

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA
XXVI CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

**ESTUDIO DE LOS VOLÚMENES DE AGUA LLUVIA COSECHADOS
MEDIANTE TRANQUES DE ACUMULACIÓN PARA LA ZONA CENTRO SUR
DE CHILE**

JAVIER CAMAÑO E.¹
PABLO TOKOS L.²
ALEX ANRÍQUEZ L.³

RESUMEN

En Chile existen escasos estudios cuyo objetivo corresponda a la determinación de los volúmenes de agua lluvia cosechados mediante tranques de acumulación. No se existen estudios que determinen las superficies de tranque requeridas para almacenar durante el año distintos volúmenes en las distintas zonas geográficas de Chile. El estudio tuvo por objetivo determinar las superficies de tranque necesarias para almacenar como mínimo 100, 150 y 200 m³ anuales, para la zona centro sur de Chile (Región de Ñuble, Bio Bío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos), así como también determinar las superficies de techumbre requeridas para completar los volúmenes de acumulación de agua lluvia objetivo, en base a un dimensionamiento de tranques para distintos tipos de suelo. Se recopiló la data de 164 estaciones meteorológicas de la Dirección General de Aguas para determinar la precipitación y áreas de captación de diseño. Se procedió a utilizar el método de distancia inversa IDW para obtener mapas de captación para la zona centro sur de Chile. Se generaron mapas espacialmente distribuidos representando las áreas necesarias para cosechar volúmenes de agua lluvia efectiva de 100, 150 y 200 m³ anuales para la zona centro sur de Chile, igualmente, se generaron mapas de superficie de techumbre necesaria para completar los volúmenes de almacenamiento objetivo, en base a un predimensionamiento de tranques para la zona centro sur. Los hallazgos del presente estudio contribuyen a brindar información a los tomadores de decisión acerca de las superficies de tranque requeridas para cosechar volúmenes de agua lluvia de 100, 150 y 200 m³ para la zona centro sur de Chile, al igual que la superficie de techumbre requerida para completar los volúmenes objetivo a partir del predimensionamiento de tranques entre 78.9 y 208 m² de superficie.

¹ Departamento de I+D+i, CZ Tokosova Hydrovalv - email: jcamano@cztokosova.cl

² CEO & Founder, CZ Tokosova Hydrovalv- email: ptokos@cztokosova.cl

³ Gerente de Administración y operaciones, CZ Tokosova Hydrovalv- email: alex.anriquez@cztokosova.cl

1. INTRODUCCIÓN

Un tranque acumulador corresponde a una estructura de tierra, destinada para la regulación de un volumen de agua, el cual se utiliza para el riego de los cultivos, particularmente, los tranques acumuladores de agua lluvia, se utilizan para almacenar la precipitación caída dentro del perímetro del tranque, pudiendo colectar también el agua lluvia de la techumbre de viviendas, galpones, invernaderos, entre otros, con el fin de complementar las superficies captadoras. Cabe destacar que los tranques acumuladores pueden encontrarse revestidos usualmente con geomembranas de HDPE, con el fin de evitar pérdidas por infiltración. Los tranques son estructuras difundidas en la agricultura Chilena, debido a la necesidad de capturar el agua lluvia, especialmente en los casos de agricultores que no posean derechos de aprovechamiento de agua (superficial o subterránea), lo cual se encuentra alineado con el contexto de cambio climático que afecta al planeta. La zona centro sur de Chile destaca por su actividad agrícola, especialmente por su producción de avena, trigo harinero, manzanas, hortalizas, existiendo un fuerte componente de agricultura familiar campesina (AFC), donde la producción agrícola se encuentra gestionada, dirigida por la misma familia, combinando funciones económicas, sociales y culturales, asociado al conocimiento y cuidado de las tradiciones, correspondiendo a una fuente de generación de autosustento (Contreras et al., 2016).

