stöwhas, L. (2003). "Uso del Método de la Curva Número en Cuencas heterogéneas". XVI Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica.

Toro, I., Morales, H., González, R., Vargas, X. (2023). "CN30-CL, CURVA NÚMERO GRILLADA DE 30 METROS DE RESOLUCIÓN PARA CHILE CONTINENTAL". XXVI Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE). (1990). HEC-1 Flood Hydrograph Package: User's Manual. Hydrologic Engineering Center, Davis, California.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE). (1998). HEC-HMS Hydrologic Modeling System: User's Manual. Hydrologic Engineering Center, Davis, California.
Young, R. A., Onstad, C. A., Bosch, D. D., & Anderson, W. P. (1989). AGNPS: A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds. Journal of Soil and Water Conservation, 44(2), 168–173.

Zhao, Y., Feng, D., Yu, L., Wang, X., Chen, Y., Bai, Y., Hernández Palma, H., Galleguillos Torres, M., Estades Marfán, C., Biging, G., Radke, J. y Gong, P. (2016). Detailed dynamic land cover mapping of Chile: accuracy improvement by integrating multi-seasonal land cover data. Remote Sensing of Environment, 183, 170-185. doi:10.1016/j.rse.2016.05.016. Disponible en https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/142288

ANEXOS

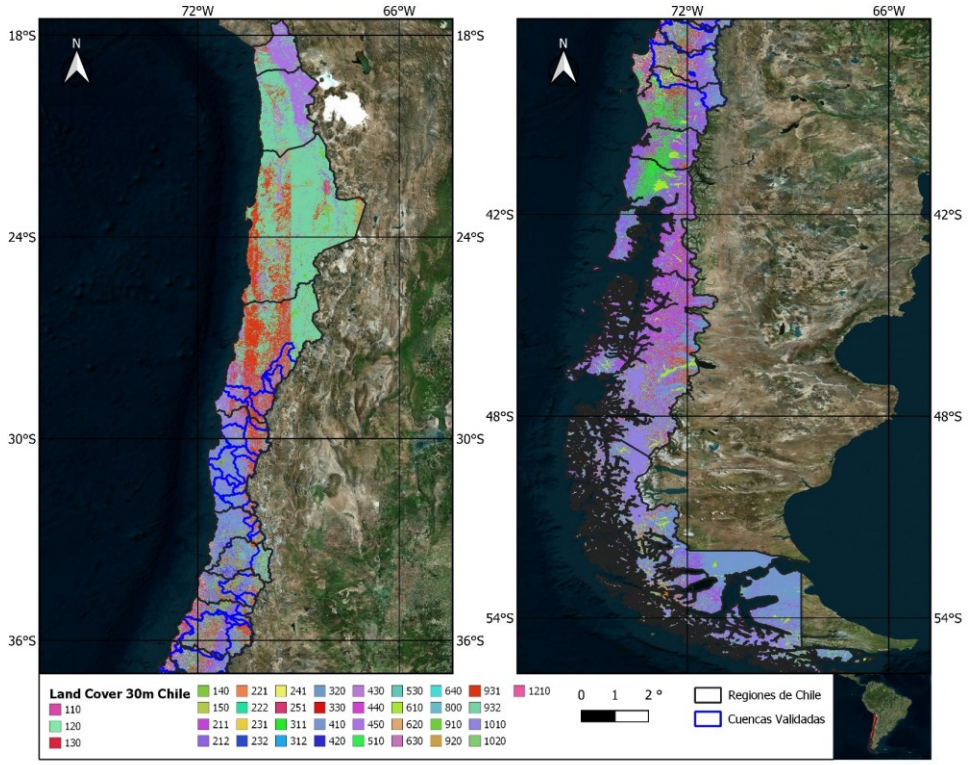


Figura 9. Producto de cobertura de suelo para Chile Continental (Zhao et al., 2016)

