



**ESTUDIO COSECHA DE AGUAS LLUVIAS EN
AREAS DE SECANO
REGIÓN DE COQUIMBO
Tomo I**

**Jorge Romero Navea
Ingeniero Agrónomo
Consultor en Proyectos de Riego Agrícola**

Noviembre, 2015

ÍNDICE TEMÁTICO

ANTECEDENTES.....	1
METODOLOGÍA DE SELECCIÓN DE MICROCUENCAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE SITIOS DE COSECHA DE AGUA LLUVIA.....	10
Introducción.	10
Flujo de trabajo para la selección de microcuencas	12
Etapa 1: Cálculo.	13
Elección del Modelo Digital de Elevación (MDE).	13
Delimitación de microcuencas.	14
Cálculo de pendiente.	16
Pisos altitudinales.	18
Etapa 2: Caracterización.....	19
Etapa 3: Selección.....	26
APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA	28
Áreas de estudio	28
Descripción y Caracterización de las áreas de estudio.....	33
2.- Zona Secano Intermedio comuna de Canela	36
3.- Zona Secano precordillera comuna de Combarbalá	39
Cálculo de pendiente.....	48
Pisos altitudinales.....	48
Caracterización	49
Selección	54
Criterio n°1.	54
Criterio n°2.	54
Criterio n°3.	57
Validación en terreno	60
TOPOGRAFÍA.....	81
CONSULTA LEGAL A LA DIRECCION GENERAL DE AGUAS	89
PLANOS.....	90

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Puntaje asignado a cada rango de pendiente. Fuente: Deepika <i>et al.</i> , 2013. ...	18
Cuadro 2. Clasificación del criterio de pendiente. Fuente: Al-Adamat <i>et al.</i> , 2010.	18
Cuadro 3. Valor de capacidad de la capa temática de pendiente. Fuente: Abdalla, 2012.	18
Cuadro 4. Parámetros para determinar las clases de capacidad de uso de los suelos. Fuente: SUBDERE, 2013.	21
Cuadro 5. Rangos de pendientes para clases de capacidad de suelo en sectores no arables. Fuente: SUBDERE, 2013.	22
Cuadro 6. Resultados de la delimitación de microcuencas.	48
Cuadro 7. Resultado de la caracterización de microcuencas por tipo.	49
Cuadro 8. Resultado de la caracterización de microcuencas por drenaje principal.	50
Cuadro 9. Resultado de la caracterización de microcuencas por agricultura.	50
Cuadro 10. Participación de distritos agroclimáticos en el área de Canela.	53
Cuadro 11. Participación de distritos agroclimáticos en el área del secano costero de Ovalle.	53
Cuadro 12. Participación de distritos agroclimáticos en el área del secano intermedio de Limarí.	53
Cuadro 13. Aplicación del primer criterio de selección en el área de la comuna de Canela.	54
Cuadro 14. Aplicación del primer criterio de selección en el área del secano costero de la comuna de Ovalle.	54
Cuadro 15. Aplicación del primer criterio de selección en el área del secano intermedio de la provincia de Limarí.	54
Cuadro 16. Matriz de cumplimiento del criterio n°2 en el área de la comuna de Canela. Los pisos altitudinales van desde 0 a 2.000 m.s.n.m. en rangos con una amplitud de 100 m.s.n.m.	55
Cuadro 17. Matriz de cumplimiento del criterio n°2 en el área del secano costero de la comuna de Ovalle. Los pisos altitudinales van desde 0 a 1.200 m.s.n.m. en rangos con una amplitud de 100 m.s.n.m.	56
Cuadro 18. Matriz de cumplimiento del criterio n°2 en el área del secano intermedio de la provincia de Limarí. Los pisos altitudinales van desde 100 a 1.500 m.s.n.m. en rangos con una amplitud de 100 m.s.n.m.	56

Cuadro 19. Características de las microcuencas seleccionadas en el área de la comuna de Canela.....	57
Cuadro 20. Características de las microcuencas seleccionadas en el área del secano costero de la comuna de Ovalle.....	58
Cuadro 21. Características de las microcuencas seleccionadas en el área del secano intermedio de la provincia de Limarí.....	59
Cuadro 22. Características físicas de microcuenca La Isla, Comunidad agrícola de Peña Blanca.....	64
Cuadro 23. Características físicas de microcuenca La Moralina, Comunidad agrícola de Manquehua.....	69
Cuadro 24. Características físicas de microcuenca Los Rulos, Comunidad agrícola de Canela.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de embalse de almacenamiento en cama de arena (arriba) y embalse subterráneo (abajo). Fuente: Ishida <i>et al.</i> , 2011.....	10
Figura 2. Flujo de trabajo de selección de microcuencas.....	12
Figura 3. Principales pasos para delimitación de microcuencas desde datos SRTM.....	14
Figura 4. Esquema del antes y después del proceso de relleno de depresiones.....	14
Figura 5. Ejemplo de ejecución del proceso de cálculo de dirección de flujo.....	15
Figura 6. Ejemplo de la ejecución del proceso de cálculo de acumulación de flujo.....	15
Figura 7. Ejemplo de resultado del proceso de acumulación de flujo.....	16
Figura 8. Ejemplo de la capa resultante de pendiente, expresada en porcentaje.....	17
Figura 9. Ejemplo de pisos altitudinales en rangos de 100m.....	19
Figura 10. Ejemplificación de los tipos de microcuencas (Captación, Intermedia y Costera).	20
Figura 11. Ejemplificación de los tipos de drenaje principal de cada microcuenca.....	21
Figura 12. Ejemplificación de la capa vectorial de pendiente.....	23
Figura 13. Esquema de las comunidades agrícolas de la Región de Coquimbo.....	24
Figura 14. Polígono y línea antes del tratamiento (1) y después del tratamiento visual (2) de suavizado.....	25
Figura 15. Áreas de estudio (para ver con mayor detalle revisar Anexos 1, 2 y 3).	29
Figura 16. Microcuencas de las tres áreas de estudio.....	47
Figura 17. Capa resultante del cálculo de pendiente.....	48
Figura 18. Capa resultante de la clasificación de pisos altitudinales. Se presenta el resultado en rangos de 200 m.s.n.m. para facilitar la visualización.....	49
Figura 19. Detalle de la capa de pendiente generada para el área de la comuna de Canela.....	51
Figura 20. Microcuencas seleccionadas bajo el 3er criterio en el área de la comuna de Canela.....	58
Figura 21. Microcuencas seleccionadas bajo el 3er criterio en el área del secano costero de la comuna de Ovalle.....	59
Figura 22. Microcuencas seleccionadas bajo el 3er criterio en el área del secano intermedio de la provincia de Limarí.....	60
Figura 23. Microcuenca aportante La Moralina, comunidad agrícola de Manquehua.....	75

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Superficie con pendientes ligeras a moderadas en las microcuencas del área correspondiente a la comuna de Canela.	51
Gráfico 2. Superficie con pendientes ligeras a moderadas en las microcuencas del área correspondiente al secado costero de la comuna de Ovalle.....	52
Gráfico 3. Superficie con pendientes ligeras a moderadas en las microcuencas del área correspondiente al secano intermedio de la provincia de Limarí.	52

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Charla informativa del Estudio Cosecha de Aguas Lluvias a los Comuneros de la Comunidad Agrícola de Peña Blanca.	61
Fotografía 2. Vista parcial de los comuneros de la Comunidad Agrícola de Peña Blanca, asistentes a la charla informativa del Estudio Cosecha de Aguas Lluvias.	62
Fotografía 3. Microcuenca La Isla, Comunidad Agrícola Peña Blanca, vista del corral de pirca ubicado a un costado del cauce de la microcuenca.	65
Fotografía 4. Microcuenca La Isla, Comunidad Agrícola Peña Blanca, vista de la demarcación de l futuro emplazamiento de la segunda barrera de intercepción del escurrimiento de aguas lluvias.	66
Fotografía 5. Microcuenca La Isla, Comunidad Agrícola Peña Blanca, vista del cauce de la microcuenca, del sector a intervenir.	67
Fotografía 6. Microcuenca aportante La Isla, comunidad agrícola de Peña Blanca.	68
Fotografía 7. Microcuenca La Moralina, Comunidad Agrícola Manquehua, vista aguas arriba del punto de emplazamiento futuro de la segunda barrera de intercepción del escurrimiento de aguas lluvias.	72
Fotografía 8. Microcuenca La Moralina, Comunidad Agrícola de Manquehua, vista general del sector a emplazar a futuro las barreras de intercepción del escurrimiento de aguas lluvias.....	73
Fotografía 9. Microcuenca La Moralina, Comunidad Agrícola de Manquehua, vista aguas abajo del punto de emplazamiento futuro de la segunda barrera de intercepción del escurrimiento de aguas lluvias.	74
Fotografía 10. Microcuenca Los Rulos, Comunidad Agrícola Canela Alta, vista parcial del cauce de la microcuenca.	77
Fotografía 11. Microcuenca Los Rulos, Comunidad Agrícola Canela Alta, vista parcial del cauce de la microcuenca, mirando hacia aguas arriba del cauce.....	78
Fotografía 12. Microcuenca Los Rulos, Comunidad Agrícola Canela Alta, vista parcial del cauce de la microcuenca, mirando hacia aguas abajo del cauce.....	79
Fotografía 13. Microcuenca aportante Los Rulos, comunidad agrícola de Canela Alta.....	80

EQUIPO PROFESIONAL
ESTUDIO COSECHA DE AGUAS LLUVIAS EN ÁREAS DE SECANO
REGIÓN DE COQUIMBO

JORGE M. ROMERO NAVEA	ING. AGRÓNOMO, ESPECIALIZADO EN PROYECTOS DE RIEGO. COORDINADOR DEL ESTUDIO
MAURICIO A. CORTÉS URTUBIA	ING. AGRÓNOMO, ESPECIALIZADO EN AGROMETEOROLOGÍA.
JOSÉ L. ORTIZ ALLENDE	ING. AGRÓNOMO, ESPECIALIZADO EN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).
HÉCTOR F. REYES SERRANO	ING. AGRÓNOMO, ESPECIALIZADO EN DESARROLLO Y AMBIENTE.
JUAN P. LOYOLA BERMUDEZ	ING. CIVIL, ESPECIALIZADO EN HIDROLOGÍA.
HUGO TOLEDO ARQUEROS	ING. CIVIL, ESPECIALIZADO EN HIDRÁULICA.
JORGE A. ROMERO ROJAS	ING. CIVIL, ESPECIALIZADO EN CÁLCULOS ESTRUCTURALES
JAVIER BAHAMONDES	ING. CIVIL, ESPECIALIZADO EN GEOFÍSICA. GEOEXPLORACIONES

ANTECEDENTES

El Gobierno Regional de Coquimbo, junto con la Corporación Regional de Desarrollo Productivo, han desarrollado el "Estudio Cosecha de Aguas lluvias en áreas de Secano de la Región de Coquimbo", buscando técnicas que permitan aminorar los efectos que causa esta condición de escasez hídrica en la región.

El objetivo del estudio es diseñar en una etapa de investigación, la cosecha de aguas lluvias en tres sub cuencas o micro cuencas en el secano de la Región de Coquimbo. Para este, deben hacerse los estudios base para elegir o determinar estas micro cuencas, hacer los estudios topográficos de detalle de los sectores seleccionados en las microcuencas, donde se ubicarán y diseñarán la obras de intercepción del escurrimiento de aguas lluvias, tanto superficial como subterráneamente, para lo cual se deben determinar la superficie aportante, definir y medir el eje o quebrada principal, determinar en función de la esorrentía, hacer análisis de crecida con una probabilidad de ocurrencia de 1 en 200 años, para posteriormente dimensionar las obras de intercepción, calcularlas estructuralmente, de tal forma que no se destruyan a la primera crecida pluvial.