En Chile existen estudios asociados al diseño de tranques para predios específicos, tales como Hervías et al., (2021), los cuales dimensionaron un tranque de riego para el Fundo El Roble. Olivares & Stuardo (2013) dimensionaron el sistema de captación, transporte y distribución de dos tranques para la zona de Catemu, destinados para el riego de 120 hectáreas de paltos. Gonzáles & Neira (2007) realizaron un estudio técnico económico para la implementación de tranques para la temporada de riego para el sector Carrizal en la región del Maule. En Chile, el documento ampliamente difundido para el diseño y la construcción de proyectos de sistemas de aguas lluvia corresponde a Pizarro et al., (2015), donde se establecen lineamientos acerca del dimensionamiento y construcción de este tipo de obras. A pesar de lo anterior, no existen estudios acerca del comportamiento espacial de los volúmenes de agua lluvia capturados en las distintas regiones del país, por lo que existe escasa información disponible para los tomadores de decisión acerca de las zonas y superficies de tranques requeridos para realizar una cosecha efectiva de aguas lluvia, en función de la oferta hídrica disponible en cada zona geográfica, lo cual debe estudiarse tomando en consideración las precipitaciones mensuales registradas por la red meteorológica del país, destacando la red meteorológica de la Dirección General de Aguas, la cual posee una cobertura a nivel nacional, existiendo una plataforma destinada para el almacenamiento y la descarga de información. La cosecha de aguas lluvia mediante tranques de acumulación será efectiva en la medida de que sea conocido el volumen acumulado durante el año, lo cual permitiría evitar una sobredimensión de este tipo de obras. Las propiedades geotécnicas del suelo también resultan de interés para un adecuado diseño de los tranques, debiéndose estudiar la estabilidad de los taludes de estos mismos, con el propósito de evitar desmoronamientos y desprendimientos, afectando la vida útil de este tipo de obras. El presente trabajo, tuvo por objetivo determinar las superficies de tranque necesarias para almacenar 100, 150 y 200 m³ anuales para zona centro sur de Chile, así como también determinar las superficies de techumbre necesarias para completar los volúmenes de acumulación de agua lluvia objetivo para la zona centro sur de Chile.

2. METODOLOGÍA

Con el objetivo de estudiar los volúmenes de acumulación de aguas lluvia en la zona centro sur de Chile, se realizó un predimensionamiento de tranques de acumulación, los cuales permiten cosechar 100, 150 y 200 m³ al año. Con el propósito de otorgar un margen de seguridad a las obras de tranque, se estudió la estabilidad de los taludes de los tranques, en base a la clasificación de suelos USCS, recopilándose los parámetros de peso específico, cohesión y ángulo de fricción para los suelos GW, GP, GM, GC, SW, SP, SC, SM, CL, CH, MH y ML. Para el peso específico (KN/m³) se tomó como referencia los valores indicados en Look (2007), Coduto (2014), Bardet (1997). Para el valor de cohesión de suelo se tomó como referencia las magnitudes indicadas por Lindeburg (2014) y Huang et al., (2012). El parámetro de ángulo de fricción se recopiló a partir de los valores indicados en Obrzud & Truty (2018), Carter & Bentley (1991) y Lindeburg (2014). Los parámetros recopilados se utilizaron para estudiar la estabilidad de taludes mediante el software HYRCAN, con el objetivo de determinar el factor de seguridad mediante el método de Bishop modificado (Bishop, 1955), así como también el ángulo de inclinación del talud. Se consideró una condición de suelo saturado y un factor de seguridad mínimo de 2.5. Para el dimensionamiento de los tranques de acumulación de 100, 150 y 200 m³ se consideró una profundidad de 2.0 m para un volumen de 100 m³, mientras que para los volúmenes de 150 y 200 m³, se consideraron profundidades de 2.5 y 2.8, respectivamente. En relación a las dimensiones de ancho y alto de los tranques, se optó por una geometría cuadrada, por sobre la rectangular.

Se determinaron las superficies de tranque requeridas para cosechar volúmenes de agua lluvia de 100, 150 y 200 m³ al año, a partir de una adaptación de la fórmula racional indicada en Pizarro et al., (2015). Se determinaron las superficies de techumbre requeridas para complementar el área captadora, con el propósito de completar los volúmenes cosechados de agua lluvia respectivos. El análisis indicado anteriormente se realizó para zona centro sur de Chile, específicamente para las regiones de Ñuble, Bio Bío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, regiones agrícolas en las que destaca la producción de avena, raps, trigo harinero, avellano, papas, hortalizas, manzana, entre otros (Contreras et al., 2016). Se utilizó la data de precipitación mensual desde el año 1983 hasta el año 2022 de 164 estaciones meteorológicas de propiedad de la Dirección General de Aguas (DGA), con el objetivo de determinar la precipitación mensual asociada a una probabilidad de ocurrencia de un 10%, donde el volumen de agua lluvia cosechado anualmente correspondió a la sumatoria de la precipitación de los 12 meses del año, asociados a una probabilidad de ocurrencia de un 10%. Se ajustaron las distribuciones de probabilidad Log-normal, Exponencial, Gamma y Gumbel a cada mes del año. Se aplicó el test de Kolmogórov- Smirnov con el objetivo de evaluar la bondad de ajuste entre las distintas distribuciones de probabilidad antes mencionadas y la fórmula de Weibull (Chow et al., 1988). El análisis estadístico de las 164 estaciones meteorológicas se programó en el software GNU Octave. Los resultados antes mencionados fueron obtenidos para las 164 estaciones, por lo que para realizar la interpolación espacial se utilizó el método de distancia inversa IDW incorporado en el software QGIS versión 3.28.1, este software de procesamiento geoespacial se utilizó también para obtener mapas de calor al igual que isolíneas, con el propósito de obtener resultados espacialmente distribuidos para las regiones de Ñuble, Bio Bío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos.