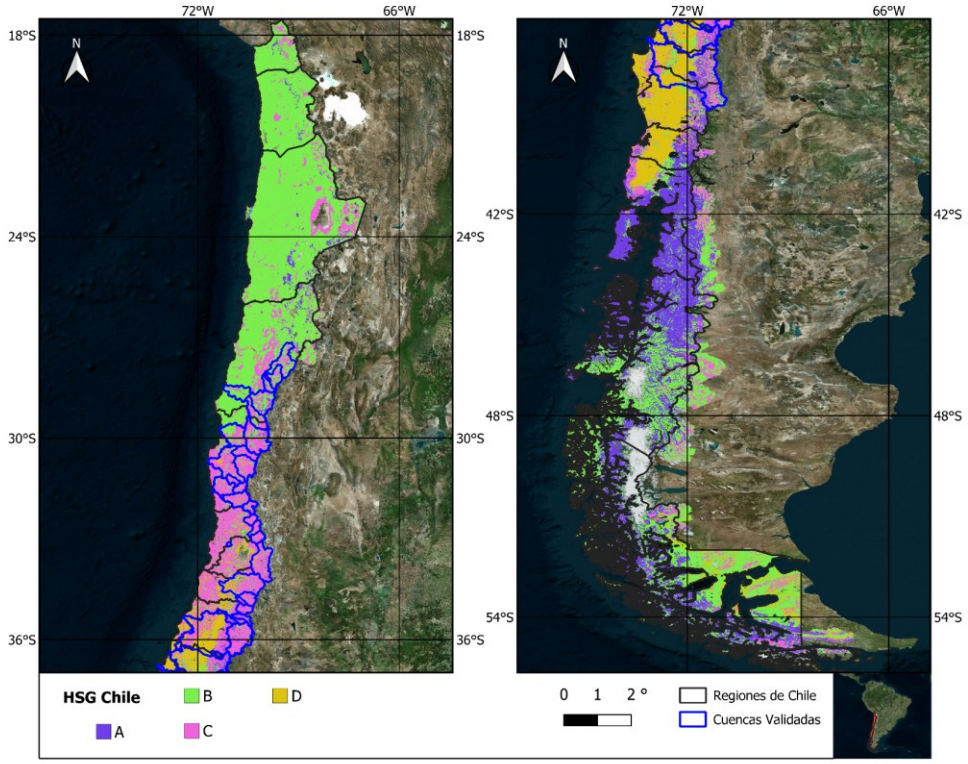


Figura 10. Producto de grupos de suelo hidrológico HSG100-CL resolución 100m (En base a Dinamarca et al., 2023)

Tabla 5. Curva Número para cuencas de Chile de acuerdo con CN30-CL-v2.
Condición de Humedad Antecedente (AMC) I, II y III