En la región de Coquimbo, se han desarrollado obras de intercepción de escurrimiento de aguas lluvias superficiales, pero ninguna de estas experiencias cuentan con una evaluación técnica de sus resultados en lo que respecta a mejoramiento de la infiltración de aguas, como a la cantidad de agua infiltrada en el interior del suelo, solo se mencionan mejoramientos estimados de rendimientos de aguas en los pozos artesanales donde se construyeron estas obras.

El presente estudio, licitado por la Corporación Regional de Desarrollo Productivo de la Región de Coquimbo, no solo tiene el objetivo de diseñar las obras anteriormente indicadas, sino que además, establecer una metodología de diseño de este tipo de obras, que permitan posteriormente evaluar el costo de inversión en estas obras versus los volúmenes de agua que pueden acumularse superficial y subterráneamente con estas intercepciones de flujo de agua.

El estudio, si bien se denomina Cosecha de Aguas Lluvias, involucra el diseño de intercepción, acumulación y método utilización de agua subterránea, que en otros términos, corresponde al diseño de embalses subterráneos.

REVISION BIBLIOGRAFICA

Diversas sociedades humanas han luchado por su supervivencia durante varios milenios en ambientes áridos, semiáridos y secos, donde hay carencia de agua. Los sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia ayudan a resolver los problemas de abastecimiento para uso doméstico y riego, asimismo, representan opciones reales para incrementar los volúmenes disponibles de agua.

Su utilización en América latina, aún es limitada, de ahí la urgencia de masificar la cultura del buen aprovechamiento del agua, mediante campañas masivas, utilizando todos los medios de comunicación y estableciendo programas y proyectos que conduzcan a mejorar el nivel de vida de las personas que habitan en las zonas rurales del sector seco.

En este sentido, producir agua es un término adecuado para aumentar la disponibilidad de agua en las áreas de seco, especialmente, de la Región de Coquimbo. Producir agua en el sector seco, debe entenderse como las acciones encaminadas a proteger y recuperar las áreas vitales para la existencia del agua, como son las zonas de infiltración, áreas de recarga acuífera y quebradas, de escurrimiento esporádico de aguas lluvias.

La cosecha de aguas lluvias, puede entenderse como una forma de producir agua. Así, el almacenamiento de agua en reservorios superficiales o subterráneos, es de suma importancia para la bebida humana, higiene, bebida del ganado y/o pequeñas áreas de cultivo del sector seco.

La literatura en general, se refiere Al término cosecha de aguas lluvias, a la recolección de esta agua principalmente desde los techos, ya sea de casas, escuelas o centros comunitarios, para posteriormente almacenarla en reservorios de poca capacidad.

BIBLIOGRAFIA INTERNACIONAL

La cosecha de aguas lluvia y su almacenamiento se utiliza desde hace mucho tiempo atrás. Un ejemplo de esto son las terrazas de arroz en las filipinas, en uso por miles de años, que aún hoy día resultan ser una eficiente técnica.

Evenari et al. (1963, 1964), describieron un sistema de captación de agua para la agricultura, situado en pleno desierto del Neguev (Israel), que puede datarse hace unos 4.000 años. Estas instalaciones están constituidas por áreas productoras de escorrentía con laderas sin vegetación y suelo alisado, para fomentar el escurrimiento superficial y zanjas cavadas siguiendo curvas de nivel que conducían el agua recogida a los campos de cultivo. Esto permitía el cultivo de cereales en una región con precipitación media anual de media de 100 mm.

Las formas más primitivas de recoger agua, fueron sencillos hoyos excavados en el suelo o en la roca, para captar y almacenar la escorrentía generada durante las lluvias. Algún tiempo después estos hoyos se acompañaron de muros de desviación, para crear un área de impluvio o captación de mayor superficie. Algunos restos arqueológicos de este tipo de estructuras se han diseñado en las montañas de Edom (en el sur de Jordania) con una antigüedad de unos 9.000 años, en Irak hacia el año 4500 AC y en la zona situada en el Golfo de Arabia y La Meca (Frasier, 1994). La técnica consistía esencialmente en la recolección de agua de lluvia y su desviación a estanques naturales o artificiales (Bazza y Tayaa, 1994).

En Palestina, se han descubierto cisternas con áreas de captación, del año 2500 al 1800 A.C. (NASR, 1999). Otras técnicas de cosecha de agua han sido utilizados hace unos 500 años en el Suroeste de Estados Unidos, México, India y en África, tanto en la zona subsahariana como al norte de este continente (Frasier, 1994; Bazza y Tayaa, 1994).

Arqueólogos encontraron un sofisticado sistema de colección y almacenaje de aguas lluvia en la isla de Creta, mientras trabajaban en la reconstrucción del Palacio de Knossos (1.700 A.C.)

Los romanos llegaron a ser maestros en cosecha de aguas lluvia y la construcción de recipientes (cisternas), especialmente en lugares donde el agua era limitada. Estos sistemas tenían doble propósito: la evaporación del agua en las lagunas mejoraba el microclima acondicionando el aire y por otra fue usada para propósitos domésticos. Posteriormente debido al aumento de la población aumentó el consumo de agua lo que impulsó a desarrollar cisternas cubiertas.

Probablemente la cisterna más grande en el mundo se encuentra en Estambul, construida bajo Cesar Justiniano (527 - 565 DC), que medía 140 x 70 m, pudiendo almacenar 80.000 m³ de agua. Otra cisterna en Estambul, llamada Binbirdik, con una capacidad de 50.000 m³ y construida bajo Cesar Constantino (329 - 337 DC).

En la actualidad, la recolección de agua se practica en las regiones áridas y semiáridas de numerosos países (Australia, Túnez, Kenia, India, Pakistán, Israel, México y entre ellos Chile), para la agricultura. La técnica más utilizada es, sin duda, la de las microcuencas.

En América Latina, se han desarrollado proyectos para cosecha de aguas lluvias principalmente en el sector rural.

En Perú, estos proyectos se han desarrollado principalmente en el sector altiplánico, que se han visto muy afectados por el derretimiento de las denominadas nieves perpetuas, bajo la cota 5.500 m.s.n.m. Frente a esta problemática, el Centro de Estudios y Promoción del Desarrollo (DESCO), viene revalorando las antiguas prácticas del manejo del agua a través de la experiencia desarrollada en la Provincia de Caylloma, utilizando para ello tecnologías adecuadas, fácilmente replicables y de bajo costo. Esta tecnología denominada como "la cosecha del agua", tiene por objetivo el almacenamiento del agua de lluvia a través de la construcción de microrrepresas rústicas, para su posterior uso en el riego de pasturas (Yordy Santa Cruz Cárdenas et al. Programa Regional del Sur. Centro de Estudios y Promoción del Desarrollo. 2008). Estas microrrepresas rústicas, se diseñan y construyen en suelos de baja pendiente, de microcuencas amplias, que con la construcción de muros de tierra compactados y un aliviadero o vertedero, les permite acumular el agua de lluvia superficialmente, para posteriormente usarla en el riego de pastizales.

En México, el Profesional M.C. Osvaldo Landavazo Gracia, de la Universidad de Sonora ha propuesto la "cosecha y Recarga de Agua en Eventos de Precipitación Extrema, la que consiste en un incremento considerable del flujo de agua de lluvia al manto freático, guiándola a galerías filtrantes verticales (zanjas de Absorción) o a pozos de luz en desuso, para que el agua llegue al acuífero y se convierta en agua subterránea.

En Bolivia, se ha desarrollado la tecnología de cosecha de aguas lluvias, con obras denominadas "atajos".

Los primeros atajados, entonces llamados "q'hochas" o lagunas/lagunillas, fueron construidos por iniciativa propia de los campesinos (entre varias familias o por organizaciones de

regantes), sin el uso de maquinaria pesada, aprovechando muchas veces excavaciones, resultados de la producción de adobes. Eran de menor tamaño que los actuales (máx. 300m³) y servían principalmente para abreviar el ganado o almacenar el agua del turno de riego familiar de pequeñas represas. En los años 60, familias que regresaban a la zona de Tarija desde Argentina, empezaban a construir atajados con el fin de regar cultivos de tomate.

Fue a finales de la década de los '70 que se empezó a construir atajados a mayor escala y con el uso de maquinaria pesada (como tractores a oruga), primero en el Chaco Chuquisaqueño por CoDeCha/Corporación de Desarrollo de Chuquisaca y por el PERTT en la zona de Tarija.

Otros, como el Programa Alimentos por Trabajo (Caritas Tarija), promovieron la construcción a "pulso", o sea, con mano de obra de los interesados. Luego un creciente número de ONGs y programas de la cooperación internacional se dedicaron a proyectos de atajados, primero todavía de tipo rústico y de pequeño tamaño, luego mejorando el diseño y aumentando la capacidad de almacenamiento de agua, poco a poco.

La GTZ comenzó a apoyar la construcción de atajados en el marco del Proyecto Gestión de Riesgo y Seguridad Alimentaria en la Cuenca del Río San Pedro (PGRSAP) entre los años 2002 y 2006 en el Norte del Departamento de Potosí. Dando continuidad a esta iniciativa, el Programa de Desarrollo Agropecuario Sustentable (PROAGRO) de la GTZ puso en marcha en 2008 el proyecto de "Cosecha de Agua" que, entre otras medidas, también fomenta la construcción de atajados.

En los últimos años, también las entidades públicas han empezado a construir atajados. Por ejemplo, sólo en el municipio de Anzaldo en el departamento de Cochabamba se construyeron desde el año 2000 alrededor de 300 atajados por parte de la prefectura, la alcaldía, la Mancomunidad de Municipios de la Cuenca del Río Caine y la ONG CIPCA.

También el Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego ha encargado la ejecución de proyectos de atajados, por ejemplo en el departamento de Oruro. La construcción de atajados se fue desarrollando en las últimas décadas, usando cada vez más maquinaria pesada y agregando obras civiles complementarias como canales colectores, cámaras de sedimentación, canales de ingreso, vertederos, bebederos para el ganado, cercos perimetrales, etc. Ya en el año 1981 se elaboró un manual de construcción de atajados, partiendo de la experiencia de CoDeCha. Hasta ahora, la construcción de atajados se ha vuelto "todo una ciencia", con la publicación de más libros respecto al tema, por ejemplo CO-RACA (2001), IICCA (2002), CESAT (2003), GTZ-PGRSAP (2006) y ONG PROAGRO (2009).

Los proyectos actuales incluyen mayormente la promoción del uso eficiente del agua a través de riego tecnificado (aspersión, chorreo), capacitación para los usuarios que hasta entonces se han dedicado sólo a la agricultura a secano y medidas en el área de aporte de los atajados para captar más agua, estabilizar las laderas, frenar la erosión y darle uso adicional al terreno, por ejemplo, mediante la plantación de árboles maderables o arbustos para leña.

Entre 2002 y 2010, la GTZ ha apoyado la construcción de alrededor de 550 atajados en el norte del departamento de Potosí y el sur de Cochabamba que benefician a aproximadamente 850 familias. Actualmente se está llevando a cabo estudios para precisar los beneficios de los atajados, su relación con los costos de construcción y los criterios para determinar los lugares más indicados para un uso provechoso de los atajados.

Satoshi Ishida et al, en un papers publicado en Junio de 2010, hace referencia a la construcción de embalse subterráneos, señalando que estos embalse tienen la característica de almacenar agua en los poros del suelo. Señala que estas obras tendría ventajas con respecto a las pérdidas por evaporación, no son peligrosos en el sentido de causar desastres, como lo son los embalses superficiales. Pero la dificultad que tienen, es localizar suelos de condiciones geológicas favorables para la acumulación de agua. Otra de las dificultades es que para utilizar el agua almacenada, debe extraerse ésta mediante bombeo, lo que encarece los costos operacionales.