3. RESULTADOS

A partir de la modelación de la estabilidad de taludes para los distintos tipos de suelo mediante el software HYRCAN, utilizando el método de Bishop Modificado (Bishop, 2015), se encontró que para los suelos granulares tales como gravas (GW, GP, GC, GM) , arenas (SW, SP, SC, SM), los ángulos de inclinación beta fueron inferiores a 21° , eligiéndose estos ángulos con el propósito de obtener factores de seguridad equivalentes a 2.50, mientras que para los suelos finos tales como los limos (MH, ML) y arcillas (CH, CL) los ángulos de inclinación de talud beta fueron superiores a 50° , obteniéndose factores de seguridad superiores a 30. En la Figura I y en la Figura II, es posible observar el formato de salida de los resultados de la modelación de estabilidad de taludes mediante el software HYRCAN.

En relación a las áreas de tranques obtenidas, se obtuvo que los tranques emplazados en suelos granulares (gravas, arenas), poseyeron superficies superiores a los 100 m^2 , mientras que los tranques emplazados en suelos cohesivos (limos, arcillas), obtuvieron superficies inferiores o de magnitud equivalente a 100 m^2 para los volúmenes de acumulación de 200 m^3 . Cabe destacar que las dimensiones obtenidas mediante la modelación de la estabilidad de los taludes de los tranques para los suelos descritos anteriormente, se utilizaron únicamente para determinar los volúmenes de agua lluvia colectados por estos mismos y no se reivindican como diseños de ingeniería de detalle, debiéndose realizar los estudios geotécnicos respectivos. En la Tabla I se indican los dimensionamientos de los distintos tranques, para los distintos tipos de suelo, con el fin de obtener volúmenes de acumulación equivalentes a 100, 150 y 200 metros cúbicos, respectivamente.

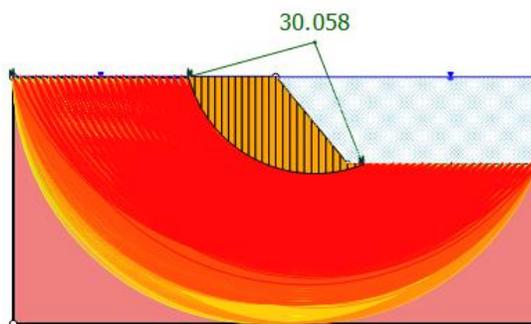


Figura I. Resultados de análisis de estabilidad de talud de tranque para suelo ML para un volumen de 100 m^3 , mediante el software HYRCAN.

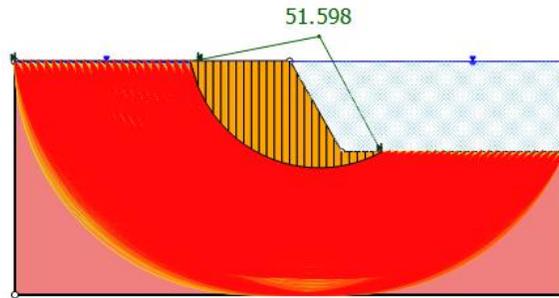


Figura II. Resultados de análisis de estabilidad de talud de tranque para suelo MH para tranque de 200 m³, mediante el software HYRCAN.

Tabla I. Taludes obtenidos con su respectivo factor de seguridad, a partir de la modelación en el software HYRCAN, para distintos tipos de suelo.

Tipo de Suelo	Volumen (m ³)	Ángulo Beta °	Altura total (m)	Áncho total (m)	Largo total (m)	Área total	Factor de seguridad
Grava	100,0	17,0	1,9	12,2	12,2	150,0	2,5
Arena	100,0	21,0	2,1	11,2	11,2	125,0	2,5
Limo	100,0	50,0	2,2	8,9	8,9	78,9	38,2
Arcilla	100,0	60,0	2,2	8,4	8,4	69,9	45,2
Grava	150,0	17,0	2,0	13,2	13,2	173,6	2,5
Arena	150,0	21,0	2,3	12,1	12,1	147,0	2,6
Limo	150,0	50,0	2,5	9,8	9,8	96,6	33,7
Arcilla	150,0	60,0	2,5	9,3	9,3	86,2	39,9
Grava	200,0	17,0	2,2	14,4	14,4	208,3	2,5
Arena	200,0	21,0	2,6	13,3	13,3	176,7	2,5
Limo	200,0	50,0	2,8	10,7	10,7	115,3	30,1
Arcilla	200,0	60,0	2,8	10,1	10,1	102,8	35,7