Cuencas de Chile		CN (AMC I)			CN (AMC II)			CN (AMC III)		
ID	**Nombre**	**Perc. 10%**	**Media**	**Perc. 90%**	**Perc. 10%**	**Media**	**Perc. 90%**	**Perc. 10%**	**Media**	**Perc. 90%**
100	Cuencas Altiplánicas desde Río Sacaya hasta límite Regional Norte	47	49,7	61	68	69,8	79	83	84,1	90
101	Cuenca Quebrada de Tana	47	52,7	63	68	72,3	80	83	85,8	90
102	Cuenca Costera al sur de Camarones	47	49,7	52	68	70,1	72	83	84,5	86
103	Cuenca Salar de Bella Vista	47	51,2	58	68	71,1	77	83	85,1	89
104	Cuencas Altiplánicas desde límite Regional Sur hasta Salar Huayco	47	51,1	61	68	71,0	79	83	84,9	90
105	Cuencas Costeras Quebrada de Tana y Salar de Soronal	52	52,3	52	72	72,1	72	86	86,0	86
106	Cuenca Salar de Soronal	52	52,4	52	72	72,2	72	86	86,1	86
107	Cuenca Salar Grande	52	52,1	52	72	72,0	72	86	86,0	86
108	Cuenca Costera Salar Grande	52	55,0	63	72	74,1	80	86	87,0	90
200	Cuencas Fronterizas entre Salar Michincha y Río Loa	47	53,8	63	68	73,1	80	83	86,4	90
201	Cuenca Río Loa	47	53,9	63	68	73,2	80	83	86,5	90
202	Cuencas Costeras Norte Ciudad Antofagasta	52	58,4	72	72	76,4	86	86	88,1	93
203	Cuencas Altiplánicas Endorreicas Fronterizas	52	58,4	70	72	76,4	85	86	88,2	93
204	Cuencas Altiplánicas Endorreicas	52	58,0	63	72	76,1	80	86	87,9	90
205	Cuencas del Salar de Atacama	52	56,2	63	72	74,7	80	86	87,2	90
206	Cuencas Endorreicas Salar de Atacama	52	52,6	52	72	72,2	72	86	85,9	86
207	Cuencas Antofagasta	52	56,3	72	72	75,0	86	86	87,4	93
208	Cuenca Quebrada La Negra	52	62,3	72	72	79,2	86	86	89,6	93
209	Cuencas Costeras Sur Ciudad Antofagasta	47	61,3	72	68	78,3	86	83	89,0	93
300	Cuencas Endorreicas entre Frontera y Vertiente del Pacífico	47	53,8	63	68	72,9	80	83	86,1	90
301	Cuenca Quebrada Pan de Azúcar	47	60,4	72	68	77,8	86	83	88,8	93
302	Cuencas Costeras entre Quebrada Pan de Azúcar y Río Salado	52	64,8	72	72	80,9	86	86	90,4	93
303	Cuenca Río Salado	52	62,2	72	72	79,1	86	86	89,5	93
304	Cuencas Costeras e Islas entre Río Salado y Río Copiapó	52	65,6	72	72	81,4	86	86	90,7	93
305	Cuenca Río Copiapó	48	64,8	81	69	80,6	91	84	90,3	96
306	Cuencas Costeras entre Río Copiapó y Río Huasco	47	61,2	72	68	78,2	86	83	88,9	93
307	Cuenca Río Huasco	47	62,5	81	68	78,7	91	83	89,1	96
308	Cuencas Costeras e Islas entre Río Huasco y Quebrada Chanaral	44	52,7	72	65	72,1	86	81	85,4	93
400	Cuencas Costeras e Islas entre Tercera Región y Quebrada de Los Choros	44	51,7	63	65	71,3	80	81	85,0	90
401	Cuenca Río de Los Choros	44	54,2	72	65	73,1	86	81	85,9	93
402	Cuencas Costeras e Islas entre Quebrada de Los Choros y Río Elqui	44	47,9	56	65	68,3	75	81	83,1	87
403	Cuenca Río Elqui	47	62,1	81	68	78,7	91	83	89,2	96
404	Cuencas Costeras entre Río Elqui y Río Limarí	44	53,3	61	65	72,6	79	81	85,6	90
405	Cuenca Río Limarí	47	59,7	81	68	77,3	91	83	88,4	96
406	Cuencas Costeras entre Río Limarí y Río Choapa	51	55,1	56	71	74,2	75	85	86,6	87
407	Cuenca Río Choapa	47	59,1	81	68	76,9	91	83	88,1	96