En Honduras, en los municipios de Texiguat y Soledad, en el departamento de El Paraíso, se han construido 14 reservorios para cosecha de agua. Fueron construidos por la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG), a través de la Dirección de Riego y Drenaje, con el objeto de retener el agua lluvia y disponer de la misma en período de sequía.

La Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG), desarrolló los proyectos de cosechas de agua, para las captación de las aguas lluvias en invierno. Cada sistema implica estudios, diseño y ejecución de las obras hidráulicas, embalses y líneas de conducción".

Cada laguna tiene un diámetro de 20 metros de ancho por 25 de largo, con una profundidad de dos metros, permitiendo una capacidad de captación de 1,000 metros cúbicos de agua para irrigar una hectárea en un período de un mes de verano. El gobierno a través de la SAG a nivel nacional tiene planificado ejecutar unas 2,500 cosechas de agua, favoreciendo a pequeños productores, con el objetivo de mitigar los efectos del cambio climático en período de sequía y contribuir al abastecimiento de granos básicos en el país. (Dirección de Riego y Drenaje, Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG), Honduras, 2014).

BIBLIOGRAFIA NACIONAL

El informe "Compendio de prácticas convencionales del uso sostenible del recurso agua y suelos en zonas áridas y semiáridas, con énfasis en la III y IV Región de Chile" elaborado por INFOR y CORFO en 2011, señala que en las zonas áridas y semiáridas de Chile el recurso agua ha sido la principal limitante para el éxito de cualquier tipo de cultivo. Esta situación se ve agravada por las extensas superficies con altas pendientes no aptas para el desarrollo de la agricultura tradicional. Dichos terrenos presentan un gran deterioro, con avanzado estado de erosión, lo cual determina zonas de alta complejidad técnica para el establecimiento de plantaciones y cultivos. Estas superficies aportan una gran "oferta hídrica" producto del agua de escorrentía resultante de las lluvias del tipo torrencial, lo cual se constituye en una ventaja si se plantea como una posible fuente hídrica para el establecimiento de plantaciones forestales con especies perennes, que contribuyan a mitigar la erosión (Péret et al, 2000).

Señala el informe de INFOR_CORFO que las instituciones que asumen los programas de construcción de obras de conservación de aguas y suelos en el país, son la Corporación Nacional Forestal, CONAF, quien ha llevado a cabo proyectos de corrección de torrentes, corrección de erosión, mitigación de desbordes de río, evacuación sin daño de caudales y torrentes indeseables. Señala el informe de CORFO, que estos trabajos lo realizan con personas que, en muchos casos, dista de ser el más idóneo para estas actividades, ya que en su mayoría no poseen experiencia en el tema y asume tareas por la oportunidad de contar con un trabajo, lo que distorsiona los rendimientos de faena y la efectividad de las obras.

El informe "Compendio de prácticas convencionales del uso sostenible del recurso agua y suelos en zonas áridas y semiáridas, con énfasis en la III y IV Región de Chile", describe los tipos de obra de conservación del aguas y suelos. Señala que estas obras pueden clasificarse en dos grupos:

El primer grupo comprende aquellas obras cuya función principal es la protección del suelo de ladera, ya sea cortando la energía de la escorrentía superficial, o aumentando la infiltración de ésta en el suelo. En este grupo están las zanjas de infiltración, los canales de desviación, las terrazas, los limanes, etc.

El segundo grupo, comprende aquellas obras cuya función principal es la protección de cauces, ya sea ríos o de cárcavas, y consisten en obras transversales que cortan la energía del agua, disminuyendo su velocidad y a la vez, favorecen la retención de sedimentos, con lo que se suaviza la pendiente del cauce y se retarda el tiempo de concentración de la cuenca. Se usa generalmente para proteger de inundaciones a las obras viales y sectores urbanos y agrícolas.

El informe de CORFO, hace una descripción de las obras que han sido utilizadas en Chile. También hace una breve descripción de obras de conservación de aguas y suelos desarrolladas en el país, desde la Región de Coquimbo a la Región del Bío Bío, destacando que no todas las obras llevadas a cabo en este amplio territorio están incorporadas en esta reseña.

En la Región de Coquimbo, provincia de Limarí, se han desarrollado obras de conservación de aguas y suelos en la localidad El Sauce, de la Comunidad Agrícola Jiménez y Tapia, de la Comuna de Combarbalá; el sector de La Muñozana, de la Comunidad Agrícola de Monte Patria, Comuna de Monte Patria; en la cuesta de Cavilolén, de la Comunidad Campesina Las Cañas de Choapa, de la Comuna de Illapel; en el cerro Pajaritos, en Cuz Cuz, de la Comunidad de Cuz Cuz, Comuna de Illapel.

Para cada una de estas experiencias, entrega los resultados obtenidos con estas obras, ya sea desde el punto de vista técnico como social. Desde el punto de vista técnico, en general indica que estas obras han servido para validar técnicas de conservación de agua y suelos, recuperar praderas y disminuir los efectos erosivos y difundir las diferentes técnicas de recuperación de suelos degradados con un enfoque de microcuencas, basados en un sistema productivo pastoril. Desde el punto de vista de captación o cosecha de aguas lluvias, se indica que de acuerdo por lo manifestado por los pobladores de los sectores, se ha advertido que las napas de sus pozos ha perdurado más tiempo, en comparación con otros años. Por lo que se desprende del informe de CORFO, al desarrollar en la Región de Coquimbo las obras de conservación de aguas y suelos, no se ha tenido como objetivo captar o cosechar aguas lluvias.

En el país, se han desarrollado otras técnicas de cosecha de aguas lluvias. Que comprende la cosecha de aguas lluvias colectada en los techos de las casas.

En estos sistemas el agua es colectada de techos y calles empedradas y un sofisticado sistema de filtros aseguraba agua limpia. Sin embargo las cisternas municipales bajo tierra en Estambul son probablemente los únicos ejemplos de cosecha de aguas lluvia urbana centralizada de su tipo. Hay dos importante razones que no han permitido su uso más extenso. Primeramente, la construcción de cisternas bajo tierra es considerablemente más costosa que la construcción de represas o diques. Segundo hay un peligro de polución accidental por medio de excreta humana en áreas urbanas densas y por tanto riesgo de epidemias.

La técnica desapareció con el incremento de la urbanización. Se puede asumir que la técnica siempre ha estado disponible, pero la necesidad de abastecer gran cantidad de agua para industria, alto standard de higiene del agua solo se alcanzó a través de tratamiento y abastecimiento centralizado.

En el país, se han desarrollado en forma experimental en varias regiones la cosecha de aguas lluvias desde los techos de las casas.

En la Región de Coquimbo, tenemos una experiencia en la localidad de Agua Fría, de la Comuna de Canela, trabajo realizado en 2014 por la "Red Comunal de por la Defensa del Agua de Canela" con recursos del Fondo de Protección Ambiental (FPA) del Ministerio del Medio Ambiente, un fondo concursable que financia proyectos comunitarios orientados al desarrollo sustentable.

La acción piloto consiste en la instalación de canaletas en las techumbres conectadas a un estanque de 3.400 litros que acumulan las gotas de lluvia, destinando su uso para conservación de la agricultura familiar campesina existente en esta zona rural semiárida de la provincia del Choapa.

Además, el proyecto incluyó la creación de un programa de educación ambiental que incluyó huertas, cuya tierra fue nutrida con un sistema de compostaje y lombricultura a base de residuos orgánicos reciclados. Junto a esto, se forestó el suelo con especies nativas. Todo, ha podido ser regado con el agua lluvia cosechada y se ha podido materializar en talleres prácticos de capacitación abiertos a la comunidad.

Marcelo Lorcás, geógrafo y asesor técnico del proyecto, indica que entre los meses de mayo y agosto, tras los días de lluvia o de rocío se logró captar en los 3 lugares de almacenamiento más de 28 mil litros de agua en total, cifra importante considerando que en Agua Fría la precipitación anual de 2014 no sobrepasó los 60 mm.

En la Región de O'Higgins, sector La Aguada, Comuna de Navidad, se han validado técnicas de cosecha y manejo de aguas lluvias, conservación de suelos y fortalecimiento de la participación ciudadana, con énfasis en gestión sostenible de los recursos naturales en pequeños productores del secano costero (INIA, PRODESAL, Municipio Navidad y Junta de Vecinos de Navidad. Jorge Carrasco, INIA Rayentué. 2009). Comprende la cosecha de aguas lluvias, captadas en techos habitacionales.

También a partir del año 2012, se ha impulsando la cosecha de aguas lluvias desde los techos de las casas, en la Región de Los Lagos, a través del Ministerio de Agricultura, MINAGRI. Similar propuesta se impulsa en el Maule, para la agrupación Mesa de la Mujer Rural, para 13 comunas, Licantén, Vichuquén, Hualañé, Curepto, Rauco, Sagrada Familia, Péncahue, Constitución, Empedrado, San Javier, Chanco, Pelluhue y Cauquenes. Actualmente ya son más de 120 familias que desarrollan esta técnica de cosecha de aguas lluvias, utilizando el agua en la producción de hortalizas en huertos familiares.

En la Octava Región de Chile, en las comunidades campesinas de Canchilla y El Paja, ubicadas en la comuna de Yumbel, se desarrolló una investigación de cosecha de aguas lluvias por 4 métodos, minirrepresas en cárcava, techo cisterna, Curva cisterna y vertiente cisterna.

1. Minirrepresa en cárcava: Se trata de pequeños acumuladores de aguas lluvia, contruidos utilizando la forma natural que toman las cárcavas durante su proceso erosivo. Se construyeron con un dique de madera y se impermeabilizaron en el fondo con polietileno tapándolo con tierra. Se suavizaron los taludes y se estableció una cubierta vegetal para controlar la erosión.
2. Sistema "Pozo-cisterna": Este sistema consiste en un pozo que posee un sistema que minimiza la pérdida del agua por infiltración, puesto que está recubierta por dos capas de polietileno de 0.15 mm. De espesor, y las pérdidas por evaporación puesto que posee una tapa flotante de pequeñas esferas de aislapol y una malla sombreadora que evita que el polietileno se quemee con la exposición al sol. Además el pozo está recubierto de madera en las paredes con el fin de evitar el desmoronamiento y posibles daños del plástico. Las formas de capturar el agua que se consideraron en la presente investigación son:
 - a) Conducir el agua de lluvia caída sobre los techos de las viviendas por canaletas hacia la cisterna de acumulación.
 - b) Almacenar el agua que escurre en curvas con 1% de desnivel trazadas en cerros o sectores con pendientes. El agua antes de ser almacenada pasa por un desarenador y un filtro que evita la contaminación de la cisterna con materiales sólidos.
 - c) Aprovechar el agua que aflora libremente en vertientes durante la primavera y parte del verano conduciéndola por cañerías de plástico hacia el pozo-cisterna.

Estas cuatro métodos fueron evaluados obteniéndose los siguientes resultados:

Las minirrepresas en cárcavas fueron capaces de acumular volúmenes de agua que fluctuaron entre 88 y 300 m³. con un promedio de 150 m³. Por ser muy extensa el área de exposición al sol (120 m². En promedio) los volúmenes de agua medidos cada 7 días durante cinco meses, mostraron que a medida que la radiación solar y la temperatura ambiental aumentan, la pérdida de agua por evaporación se agrava, sin embargo, el agua se mantiene hasta 90 días después de la última lluvia significativa. A pesar de ello, la humedad del sector bajo el dique se mantuvo 20 días más, permitiendo llegar a la madurez de cosecha a las hortalizas cultivadas.

En el caso de los pozos-cisternas las pérdidas por evaporación e infiltración fueron insignificantes y el agua se agotó exclusivamente por el riego. Con 6 cisternas (45.6 m³. en total) fue posible regar 32 árboles frutales de 1 año y 400 lechugas durante diciembre, enero y febrero. Agustín Infante L. CET. Chile.