A partir del análisis estadístico de 164 estaciones meteorológicas de propiedad de la Dirección General de Aguas, se obtuvieron las superficies necesarias para cosechar volúmenes de agua lluvia de 100, 150 y 200 metros cúbicos para las regiones de Ñuble, Bio Bío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. En relación a la cosecha de un volumen de 100 m³, las mayores superficies de tranque requeridas se encontraron en la zona costera de la región de Ñuble, alcanzando magnitudes de 300 m², igualmente, en la zona costera de la región del Bio Bío se obtuvieron superficies de tranque superiores a los 200 m². Las menores superficies requeridas se encontraron para la zona cordillerana de la región de Los Ríos y de Los Lagos, encontrándose magnitudes de entre 90 y 120 m², respectivamente, en la zona de Chiloé se encontraron magnitudes similares. En relación a la cosecha de volúmenes de 150 m³, se observa que las mayores superficies se encontraron en la zona costera de la Región de Ñuble y la zona central de la Región del Bio Bío, requiriéndose de superficies de tranque mayores a 400 metros cuadrados, las menores superficies se encontraron en la zona cordillerana de la región de Los Ríos y de Los Lagos, alcanzándose superficies superiores a los 120 m². En relación a la cosecha de volúmenes de 200 m³ anuales en la zona costera de la Región de Ñuble y la zona central de la región del Bio Bío, las superficies requeridas se encontraron superiores a los 500 m², mientras que para la zona cordillerana de las regiones

de Los Ríos y Los Lagos, las superficies requeridas se encontraron superiores a los 200 m², en la Figura III se indican las áreas de tranque necesarias para cosechar volúmenes de 100, 150 y 200 m³, respectivamente.

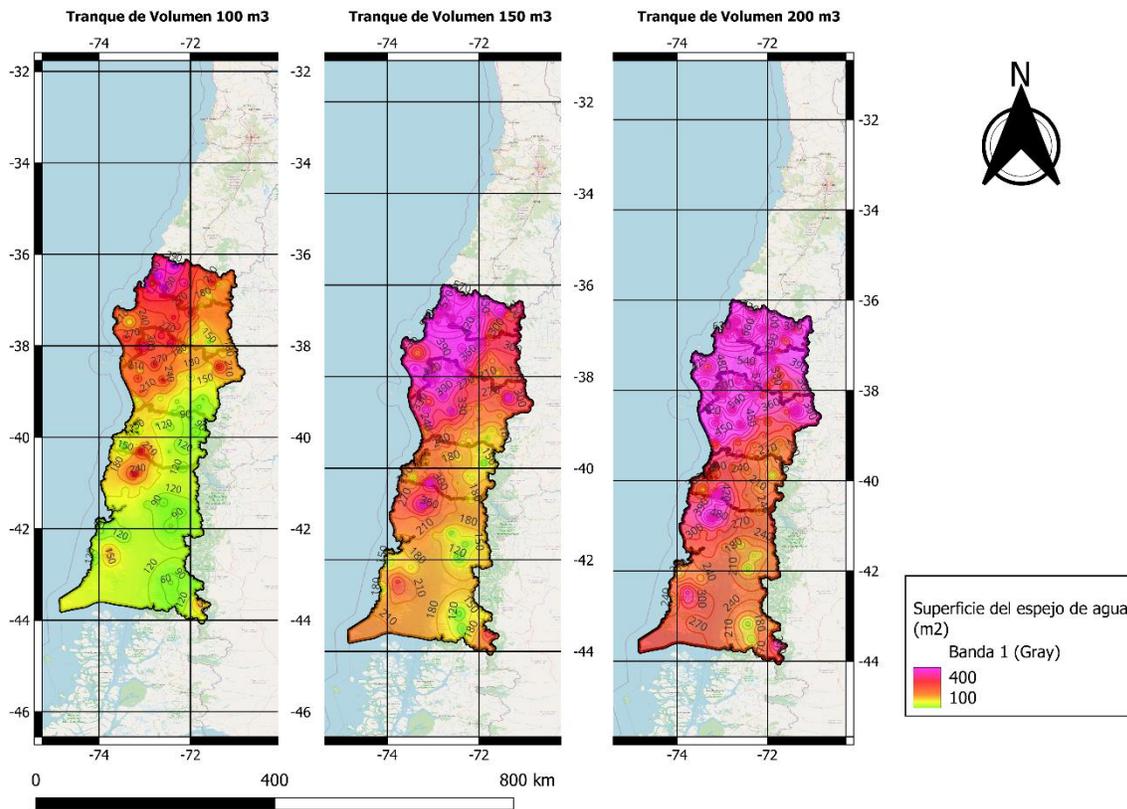


Figura III. Superficies de tranque requeridas para cosechar volúmenes de aguas lluvia de 100, 150 y 200 m³, para las regiones de Ñuble, Bio Bío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, respectivamente.