Cuencas de Chile		CN (AMC I)			CN (AMC II)			CN (AMC III)		
ID	Nombre	Perc. 10%	Media	Perc. 90%	Perc. 10%	Media	Perc. 90%	Perc. 10%	Media	Perc. 90%
408	Cuencas Costeras entre Río Choapa y Río Quilimarí	44	53,6	56	65	73,0	75	81	85,8	87
409	Cuenca Río Quilimarí	44	54,3	56	65	73,7	75	81	86,2	87
500	Cuencas Costeras entre Río Quilimarí Río Petorca	44	53,3	56	65	72,8	75	81	85,7	87
501	Cuenca Río Ligua	47	56,8	63	68	75,4	80	83	87,3	90
502	Cuencas Costeras entre Río Ligua y Río Aconcagua	44	53,6	56	65	73,0	75	81	85,9	87
503	Cuenca Río Aconcagua	47	61,1	81	68	78,1	91	83	88,8	96
504	Cuencas Costeras entre Río Aconcagua y Río Maipo	49	53,9	56	70	73,4	75	84	86,1	87
505	Cuencas Costeras entre Río Maipo y Río Rapel	49	55,3	61	70	74,4	79	84	86,7	90
600	Cuenca Río Rapel	48	58,8	81	69	76,5	91	84	87,9	96
601	Cuencas Costeras entre Estero Alhué y Quebrada del Espino	49	53,4	61	70	73,1	79	84	85,9	90
602	Cuencas Costeras Sector Pichilemu	44	52,5	63	65	72,3	80	81	85,5	90
603	Cuenca Estero Nilahue	48	54,3	63	69	73,6	80	84	86,3	90
604	Cuenca Río Paredones	49	52,1	58	70	72,1	77	84	85,3	89
700	Cuencas Costeras Maule Norte	44	51,7	58	65	71,7	77	81	85,0	89
701	Cuenca Río Mataquito y afluentes	44	58,0	81	65	75,6	91	81	87,2	96
702	Cuencas Costeras Talca	49	54,2	63	70	73,6	80	84	86,4	90
703	Cuenca Río Maule	49	58,4	72	70	76,0	86	84	87,4	93
704	Cuencas Costeras entre Río Maule y Río Reloca	49	53,9	60	70	73,6	78	84	86,4	89
705	Cuenca Río Reloca	49	55,0	63	70	74,3	80	84	86,9	90
706	Cuencas Costeras Chanco	49	53,8	63	70	73,2	80	84	86,0	90
707	Cuencas Costeras Maule Sur	49	52,8	58	70	72,7	77	84	85,8	89
800	Cuenca Costeras entre límite Región y Río Itata	49	56,0	63	70	75,1	80	84	87,5	90
801	Cuenca Río Itata	34	53,4	69	55	72,0	84	74	84,9	92
802	Cuenca Costeras e Islas entre Río Itata y Río Biobío	49	57,8	63	70	76,6	80	84	88,5	90
803	Cuenca Río Biobío	26	49,8	63	45	68,8	80	65	82,7	90
804	Cuenca Arauco	34	51,5	58	55	71,2	77	74	84,9	89
805	Cuenca Costeras entre Punta Lavapié y Río Lebu	44	54,8	63	65	74,0	80	81	86,7	90
806	Cuenca Costeras entre Lebu y Tirúa	49	54,6	63	70	73,8	80	84	86,6	90
900	Cuenca Río Imperial	34	55,6	69	55	73,9	84	74	86,2	92
901	Cuencas Costeras entre límite Región y Río Imperial	54	58,7	63	74	77,1	80	87	88,7	90
902	Cuencas Costeras entre Río Imperial y Río Toltén	58	60,2	63	77	78,1	80	89	89,1	90
903	Cuenca Río Toltén	26	48,8	63	45	67,7	80	65	81,9	90
904	Cuenca Río Queule	37	53,8	60	58	73,0	78	76	86,1	89
1000	Cuencas Costeras entre Río Bueno y Río Maullín	26	45,7	58	45	65,4	77	65	80,4	89
1001	Cuenca Río Maullín	26	34,3	51	45	54,0	71	65	72,1	85
1002	Cuencas Costeras e Islas entre Río Maullín y Río Chamiza	26	31,0	49	45	50,1	70	65	68,9	84
1003	Cuencas Costeras entre Río Chamiza y Río Petrohué	26	26,9	26	45	45,9	45	65	65,7	65
1004	Cuenca Río Petrohué y Lago Todos Los Santos	26	30,8	40	45	49,5	61	65	68,3	78
1005	Cuencas Costeras entre Río Petrohué y Río Puelo	26	30,4	44	45	49,2	65	65	68,1	81