La mayor cantidad de experiencias de cosecha de aguas lluvias, esta en la aplicación de técnicas de recolección del agua proveniente de la lluvia a través de los techos de las casas, para posteriormente almacenarlas en estanques y utilizarlas para la bebida humana, para lo cual se potabiliza o para el desarrollo de huertos caseros, para la producción de hortalizas principalmente

En el presente estudio se tiene considerado el diseño de embalses subterráneos. Normalmente, a nivel mundial, el concepto de embalses subterráneos se da a los acuíferos subterráneos naturales y la captación de aguas lluvias, es utilizada para recargar acuíferos naturales.

El ingeniero Christian Fernando Romero Figueroa, realiza su memoria de título en 2009, sobre Análisis de Embalse Subterráneo: Aplicación en acuífero subyacente al río Elqui. Para lo cual utiliza como base el modelo de simulación hidrogeológico de la Dirección General de Aguas para el acuífero del valle del río Elqui implementado en Visual Modflow 5 de 10 escenarios de operación que se consideran que provienen de un estudio previo donde se utilizó el modelo MAGIC, un modelo hidrológico de balance, de simulación integrada superficial y subterránea a nivel mensual. El estudio hace un balance del agua extraída del acuífero versus su recarga, concluyendo, que la recuperación del acuífero sería factible si se disminuyen las extracciones de agua.

En Chile, no existen experiencias sobre construcción de embalses subterráneos, solo se ha estado promoviendo la recarga de acuíferos naturales. Casualmente, por la suspensión de la construcción del Embalse Pachica, ubicado en la Quebrada de Tarapacá, podemos señalar que en nuestro país se tiene una experiencia de un embalse subterráneo artificial. En el año 1935, se inició la construcción del Embalse Pachica en la Quebrada de Tarapacá, pero por problemas de la lejanía de éste y su difícil acceso, la obra sufrió atrasos e importantes dificultades, lo que motivó el abandono de la obra. En su proceso constructivo, se alcanzó a construir la fundación de la cortina de hormigón armado. La construcción se paraliza en 1938, quedando en terreno construida solo la fundación de la cortina, empotrada en el estrato impermeable. Esta cortina, impidió el escurrimiento subterráneo del agua, generando de esta forma un embalse subterráneo artificial. El agua afloró a la superficie del suelo y ante peticiones de los habitantes de la localidad, el Departamento de Riego, de aquel entonces, construye una captación al pie de la fundación de la cortina, instalando una tubería y construyendo posteriormente un canal en hormigón, que permite usar para el riego de la localidad un caudal de 300 l/s. Es importante destacar, que este embalse subterráneo, es alimentado permanentemente con recursos hídricos provenientes de la cordillera.

La Comisión Nacional de Riego, en el año 2011, don Felipe Martin Cuadrado, en aquel entonces, Asesor de la Comisión Nacional de Riego, propone el desarrollo de estudios básicos de modelos hidrogeológicos que permitan desarrollar embalses subterráneos en las localidades de Ligua/Petorca, Copiapó y Marchihue, para lo cual propone construir obras de infiltración artificial para recargas de acuíferos y el desarrollo de un modelo para manejo de recursos hídricos para infiltrar agua en invierno y extraerla en verano.

METODOLOGÍA DE SELECCIÓN DE MICROCUENCAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE SITIOS DE COSECHA DE AGUA LLUVIA

Introducción.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han sido ampliamente usados en la selección de los mejores sitios para la cosecha de agua (Al-Adamat, 2008). La utilización de estos sistemas supone un ahorro considerable en el tiempo y dinero necesarios para explorar extensas áreas con dicho objetivo, especialmente en zonas áridas o semi-áridas (El-Awar *et al.*, 2000). Además de sitios de cosecha de agua, también se ha ocupado esta técnica en la localización de sitios adecuados de construcción de embalses de aguas subterráneas por los mismos motivos (Ali Jamali *et al.*, 2013). La interacción de los SIG con la teledetección de igual manera ha demostrado ser efectiva para motivos de selección, dada a la compatibilidad que existen entre estos sistemas y especialmente cuando se realizan análisis de criterios múltiples (Kallali *et al.*, 2007).

Dicho esto, es necesario establecer qué se entiende por embalse de aguas subterráneas, su clasificación y qué factores influyen en su selección. Un embalse de aguas subterráneas es una instalación que pretende aprovechar el agua depositada en los suelos aluviales de los embalses, cauces de ríos y quebradas efímeras y lagos temporales, a través de la intercepción del flujo freático por medio de la colocación de un septo (pared o lámina) impermeable vertical y transversal al flujo (Silva *et al.*, 2000).

Los embalses de aguas subterráneas se clasifican en dos tipos principalmente: embalses sub-superficiales o subterráneos y embalses de almacenamiento en camas de arena (Figura 1). Un embalse subterráneo se caracteriza por presentar un septo subterráneo y de esta manera interceptar el flujo natural del acuífero en donde se construye la obra. Por otro lado, el embalse de almacenamiento en camas de arena presenta un septo superficial el cual es colmado con arena, lugar en el cual se acumula el agua subterránea (Hanson y Nilsson, 1986).

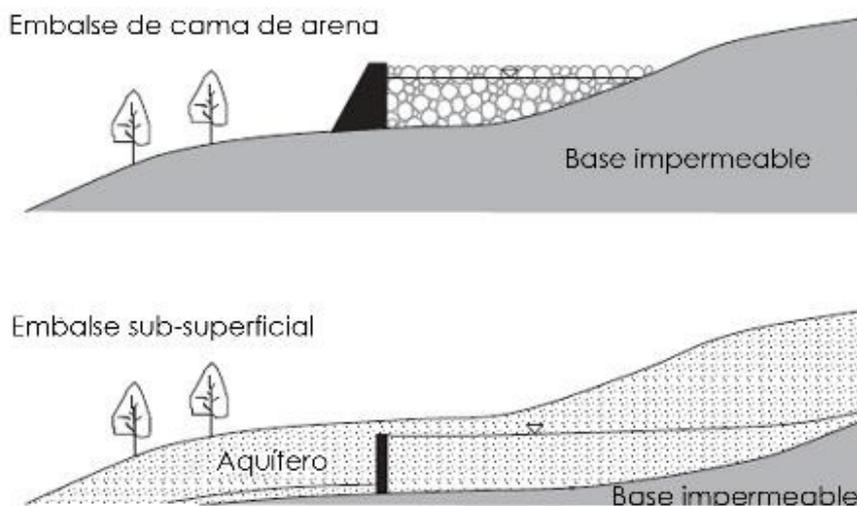


Figura 1. Esquema de embalse de almacenamiento en cama de arena (arriba) y embalse subterráneo (abajo). **Fuente:** Ishida *et al.*, 2011.

Nilsson (1988) describe tres factores físicos que gobiernan la selección de un sitio adecuado para la construcción de un embalse subterráneo. Estos factores son: clima, topografía e hidrogeología.

Desde el punto de vista del clima, este ejerce gran influencia las características del sedimento en donde se podría emplazar el embalse subterráneo debido a la meteorización química y mecánica. En zonas áridas o semiáridas, una menor tasa de meteorización química puede resultar en sedimentos de grano grueso, característica propia de los aridisoles presentes en la región de Coquimbo.

La topografía, por su parte, influye enormemente en las posibilidades técnicas de la construcción de un embalse subterráneo apuntando a maximizar las condiciones de recarga y disminuir las filtraciones. Se busca una topografía que no sea ni muy plana ni con pendientes muy abruptas. Generalmente las condiciones óptimas se logran en lechos que se encuentran en zonas de transición entre montañas y planicies. Esta última condición es difícil de lograr localmente debido a relieve montañoso del paisaje.

Con respecto a las condiciones hidrogeológicas, los embalses subterráneos están comúnmente construidos en acuíferos de lechos de río de textura arenosa o de grava. También existen otros tipos de materiales que pueden ser apropiados, como las capas aluviales o coluviales. La característica que debe cumplir el acuífero es que debe ser recargado apropiadamente durante el periodo lluvioso.

El embalse subterráneo debe contener capas impermeables o de muy baja permeabilidad que prevengan las pérdidas verticales y las filtraciones laterales. En la mayoría de los casos la roca madre servirá como un contenedor natural, en otros casos una capa compacta de arcilla bajo el acuífero contribuirá a dicho fin.

Otro aspecto a considerar es que la capa que contiene el acuífero debe tener una profundidad tal en la que sea técnicamente posible poder excavar a un costo razonable. En general, el límite pareciera estar alrededor de 4-5 m, pero, dependiendo de la escala del esquema de la obra, puede ser posible extenderse considerablemente.

Además de los factores descritos, existen otros factores de configuración del suelo que también influyen al momento de la selección del sitio apropiado para la construcción de un embalse subterráneo. La litología, estructuras geológicas, estratigrafía y el espesor de las capas del suelo también juegan un rol importante en el almacenamiento y flujo de las aguas subterráneas (Ali Jamali *et al.*, 2013).

Flujo de trabajo para la selección de microcuencas

El flujo de trabajo consta de todas las etapas y actividades necesarias para la determinación y selección de microcuencas (Figura 2). Estas etapas buscan satisfacer los factores clima y topografía descritos en la sección anterior. El factor de hidrogeología se desarrolla en terreno, por ende no está presente en los archivos de entrada de la presente metodología.

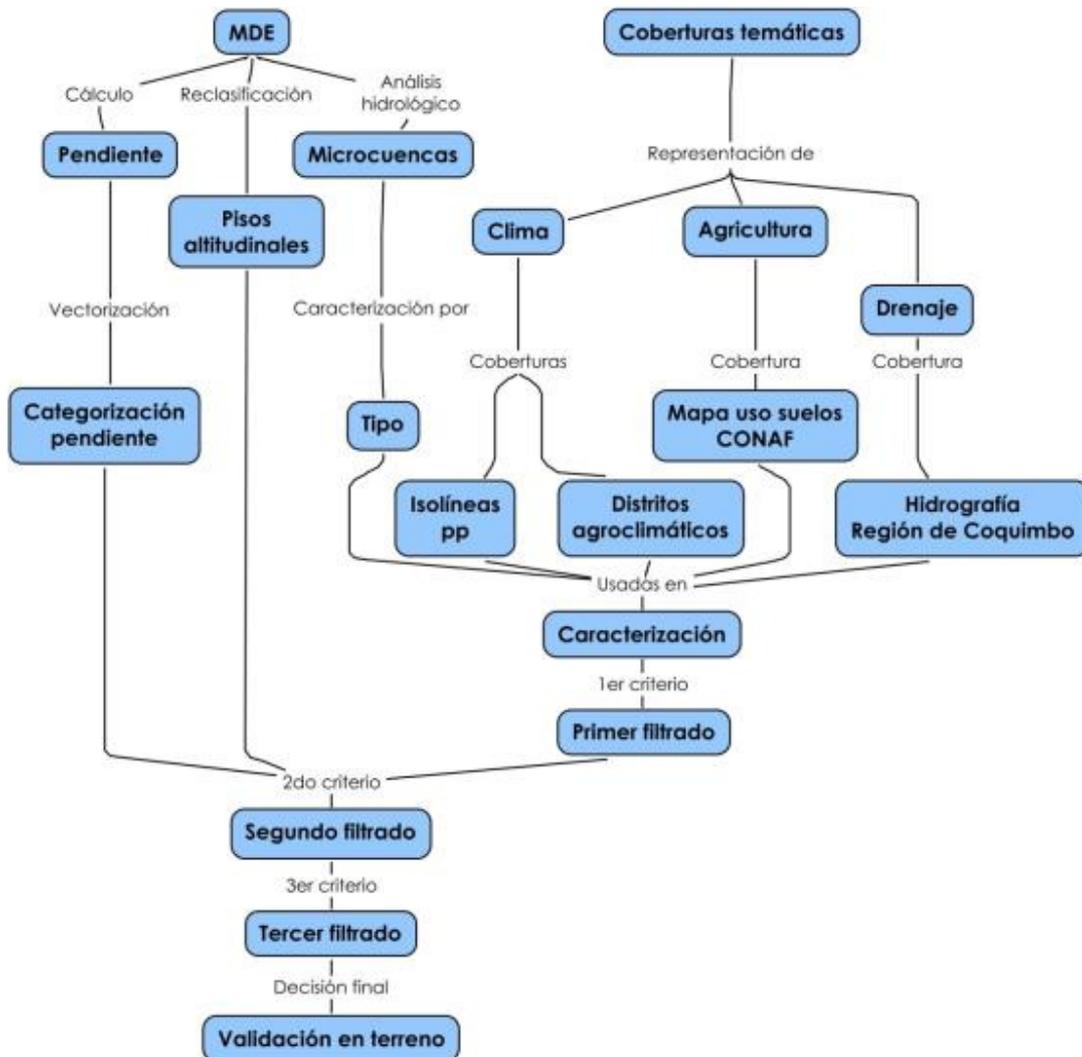


Figura 2. Flujo de trabajo de selección de microcuencas.