En relación a las áreas de techumbre requeridas para completar los tranques dimensionados en la Tabla I, para los suelos granulares (grava, arena) y finos (limo, arcilla), para un volumen de 100 m³, para el tranque dimensionado para grava (150 m²), se observa que desde la zona cordillerana de la región de la Araucanía hacia el sur no se requeriría de una superficie adicional para complementar un volumen de 100 m³, sin embargo para la zona norte de la región de Ñuble y la zona costera del Bio Bío se requeriría de una superficie de techumbre superior a los 150 m². Para el tranque dimensionado para Arena (125 m²), la zona costera de Ñuble y Bio Bío requeriría de superficies superiores a los 200 m², mientras que para la zona cordillerana de la región de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos se requeriría complementar con superficies de techumbre superiores a los 150 m². Las superficies de techumbre necesarias para complementar los tranques dimensionados para limo (78.9 m²) y arcilla (69.9 m²), en la zona costera de Ñuble, Bio Bío, se requeriría complementar con al menos 300 m², mientras que en la zona cordillerana de las regiones de Los Ríos y Los Lagos, se requeriría complementar con superficies superiores a los 200 m² de techumbre, con el fin de completar un volumen de 100 m³ anuales. En la Figura IV se indican las superficies requeridas para complementar y alcanzar un volumen cosechado de al menos 100 m³ anuales.

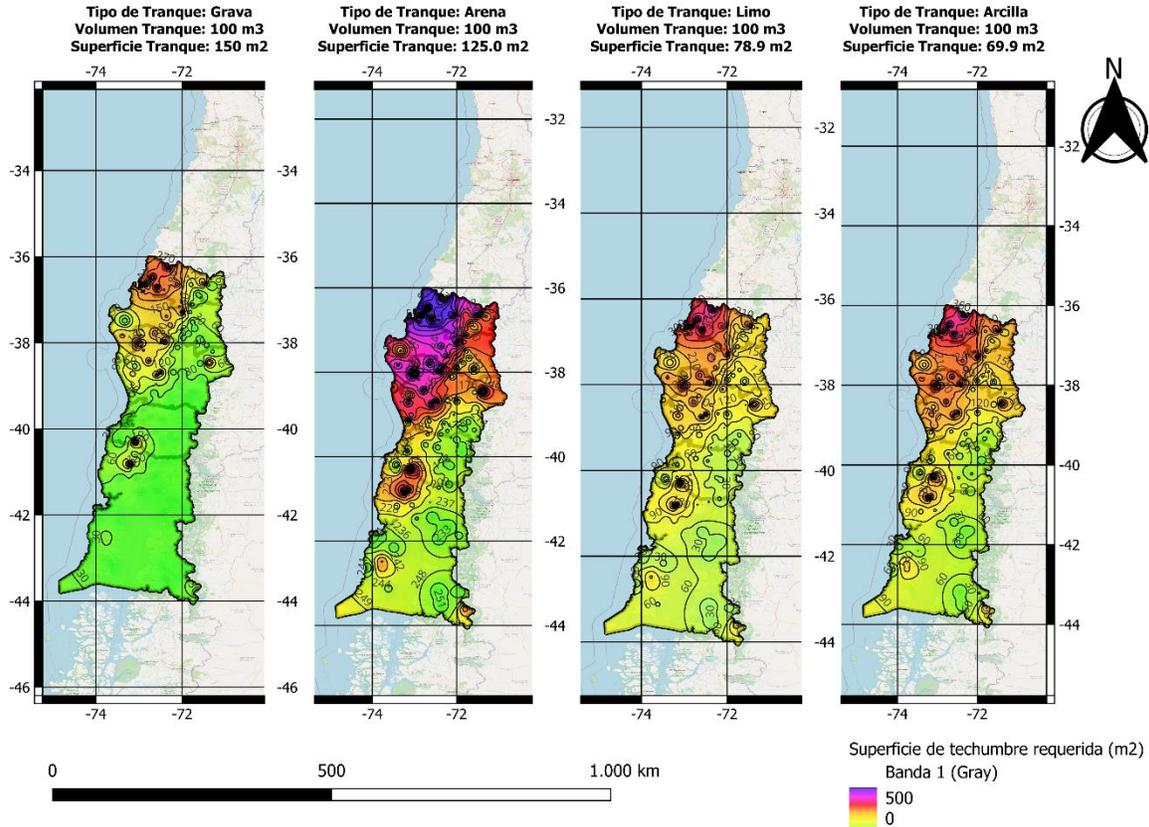


Figura IV. Superficie de cubierta (techumbre) requeridas para complementar las áreas de tranque dimensionadas para coleccionar un volumen de 100 m³.