Cuencas de Chile		CN (AMC I)			CN (AMC II)			CN (AMC III)		
ID	Nombre	Perc. 10%	Media	Perc. 90%	Perc. 10%	Media	Perc. 90%	Perc. 10%	Media	Perc. 90%
1006	Cuenca Río Puelo	26	34,1	58	45	52,1	77	65	70,0	89
1007	Cuencas Costeras entre Río Puelo y Río Yelcho	26	33,8	67	45	51,8	83	65	69,7	92
1008	Cuenca Río Yelcho	26	36,0	72	45	53,8	86	65	71,2	93
1009	Cuencas Costeras entre Río Yelcho y límite Regional	26	32,9	58	45	50,9	77	65	69,1	89
1010	Cuencas Islas Chiloé y Circundantes	26	29,6	49	45	48,7	70	65	67,8	84
1101	Cuencas Costeras e Islas entre Río Palena y Río Aysén	26	34,8	58	45	53,0	77	65	70,8	89
1102	Cuencas del Archipiélago de Las Guaitecas y de los Chonos	26	32,1	44	45	50,2	65	65	68,6	81
1103	Cuenca Río Aysén	26	37,1	63	45	55,7	80	65	72,9	90
1104	Cuencas Costeras e Islas entre Río Aysén y Río Baker y Canal General Martínez	26	39,7	56	45	58,6	75	65	75,4	87
1105	Cuenca Río Baker	26	50,7	89	45	67,6	95	65	81,2	98
1106	Cuencas Costeras e Islas entre Río Baker y Río Pascua	26	49,0	89	45	65,8	95	65	80,1	98
1107	Cuenca Río Pascua	26	49,7	89	45	66,5	95	65	80,5	98
1108	Cuencas Costeras entre Río Pascua y límite Regional Archipiélago Guaitecas	26	42,6	56	45	61,5	75	65	77,6	87
1200	Cuencas del Campos de Hielo	26	40,0	89	45	57,3	95	65	73,7	98
1201	Cuencas del Archipiélago Wellington	26	45,5	89	45	64,0	95	65	79,3	98
1202	Cuencas Costeras entre Seno Andrew y Punta Desengaño	26	49,4	89	45	66,6	95	65	80,7	98
1203	Cuencas Islas entre Canal Andrés y Estrecho de Magallanes	26	43,1	72	45	61,3	86	65	77,2	93
1204	Cuencas Costeras e Islas entre Bahía Desengaño, Canal Mayne y Seno Otway	26	45,2	89	45	63,3	95	65	78,6	98
1205	Cuencas Costeras entre Ensenada Torino y Punta Dúngeness	26	44,9	63	45	64,4	80	65	79,9	90
1207	Cuencas Islas al Sur Estrecho de Magallanes	26	57,5	100	45	71,5	100	65	83,3	100
1208	Cuenca de Tierra del Fuego	26	52,1	89	45	69,4	95	65	82,8	98
1209	Cuencas Islas al Sur del Canal Beagle	26	54,7	89	45	70,4	95	65	82,9	98
1210	Cuencas Fronterizas Vertiente Atlántica	34	45,3	63	55	65,5	80	74	80,9	90
1300	Cuenca Río Maipo	44	59,1	75	65	76,8	88	81	88,1	94
1400	Cuencas Costeras Los Ríos Norte	49	55,3	63	70	74,4	80	84	87,0	90
1401	Cuenca Río Valdivia	26	51,3	60	45	70,2	78	65	83,8	89
1402	Cuencas Costeras entre Río Valdivia y Río Bueno	26	46,8	58	45	66,7	77	65	81,4	89
1403	Cuenca Río Bueno	26	45,8	60	45	64,7	78	65	79,7	89
1500	Río Uchusuma	47	52,0	63	68	71,7	80	83	85,2	90
1501	Río Lluta	47	51,3	63	68	70,9	80	83	84,7	90
1502	Cuencas del Pacífico compartidas con Perú	47	53,2	72	68	72,6	86	83	85,7	93
1504	Río San José	47	50,5	61	68	70,4	79	83	84,5	90
1505	Cuencas Costeras entre Río San José y Río Camarones	47	52,0	58	68	71,8	77	83	85,6	89
1506	Salar de Surire	47	53,4	95	68	72,1	98	83	85,3	99
1507	Río Camarones	47	50,4	52	68	70,6	72	83	84,9	86