El flujo de trabajo se divide en tres etapas, las cuales son las siguientes:

- **Cálculo:** consiste en todos los procesos que se realizan a partir del Modelo Digital de Elevaciones para la generación de información primaria. Estos procesos son el análisis hidrológico, la determinación de pisos altitudinales y el cálculo de pendiente.
- **Caracterización:** en esta etapa se utiliza información primaria y secundaria para la caracterización de las microcuencas resultantes de la etapa anterior. La información secundaria se extrae de las diferentes coberturas generadas por organismos

estatales y/o privados, tales como Comisión Nacional de Riego, CONAF, Dirección General de Agua, entre otros.

- **Selección:** aplicación de los diferentes criterios de selección de microcuencas con el objetivo de focalizar el análisis en las cuencas que presenten las mejores características para el emplazamiento de embalses subterráneos.
- **Validación en terreno:** selección final de microcuencas en cada área de estudio. Esta decisión se fundamenta socialmente y además se consideran factores de factibilidad de la obra determinados en terreno.

Etapas 1: Cálculo.

El cálculo de los diferentes archivos de entrada que se utilizan en la caracterización de las microcuencas deriva de un Modelo Digital de Elevación, el cual representa tridimensional el territorio. Esta representación se puede obtener por medio de la triangulación de las curvas de nivel (Wise, 2000), de puntos de altitud o de la utilización de un modelo generado a partir de datos satelitales (Moore *et al.*, 1991).

Elección del Modelo Digital de Elevación (MDE).

Actualmente existen dos modelos digitales de elevación que son gratuitos, de fácil acceso, de disponibilidad global y de resolución media. Estos dos modelos son el ASTER GDEM (Advance Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) y el SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Ambos MDEs han sido ampliamente usados y comparados, destacándose el SRTM como un modelo de mayor precisión vertical por sobre el ASTER GDEM (Nikolakopoulos *et al.*, 2006; Hirt *et al.*, 2006; Rozas *et al.*, 2010; Forkuor y Maathuis, 2012).

A pesar de poseer menor precisión vertical, la utilización del ASTER GDEM por sobre el SRTM se ha fundamentado por una razón, la resolución espacial (Gomez *et al.*, 2012). Históricamente, el modelo ASTER GDEM se distribuía con una resolución espacial de 1 arco de segundo (aproximadamente 30 m), mientras que el SRTM se distribuía con una resolución de 3 arcos de segundo (aproximadamente 90 m).

A partir de noviembre del 2014, el Departamento de Geología de los Estados Unidos (USGS) empezó a distribuir el modelo SRTM con 1 arco segundo de resolución espacial por medio de su portal EarthExplorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), esto supone un gran avance para el análisis del territorio mediante Modelos Digitales de Elevación.

Dicho esto, el MDE seleccionado para la determinación de las microcuencas es el SRTM de 1 arco segundo de resolución. Modelo propiedad de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) y de la Agencia Nacional de Inteligencia-Geoespacial (NGA), cuya ejecución se realizó en conjunto con otras organizaciones internacionales de similares características.

Delimitación de microcuencas.

La delimitación de microcuencas se realiza utilizando un software de Sistema de Información Geográfica. Este puede ser ArcGIS u algún software de código abierto, como gvSIG, SAGA GIS o Quantum GIS (Chen *et al.*, 2010).

El proceso de delimitación se sub-divide en cuatro etapas, siendo estas: Relleno de depresiones, cálculo de dirección de flujo, cálculo de acumulación de flujo y delimitación de microcuencas (Dias *et al.*, 2004). Dichas etapas se describen a continuación (Figura 3):

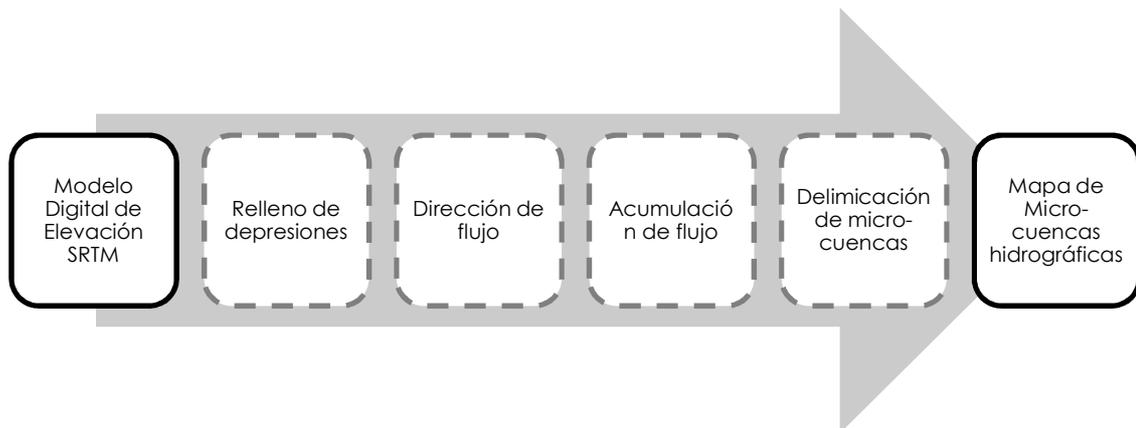


Figura 3. Principales pasos para delimitación de microcuencas desde datos SRTM.

Relleno de depresiones: Si bien, los MDE derivados de datos satelitales son muy precisos, contienen fallas derivadas de la presencia de cuerpos de agua o de topografía muy accidentada (Luedeling *et al.*, 2007). El proceso de relleno de depresiones tiene a solucionar dichas fallas.

Este proceso tiene a eliminar las depresiones de celdas que se encuentran rodeadas de otras con mayores valores de elevación, ya que en este caso el agua no puede fluir hacia las otras celdas. Esta etapa tiene a reparar este problema mediante el análisis de los valores de elevación de cada una de las celdas que le rodea y eliminando dicha distorsión en los datos (Figura 4).

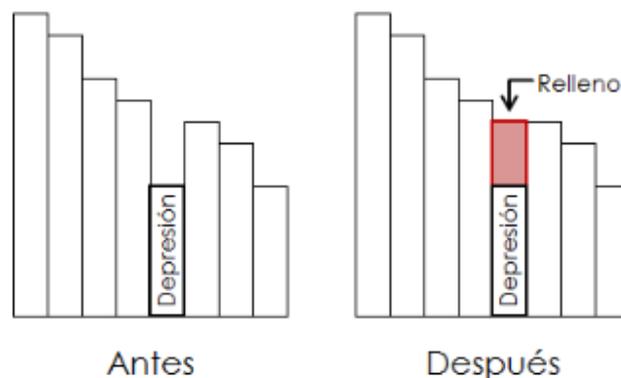


Figura 4. Esquema del antes y después del proceso de relleno de depresiones.

Cálculo de dirección de flujo: la dirección de flujo se define como las relaciones hidrológicas entre puntos diferentes de una cuenca hidrográfica. Esta relación constata la dirección que sigue el agua a lo largo de la cuenca.

La dirección de flujo de cada celda se calcula en función de la pendiente más inclinada de las celdas circunscritas a su alrededor (Figura 5). El resultado es un valor numérico indicando la dirección con la que fluye el agua. Este valor depende del software utilizado, pero por lo general varía entre 1 y 255.

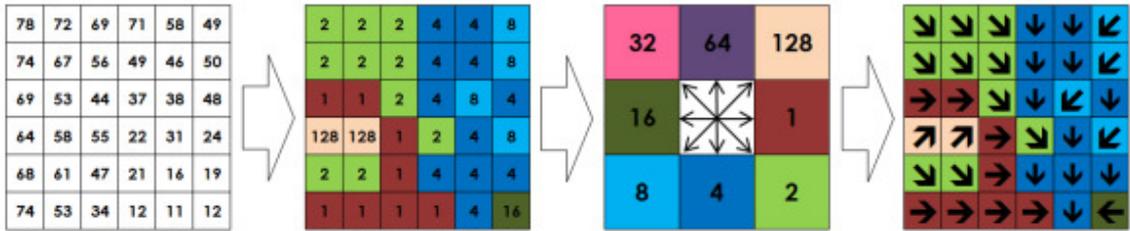


Figura 5. Ejemplo de ejecución del proceso de cálculo de dirección de flujo.

Cálculo de acumulación de flujo: Este parámetro calcula el número de celdas que fluyen hacia cada celda de pendiente descendente. El valor de cada celda en la capa resultante representa en número de celdas acumuladas aguas arriba (Figura 6).

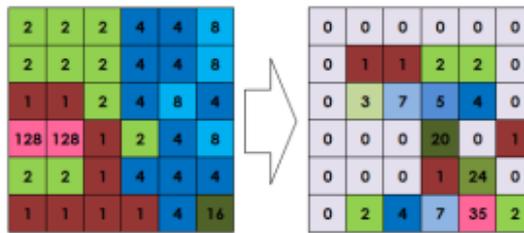


Figura 6. Ejemplo de la ejecución del proceso de cálculo de acumulación de flujo.

El valor resultante de la acumulación de flujo permite identificar el cauce de ríos, esteros, quebradas, entre otros, además de identificar lagunas y/o embalses en celdas con dirección de flujo indefinida (Figura 7).