En relación a las áreas de techumbre requeridas para complementar los tranques dimensionados para los suelos granulares (grava, arena) y finos (limo, arcilla), para un volumen de 200 m³, para el tranque dimensionado para grava (208.3 m²), se observó que para la zona norte de la región de Ñuble, se requiere complementar con una superficie de techumbre superior a los 500 m², en la zona costera de la región del Bio Bío se requiere complementar con una superficie superior a los 300 m², mientras que en la zona cordillerana de la región de Los Ríos y Los Lagos, se requería de superficies de techumbre entre 30- 60 m². Las superficies de techumbre necesarias para complementar los tranques dimensionados para arena (176.7 m²), fueron superiores a los 300 m² en la zona norte de la región de Ñuble, 270 m² para la zona costera del Bio Bío, mientras que en la zona cordillerana de las regiones de Los Ríos y Los Lagos, se requiere de superficies de techumbre entre 60-90 m². Las superficies de techumbre necesarias para complementar los tranques dimensionados para limo (115.3 m²), arcilla (102.8 m²), en la zona norte de la región de Ñuble y en la zona costera de la Región del Bio Bío, se requiere de superficies de techumbre superiores a los 600 m², mientras que para la zona cordillerana de las regiones de Los Ríos y Los Lagos se requiere de superficies de techumbre entre 120- 150 m². En la Figura V se indican las superficies de techumbre requeridas para complementar y alcanzar un volumen cosechado de aguas lluvia de al menos 200 m³ anuales.

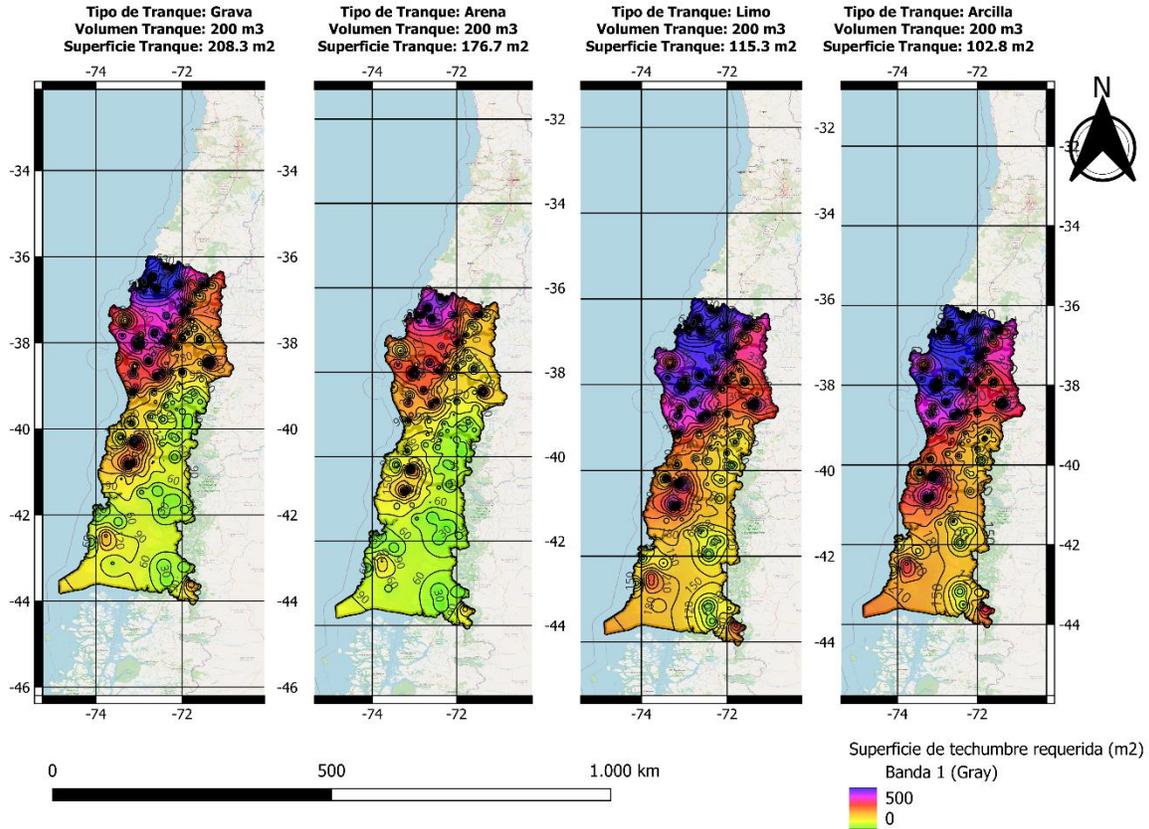


Figura V. Superficie de cubierta (techumbre) requeridas para complementar las áreas de tranque dimensionadas para colectar un volumen de 200 m³.