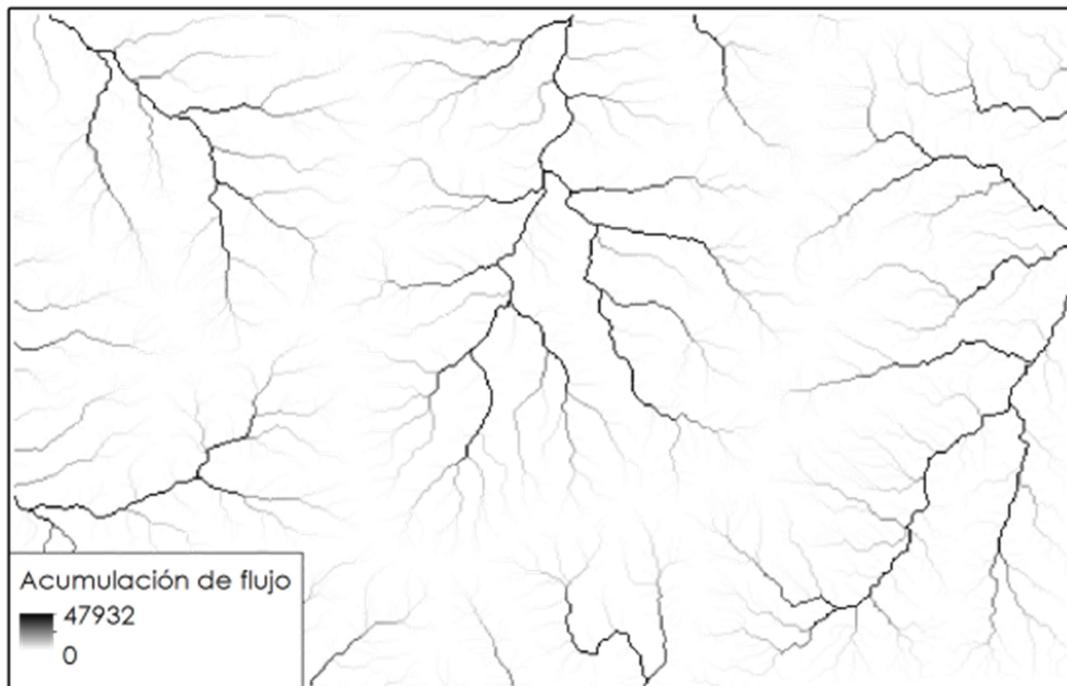


Figura 7. Ejemplo de resultado del proceso de acumulación de flujo.

Delimitación de microcuencas: Mediante la utilización de la capa de dirección de flujo, se delimitan las microcuencas identificando las crestas o líneas divisorias de aguas. En este análisis, se puede indicar el tamaño mínimo de la microcuenca resultante, esto se logra a partir de la relación resolución espacial - flujo acumulado entre el MDE y la capa de acumulación de flujo.

En el caso del modelo SRTM, la transformación de 1 arco de segundo a metros en la latitud donde se emplaza la cuarta región genera celdas de 29,206 x 29,206 m, es decir, una celda tiene una extensión de 852,99 m². Este valor se utiliza para determinar el número mínimo de celdas para conformar una microcuenca de X área.

Mapa de microcuencas hidrográficas: El Mapa de microcuencas hidrográficas se genera a partir de la unión de la capa de acumulación de flujo (red de drenaje) y de la delimitación de microcuencas. Estas capas se pueden caracterizar a partir de múltiples atributos.

El atributo básico a calcular es la extensión de la microcuenca, cuyo valor puede ser presentado en diversas unidades (m², ha, Km², etc.). Además, en conjunción al MDE se pueden establecer los parámetros de cota mínima, media y máxima para cada microcuenca. Para la red de drenaje se puede establecer el orden de drenaje (usando el método de Strahler o Shreve, por ejemplo); la cota mínima, media y máxima; la pendiente mínima, promedio y máxima; la longitud (horizontal y tridimensional), entre otros.

Cálculo de pendiente.

Existen diversos métodos para el cálculo de la pendiente, como por ejemplo el método de Horn (1981) o Zevenbergen y Thorne (1986). El método empleado dependerá en parte del

software utilizado para realizar dicho cálculo, ya que algunos software incluyen más de un método por defecto (Grohmann, 2004; García y Giménez, 2010; Chen *et al.*, 2010). Otra opción es emplear el método de cálculo a partir de algoritmos directamente sobre el archivo ráster mediante la utilización de una herramienta de cálculo o modelación.

El método más utilizado es el de Horn a través de la técnica del máximo promedio (Burrough y McDonell, 1998), la cual evalúa la pendiente de cada celda con respecto a las ocho celdas que la rodean (grilla de 3x3) e identifica la pendiente más empinada para dicha celda. La capa resultante de pendiente se expresa principalmente bajo dos unidades, grados sexagesimales (°) y porcentaje (%). La unidad recomendada para expresar la pendiente es porcentaje, debido a que al momento de establecer alguna relación altitud-longitud es más sencillo el cálculo de los parámetros asociados (Figura 8).

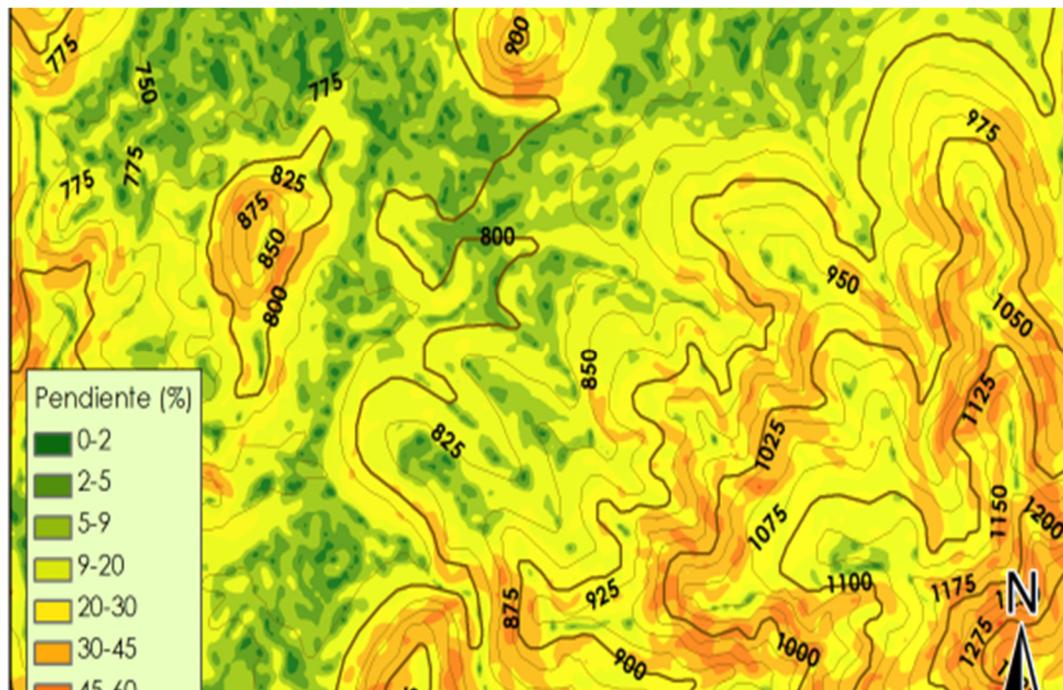


Figura 8. Ejemplo de la capa resultante de pendiente, expresada en porcentaje.

La capa de pendiente es utilizada para establecer las zonas adecuadas de establecimiento de embalses subterráneos, ya que se recomienda que dichos embalses se emplacen en áreas con pendientes inferiores a 5%, debido a que zonas con pendientes superiores se traducen en mayores costos de implementación de un proyecto de estas características (Silva *et al.*, 2000).

Otros estudios categorizan el valor de la pendiente y le asignan puntaje en función de dicho valor, posteriormente cruzan dicha información con otras capas para identificar el sitio más adecuado ya sea de embalses subterráneos, sitios de recarga y/o extracción de aguas subterráneas, entre otros (Cuadro 1, Cuadro 2 y Cuadro 3).

Cuadro 1. Puntaje asignado a cada rango de pendiente. **Fuente:** Deepika *et al.*, 2013.

Pendiente	Potencial de aguas subterráneas	Puntaje de la característica
0-10°	Muy bueno	60
10-20°	Bueno	45
20-30°	Moderado	30
>30°	Pobre	15

Cuadro 2. Clasificación del criterio de pendiente. **Fuente:** Al-Adamat *et al.*, 2010.

Pendiente	Puntaje
<3%	4
≥3% <5%	3
≥5% <10%	2
>10%	1

Cuadro 3. Valor de capacidad de la capa temática de pendiente. **Fuente:** Abdalla, 2012.

Pendiente	Grado	Categoría	Valor de capacidad
0-5°	Alta	3	0,6
5-10°	Moderada	2	0,33
10-44,04°	Baja	1	0,16

Pisos altitudinales.

De los tres procesos de cálculo, este es el más sencillo. El Modelo Digital de Elevación, el cual es un archivo de datos continuos, se reclasifica en función del rango de altitud deseado por piso creando un archivo de datos discretos, ambos de tipo ráster. Este último archivo se vectoriza (se convierte a polígono) y se caracteriza en función de cada piso creado. El resultado es una capa vectorial preparada para ser utilizada en la etapa de caracterización (Figura 9. Ejemplo de pisos altitudinales en rangos de 100m.).

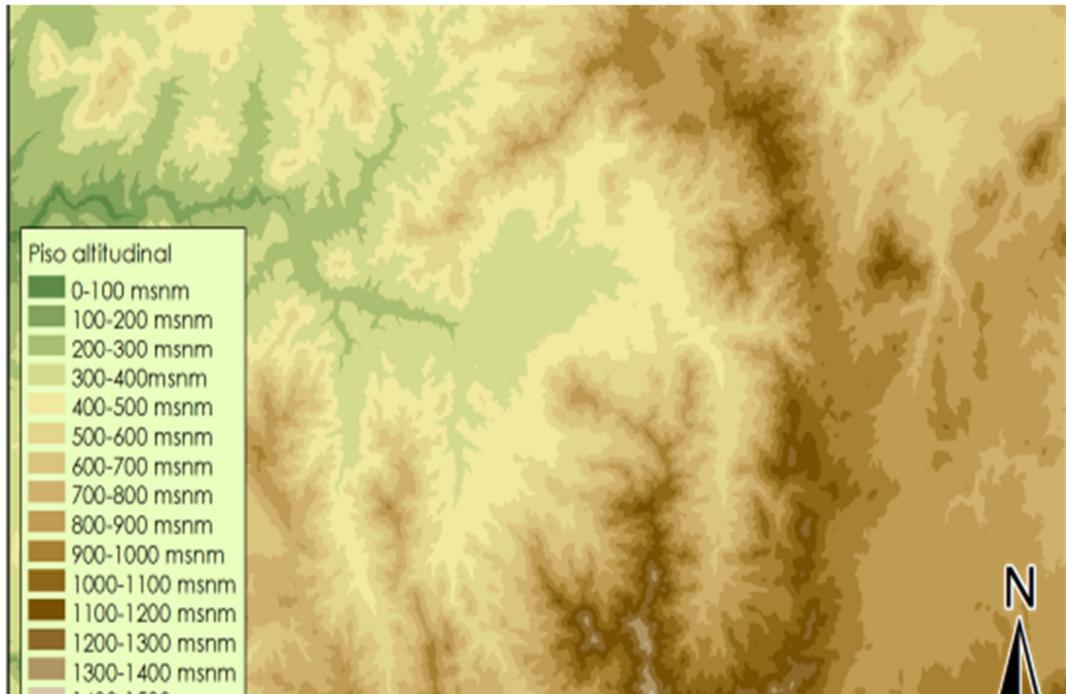


Figura 9. Ejemplo de pisos altitudinales en rangos de 100m.

Etapa 2: Caracterización.

La etapa de caracterización consiste en la intersección de las diferentes coberturas de información primaria y secundaria con la cobertura de la delimitación de microcuencas. El objetivo principal de este proceso es incorporar en cada microcuenca la información necesaria para la etapa de selección. Además de la información necesaria para la selección, cada microcuenca incorporará la información necesaria para ser sometida a cualquier otro análisis.

La caracterización abarca los siguientes campos:

- Tipo de microcuenca
- Drenaje principal
- Agricultura
- Pendiente
- Clima
- Comunidad agrícola

Tipo de microcuenca: en base al resultado de la delimitación de microcuenca, se caracteriza cada una de ellas según la posición, las cuales se definen como microcuenca de captación, intermedia y costera.

Las cuencas de captación son las iniciadoras cauce (en función del criterio asignado en el cálculo de flujo acumulado), los cuales según los diversos métodos de jerarquización de la red fluvial son de orden 1 (ya sea según la metodología Horton, Strahler, Shreve o Scheidegger, por ejemplo). Las intermedias son aquellas cuencas en las que confluyen dos o más

cauces o que se encuentran entre cuencas de captación y costeras. Por último, las cuencas costeras son aquellas que drenan sus aguas al océano. La ejemplificación de estos tipos de cuencas se puede apreciar en la Figura 10:



Figura 10. Ejemplificación de los tipos de microcuencas (Captación, Intermedia y Costera).

Drenaje principal: en esta etapa, cada cuenca se caracteriza de acuerdo al tipo de drenaje principal que abarca cada microcuenca, siendo desde mayor a menor orden: Río o estero, Quebrada, Quebrada intermitente. La fuente de esta información es la capa de hidrografía de la IV región generada por el Instituto Geográfico Militar (Figura 11).

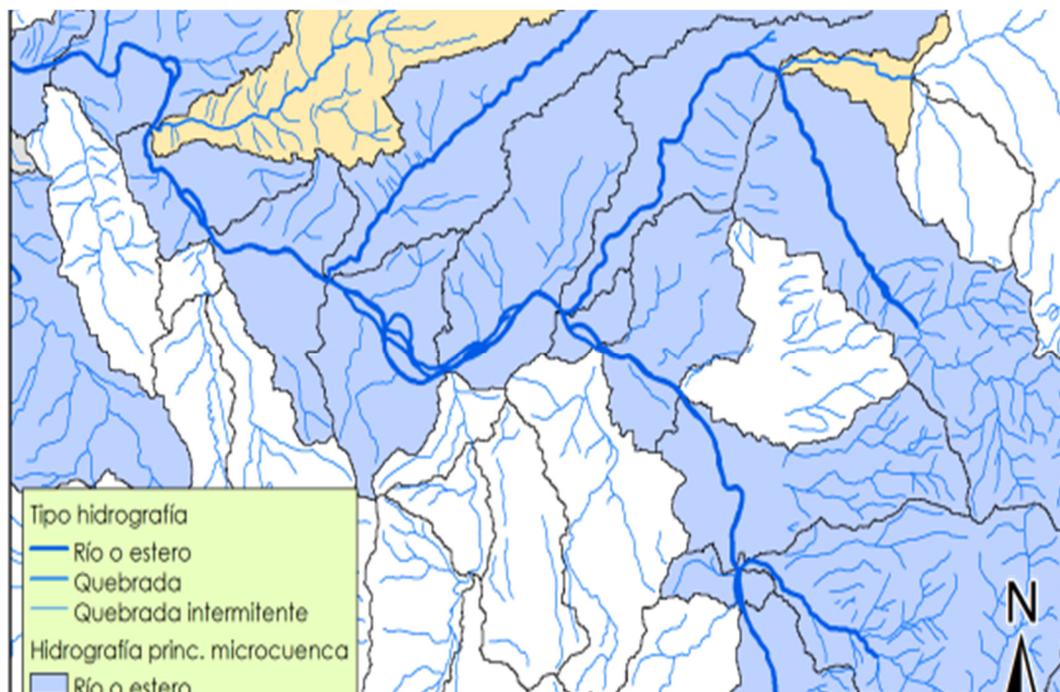


Figura 11. Ejemplificación de los tipos de drenaje principal de cada microcuenca.

Agricultura: al igual que en las caracterizaciones anteriores, la caracterización de la agricultura de una microcuenca se divide en 3 niveles: Agricultura convencional, Agricultura no convencional y No agrícola. Niveles que se detallan a continuación:

- **Agricultura convencional:** corresponde a las zonas agrícolas que satisfacen sus requerimientos hídricos mediante extracción de agua subterránea a partir de pozos o canales cuyo origen proviene de cauces permanentes u obras de regulación.
- **Agricultura no convencional:** corresponde a las zonas agrícolas cuyos requerimientos hídricos son satisfechos mediante la utilización de agua proveniente de lluvias.
- **No agrícola: zonas sin agricultura.**

La caracterización según estos parámetros se realiza con la utilización de la capa de Uso Actual de Suelo (CONAF), la red de canales (CNR) y pozos (DGA).

Pendiente: la capa resultante del cálculo de pendiente se reclasifica en función de los criterios de análisis establecidos. En este caso el criterio principal es la pendiente de 5%, aunque existen otros rangos de pendiente que pueden ser útiles a la hora de clasificar suelos por su aptitud (SUBDERE, 2013). Por ejemplo, en función de la aptitud de suelo (o capacidad de uso de suelo) existen dos criterios de pendiente, uno para suelos agrícolas (Cuadro 4) y otro para suelos no arables (Cuadro 5). Este criterio de clasificación de pendiente es de utilidad al momento de definir los rangos de reclasificación del archivo ráster de pendiente.

Cuadro 4. Parámetros para determinar las clases de capacidad de uso de los suelos. **Fuente:** SUBDERE, 2013.

Clase Capacidad de uso	Pendiente (%)	Erodabilidad	Profundidad del perfil	Peligro de inundación	Fertilidad	Drenaje	Pedregosidad (% volumen)	Salinidad
I	0-2	Nula	Muy profundo	Nulo	Muy buena	Bueno	0-5	Nula

II	2-5	Ligera	Profundo a moderado	Nulo a ocasional	Buena	Bueno a corregible	0-15	Nula a ligera
III	5-9	Moderada	Profundo a moderado	Nulo a ocasional	Buena a moderada	Moderado a imperfecto	0-15	Nula a moderada
IV	9-20	Severa	Profundo a delgado	Nulo a frecuente	Moderada a baja	Imperfecto	0-35	Nula a severa
V	Menos a 5	Baja	Moderado a delgado	Nulo a muy frecuente	Baja	Imperfecto a muy pobre	0-35	Nula a severa
VI	5-30	Severa	Profundo a delgado	Ocasional	Variable	Bueno a muy pobre	0-50	Nula a severa
VII	30-60	Muy severa	Profundo a delgado	Ocasional	Variable	Bueno a muy pobre	0-60	Nula a severa
VII	60 o más	Muy severa	Moderado a delgado	-	-	-	Elevada	Nula a severa

Cuadro 5. Rangos de pendientes para clases de capacidad de suelo en sectores no arables. **Fuente:** SUBDERE, 2013.

Clase capacidad de uso suelo	Pendiente (%)	Aptitud de uso de suelo
Clase V	< 45	Suelos con potencial ganadero forestal
Clase VI		
Clase VII		
Clase VIII	> 45	Suelos con potencial para vida silvestre

En función de la información provista, los rangos de pendientes son los siguientes (Tabla 1):

Tabla 1. Rangos de pendiente para reclasificación.

Pendiente (%)
0 - 2
2 - 5
5 - 9
9 - 20
20 - 30
30 - 45
45 - 60
60 o más

El proceso de reclasificación transforma el archivo de pendiente de datos continuos a discretos. Luego, se depura la capa reclasificada para eliminar agrupaciones de píxeles que pueden generar ruido en la capa final. Esta depuración se puede realizar por medio de múltiples comandos, como por ejemplo filtros de generalización con grillas de 3x3 o 5x5 píxeles.

La capa depurada se vectoriza (se convierte a polígonos) el archivo resultante para poder ser intersectado con la capa de microcuencas. Este proceso genera un sinnúmero de pequeños polígonos, que pueden ser agrupados para facilitar el proceso de interpretación de datos.

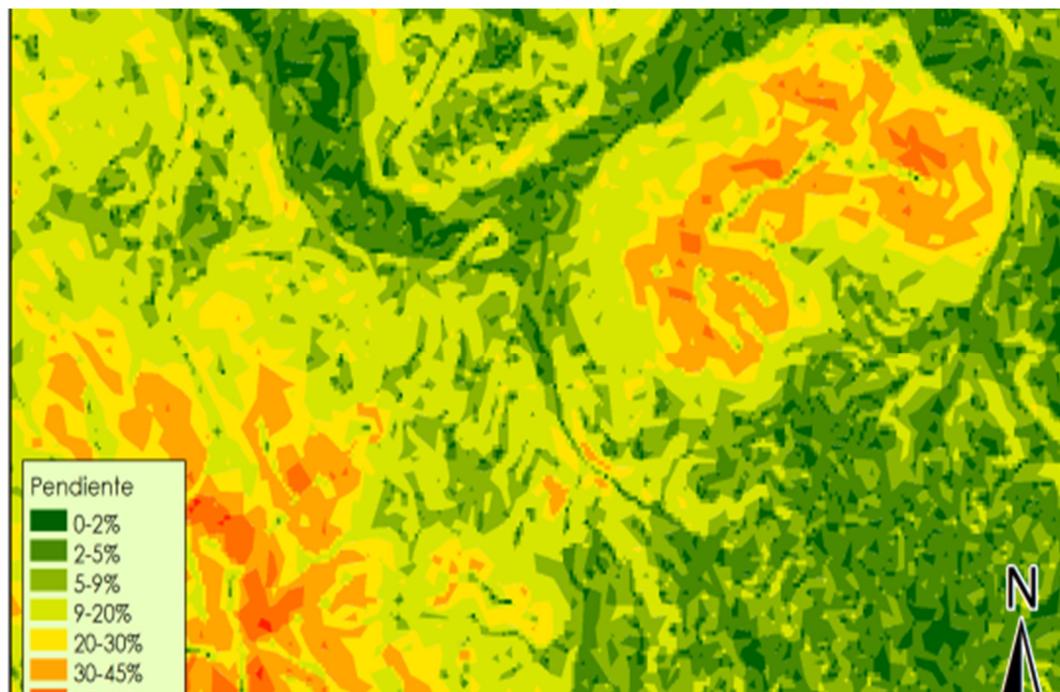


Figura 12. Ejemplificación de la capa vectorial de pendiente.

El resultado del proceso de vectorización de la capa de pendiente se cruza con el de pisos altitudinales, el objetivo es determinar la superficie con pendiente moderada por microcuenca, como un criterio de discriminación entre las diferentes microcuencas.

Clima: existen diversas coberturas para describir el clima, como las isóneas de precipitación o temperatura, zonas climáticas homogéneas, etc. La desventaja de ese tipo de coberturas es que los rangos que describen son muy generales. Por otro lado, la caracterización de cada microcuenca en función del distrito agroclimático al cual pertenece parece ser la opción más conveniente, debido a que los valores para cada uno de los parámetros están más detallados en comparación a las demás. Por ejemplo, las isóneas de precipitación están en rangos de 100 mm, mientras que en el Mapa agroclimático de Chile (CIREN, 1990) presenta datos agroclimáticos más detallados y caracterizados por estación.

Debido a que el área de la microcuenca puede encontrarse entre uno o más distritos agroclimáticos, la caracterización se realiza en base al distrito que presenta mayor área relativa posterior a la intersección de las capas.

Comunidades agrícolas: para efectos de este estudio, la pertenencia de las microcuencas a comunidades agrícolas es fundamental, ya que hacia ellas están enfocados los embalses subterráneos. La capa con la zonificación de las comunidades agrícolas de la región se utiliza para caracterizar cada microcuenca en función de la comunidad en la que ésta se encuentra emplazada (Figura 13).