4. DISCUSIÓN

Con el fin de realizar un estudio de los volúmenes de acumulación para la zona centro sur de Chile, se dimensionaron tranques basados en la recopilación de parámetros de suelo tales como el peso específico, la cohesión y el ángulo de fricción, en función de la clasificación USCS, con el fin de estudiar la estabilidad de taludes de los tranques, sin embargo, el autor recomienda realizar los ensayos geotécnicos que correspondan para estudiar la resistencia al corte del suelo, con el fin de realizar un diseño ajustado al sitio donde se desea implementar cada obra de tranque. Para determinar el factor de seguridad asociado a cada tranque, se modeló cada uno de los tipos de suelo de ingeniería en el software HYRCAN, de acuerdo a la clasificación USCS, basado en una revisión bibliográfica de los parámetros de peso específico, cohesión y ángulo de fricción, además, se consideró una condición de suelo saturado, lo cual disminuyó el factor de seguridad del talud, con el fin de brindar un dimensionamiento para cada volumen de tranque y para cada tipo de suelo, eligiéndose el talud (ángulo beta) menor para cada tipo de suelo, con el fin de explorar el comportamiento del talud bajo una condición de suelo saturado.

En relación a las áreas requeridas de tranque para capturar volúmenes de agua lluvia de 100, 150 y 200 m³ anuales, se observó que para cosechar un volumen de agua lluvia de 100 m³ al

año, para la región de Ñuble bastaría con una superficie de tranque máxima de 360 m². mientras que para la región del Bio Bío se requiere de una superficie máxima de 300 m² aproximadamente. Para la región de la Araucanía, se requiere de una superficie máxima de 270 m². Para la región de Los Ríos se requiere de una superficie de tranque de 240 m², mientras que para la región de Los Lagos se requiere de una superficie de 150 m². Cabe destacar que estas superficies corresponden al mayor valor para cada región en cuestión, encontrándose superficies menores dentro de la misma región.

Para obtener una cosecha de un volumen de agua lluvia equivalente a 150 m³ al año, se observó que bastaría con un área de tranque máxima de 420 m² para la región de Ñuble, 270 m² de tranque para la región del Bio Bío, 390 m² para la región de La Araucanía, 360 m² para la región de Los Ríos y 210 m² de superficie de tranque para la región de Los Lagos, respectivamente. Para obtener una cosecha de un volumen de agua lluvia equivalente a 200 m³ al año, se observó que bastaría con una superficie de tranque máxima de 660 m² aproximadamente para la región de Ñuble, 570 m² de superficie de tranque para la región del Bio Bío, 540 m² de superficie de tranque para la región de la Araucanía, 480 m² de superficie de tranque para la región de Los Ríos y 390 m² de superficie de tranque para la región de Los Lagos. Se observó que las menores superficies de techumbre requeridas correspondieron a las superficies de tranque de 150 m², sin embargo, aún se requiere de techumbre u otra estructura equivalente para complementar la superficie de captación, especialmente en la zona norte de la región de Ñuble y la zona costera de la región del Bio Bío, por lo que se plantea aumentar la superficie de captación, estos hallazgos tienen directa relación con las áreas requeridas de tranque ya que para cosechar 100 m³ al año para la zona centro sur se requieren de al menos 360 m² de área de tranque, 420 m² de superficie de tranque para cosechar al menos 150 m³ al año y 660 m² de superficie de tranque para cosechar al menos 200 m³ al año para la zona centro sur de Chile, sin embargo, estos corresponden a las magnitudes de superficie máximas y se recomienda dimensionar este tipo de obras de acuerdo a cada zona geográfica específica, con el fin de evitar una sobredimensión y un aumento de los costos respectivos de este tipo de obras.

5. CONCLUSIÓN

El presente estudio tuvo por objetivo estudiar los volúmenes de acumulación de agua lluvia para la zona centro sur de Chile, a través de la consulta de tranques para riego. Se determinaron las respectivas isolíneas de superficies de tranque requeridas para cosechar 100, 150 y 200 m³ al año, a partir del análisis estadístico de 164 estaciones meteorológicas de propiedad de la Dirección General de Aguas. Se observó que para cosechar 100 m³ al año en la región de Ñuble, la superficie máxima requerida de tranque corresponde a 360 m², para la región del Bio Bío la superficie corresponde a 300 m², para la región de La Araucanía, se requiere de una superficie máxima de 270 m² aproximadamente, para la región de Los Ríos, se requiere de una superficie de tranque de 240 m², para la región de Los Lagos se requiere de una superficie máxima de tranque de 150 m². Para cosechar 150 m³ al año, en la región de Ñuble se requiere de una superficie máxima de tranque de 420 m², para la región del Bio Bío se requiere de una superficie de tranque máxima de 390 m², para la región de La Araucanía se requiere de una superficie máxima de tranque de 270 m², para la región de los Ríos se requiere de 210 m² de superficie de tranque, mientras que para la región de Los Lagos se requiere de una superficie máxima de tranque de 180 m². Para cosechar 200 m³ al año, se observó que se requiere de una superficie máxima de tranque de 660 m² para la región de Ñuble, 570 m² para la región del Bio Bío, 540 m² para la región de La Araucanía, 480 m² para la región de Los Ríos y 390 m² de superficie máxima de tranque para la región de Los Lagos. Cabe destacar que los valores anteriormente descritos corresponden únicamente al valor máximo de superficie de tranque requerida para cada región, encontrándose valores menores para las distintas zonas presentes en cada división administrativa. El presente estudio determinó el dimensionamiento de tranques para cosechar volúmenes de 100, 150 y 200 m³ al año, para los suelos de tipo Grava, Arena, Limo y Arcilla, respectivamente, basándose en la clasificación de suelos USCS, recopilando los parámetros de peso específico, cohesión y ángulo de fricción a través de literatura y obtenido los taludes de tranque a partir de la modelación con el software HYRCAN, esto con el objetivo de estudiar la capacidad de almacenamiento de tranques entre 69.9 y 208.3 m² de superficie, así como también las áreas de techumbre necesarias con el fin de completar cada uno de los volúmenes de cosecha de agua lluvia respectivos. El presente estudio contribuye a la generar nuevo conocimiento acerca de la efectividad de la cosecha de aguas lluvia, así como también brinda información acerca de las áreas requeridas para realizar una efectiva cosecha de aguas lluvia mediante tranques de acumulación para riego. El dimensionamiento de tranques generado en el presente estudio se realizó con el propósito de explorar áreas de captación de tranques tentativas, a partir de parámetros geotécnicos recopilados de literatura. con el fin de brindar información a los tomadores de decisión al momento de dimensionar tranques, también se considera relevante generar este tipo de información espacialmente distribuida, con el fin de fomentar la construcción de tranques en zonas climáticas que lo ameriten. Se recomienda realizar las prospecciones geotécnicas requeridas para un adecuado diseño a nivel de ingeniería de detalle.

REFERENCIAS

- Bardet, J.P. 1997. Experimental soil mechanics.
- Bishop, A.W. 1955. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Geotechnique* 5(1) 7-17.
- Carter, M., S.Bentley. 1991. Correlations of soil properties. Pentech press publishers.
- Coduto,D.P. 2014. Foundation design: principles and practices. Pearson Education Limited.
- Contreras, R., J. Márquez, y P.Valdés. 2016. Coyuntura Internacional III: Proyección internacional de la agricultura familiar campesina.
- Chow, V.T., D.R. Maidment,y L.W. Mays. 1988. Applied hydrology.
- Das, B.M., N.Sivakugan. 2016.Fundamentals of geotechnical engineering. Cengage Learning.
- González, B.,J.Neira. 2007.Estudio de factibilidad técnico-económica para la implantación de tranques de temporada para regadío en la agricultura del seco, sector Carrizal VII Región.
- Hervías, J. N. S., S. L. M. Gebauer, y J. C. Yanez. 2021. Proyecto de Diseño Tranque Acumulación Aguas para Riego 30 Has de Praderas Parte Fundo el Roble.
- Huang, Y.H. 2012. Stability analysis of earth slopes. Springer Science & Business Media.
- Olivares,L.G., A.H. Stuardo. 2013.Estudio del sistema de riego Huertos Catemu.
- Lindeburg, M.R. 2014. Engineering Reference Manual for the PE Exam. Fourteenth Edition.
- Look, B.G. 2007.Handbook of geotechnical investigation and design tables. Taylor & Francis.
- Obrzud, R., A.Truty. 2018. The hardening soil model- a practical guidebook. Z_soil. PC 100701 report.
- Pizarro, R., A.Abarza, C.Morales, R.Calderón, J.Tapia,P.García, y M.Córdova. 2015. Manual de diseño y construcción de sistemas de aguas lluvias en zonas rurales de Chile. Documentos técnicos del PHI-LAC, N° 36