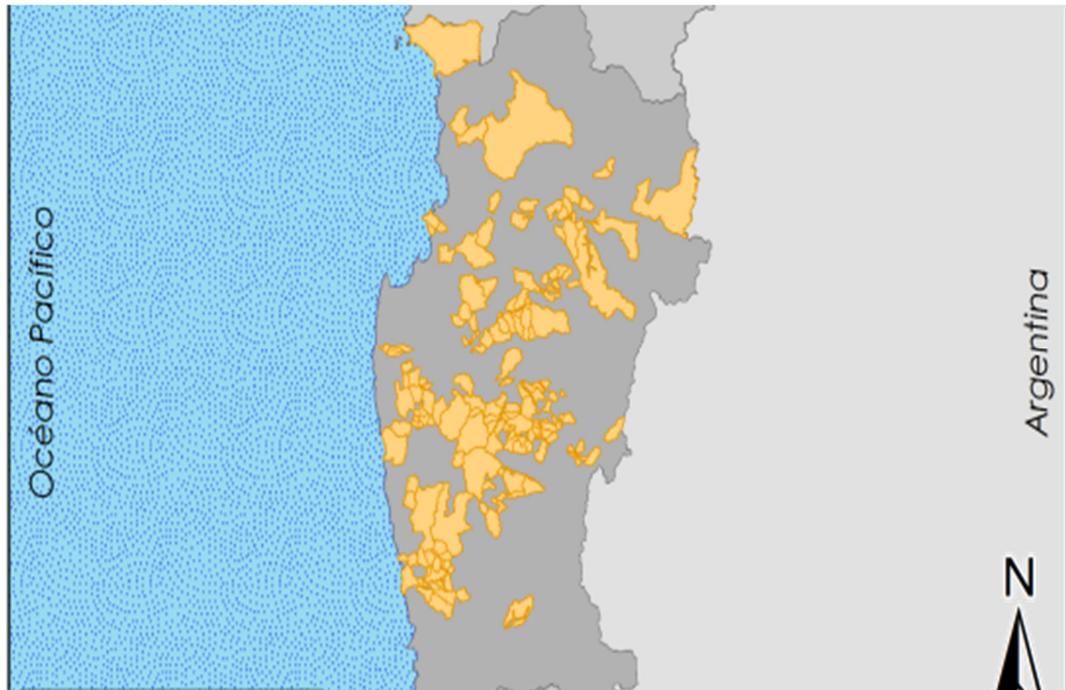


Figura 13. Esquema de las comunidades agrícolas de la Región de Coquimbo.

Tratamiento visual: debido a que la delimitación de cuencas se realiza a partir de un modelo digital de elevación de resolución media, las capas resultantes presentan un aspecto "píxeleado", es decir, muy cuadrículado. Para el modelo SRTM, este efecto es visible a diferentes escalas (1:20,000; 1:70,000; 1:100,000) debido a que el tamaño de cada pixel es aproximadamente 30m².

Existen diversas herramientas para corregir visualmente las capas resultantes, desde el suavizado de los bordes hasta la generalización de entidades geométricas. Estas herramientas se basan principalmente en regresiones paramétricas o no paramétricas (regresión Kernel), obteniéndose de la primera trazados lineales predeterminados por algoritmos; mientras que de la segunda, figuras más suavizadas y curvas (Figura 14).

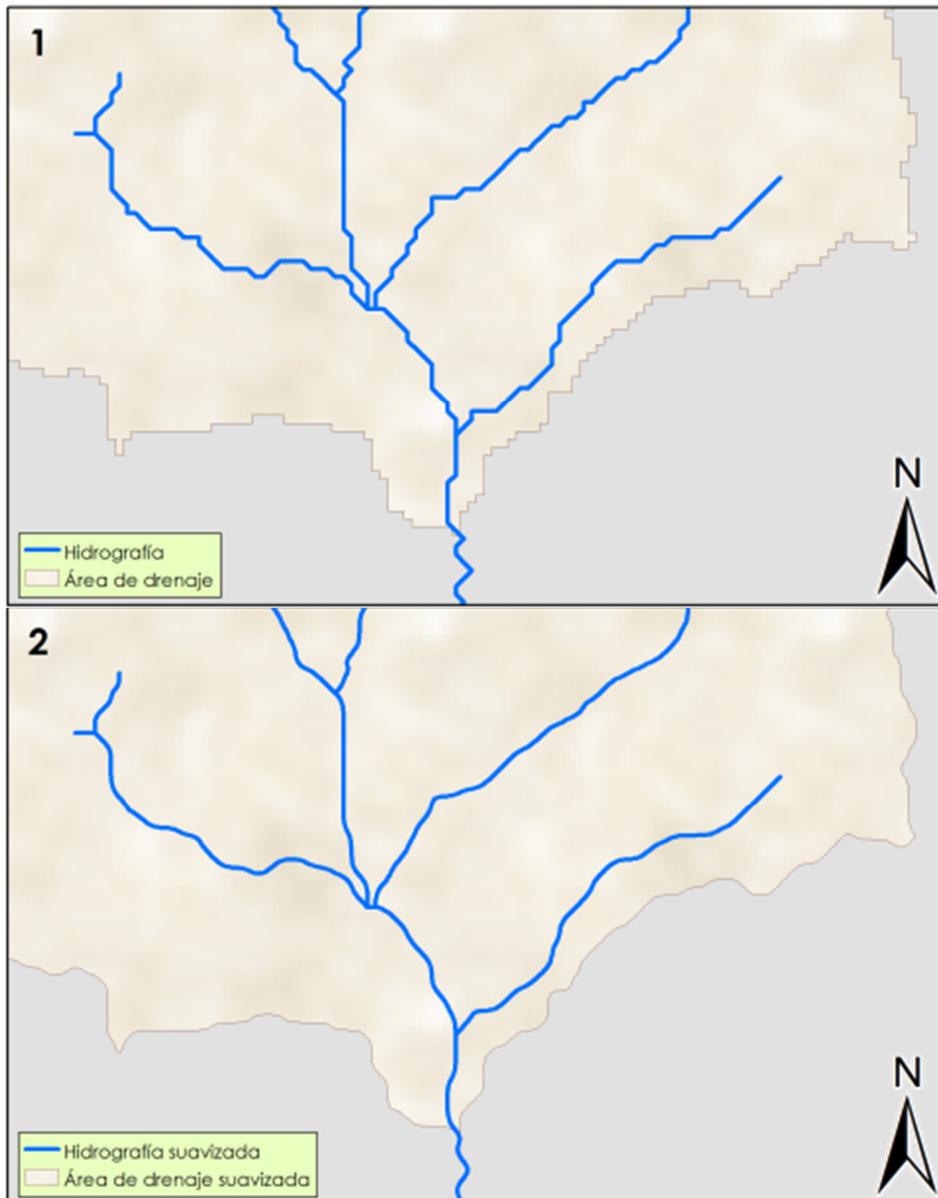


Figura 14. Polígono y línea antes del tratamiento (1) y después del tratamiento visual (2) de suavizado.

Cabe mencionar que este tipo de tratamiento visual tiene objetivos cartográficos, es decir, presentar la información de una manera más amigable y legible. El análisis de los datos derivados de la etapa de cálculo y caracterización se debe realizar sobre las capas sin tratamiento visual, debido a que los bordes y áreas varían levemente una vez aplicado este tratamiento.

Etapa 3: Selección.

La etapa de selección se realiza filtrando las microcuencas de manera dicotómica en base a los criterios definidos para este estudio. La microcuenca que cumple los requisitos del criterio establecido pasa a la siguiente etapa. Los criterios de selección derivan de la información generada a partir de la etapa de caracterización, los cuales son:

Criterio n°1 (localización)

Este criterio se basa en la localización de la microcuenca y toma en consideración tres atributos diferentes:

Tipo: La microcuenca debe ser de tipo captación, excluyendo a las cuencas intermedias y costeras. Se aplica este criterio debido a que se busca intervenir una zona de inicio de cauce.

Hidrografía: En esta etapa se descartan las microcuencas que están en un río o estero, debido a que no se pretende intervenir áreas con derechos de aprovechamiento, siendo las cuencas con quebradas o quebradas intermitentes las que continúan con el proceso de selección.

Agricultura: Este criterio descarta microcuencas que presenten agricultura convencional, se seleccionan las zonas donde hay agricultura no convencional (de secano) o zonas no agrícolas en favor del objetivo social de este estudio.

Criterio n°2 (pendiente)

Se debe analizar el área que abarca la sumatoria de las pendientes ligeras a moderadas (categorías 0-2%, 2-5% y 5-9%) en cada piso altitudinal. Para ello se debe extraer la información de superficie de la intersección de ambas coberturas.

Para establecer los parámetros de este criterio, se analizó la pendiente de microcuencas de la zona de Canela (cuya topografía es abrupta) concluyendo que aquellas microcuencas que cumplen con los requisitos básicos para ser objeto de análisis son las que presentan un mínimo de 70 ha. de pendientes ligeras a moderadas en al menos un piso altitudinal de 100 m.

Criterio n°3 (comunidades agrícolas)

Las microcuencas cuya extensión se encuentre exclusivamente bajo el área de una comunidad agrícola serán seleccionadas bajo este criterio. Se descarta por completo aquellas cuyos límites se encuentren en terrenos privados fuera de comunidades agrícolas.

Validación en terreno

Finalmente, se visitan las microcuencas seleccionadas para validar la información generada a partir de la metodología antes señalada. Para ello, se genera un set de cartografía con todas las capas utilizadas más la información detallada de cada microcuenca para realizar un recorrido en terreno e interactuar con los actores sociales de cada una de las áreas de estudio.

Criterio n°4 (autorización de las comunidades agrícolas)

La selección de las microcuencas, requiere por parte de los integrantes de la Comunidades Agrícolas involucradas su autorización para utilizar parte de sus terrenos para desarrollar el estudio de Cosecha de Aguas Lluvias y Diseño de Embalses Subterráneos. Para cumplir con este último criterio, se contactaron las personas integrantes de las directivas de estos actores sociales, de cada una de las áreas en estudio preseleccionadas, con el objeto de informarlos sobre el estudio, comunicarles que de acuerdo a una metodología computacional denominada Módulo digital de elevación, se había seleccionado una microcuenca en los terrenos de su Comunidad Agrícola, para desarrollar un estudio de Cosecha de Aguas Lluvias y el diseño de Embalses Subterráneos y solicitarles su autorización para utilizar dichos terrenos para el desarrollo del estudio.

Este último criterio de selección, de responsabilidad exclusiva de las directivas de las respectivas comunidades agrícolas, podría aprobar, modificar o eliminar la determinación obtenida mediante el Modelo Digital de Elevación.

En anexos, se presentan actas de compromisos aceptando la propuesta de desarrollar en los terrenos de cada una de las Comunidades Agrícolas seleccionadas el Estudio de Cosecha de Aguas Lluvias en Áreas de Secano y autorizar el ingreso a las microcuencas seleccionadas, para desarrollar los trabajos de terreno de topografía y sondajes eléctricos verticales.

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Áreas de estudio

Tal como se define en las bases del proyecto, las áreas de estudio son 3 y corresponden a:

- Zona del secano costero, en Provincia de Limarí.
- Zona de secano intermedio, ubicada en la Provincia de Choapa (1 área, comuna de Canela), y
- Zona de secano de Precordillera o un área de secano muy afectada por la prolongada sequía.

Conforme a lo anterior, se definieron las siguientes áreas (

Figura 15):

- Microcuencas ubicadas en el área de la Comuna de Canela de la Provincia de Choapa.
- Microcuencas ubicadas en el área del borde y secano costero de la comuna de Ovalle (delimitación proveniente de Plan de Desarrollo Comunal de Ovalle, 2013).
- Microcuencas ubicadas en el área del secano de precordillera o un área de secano muy afectada por la prolongada sequía de la provincia de Limarí. En esta selección es importante señalar que se descartó la alternativa de trabajar en un área de secano de precordillera, ya que el drenaje de todas estas microcuencas son afluentes a cauces naturales de la zona de riego de la Provincia de Limarí. El área seleccionada fue determinada excluyendo las áreas de las subcuencas con derechos de aprovechamiento permanentes de la cuenca del río Limarí. El área seleccionada limita por el norte con la subcuenca del río Limarí; por el este, con la subcuenca del río Huatulame; por el oeste con el área del borde y secano costero de la comuna de Ovalle; y por el sur, con la comuna de Canela. Esta área abarca parte de las comunas de Ovalle, Punitaqui y Combarbalá.

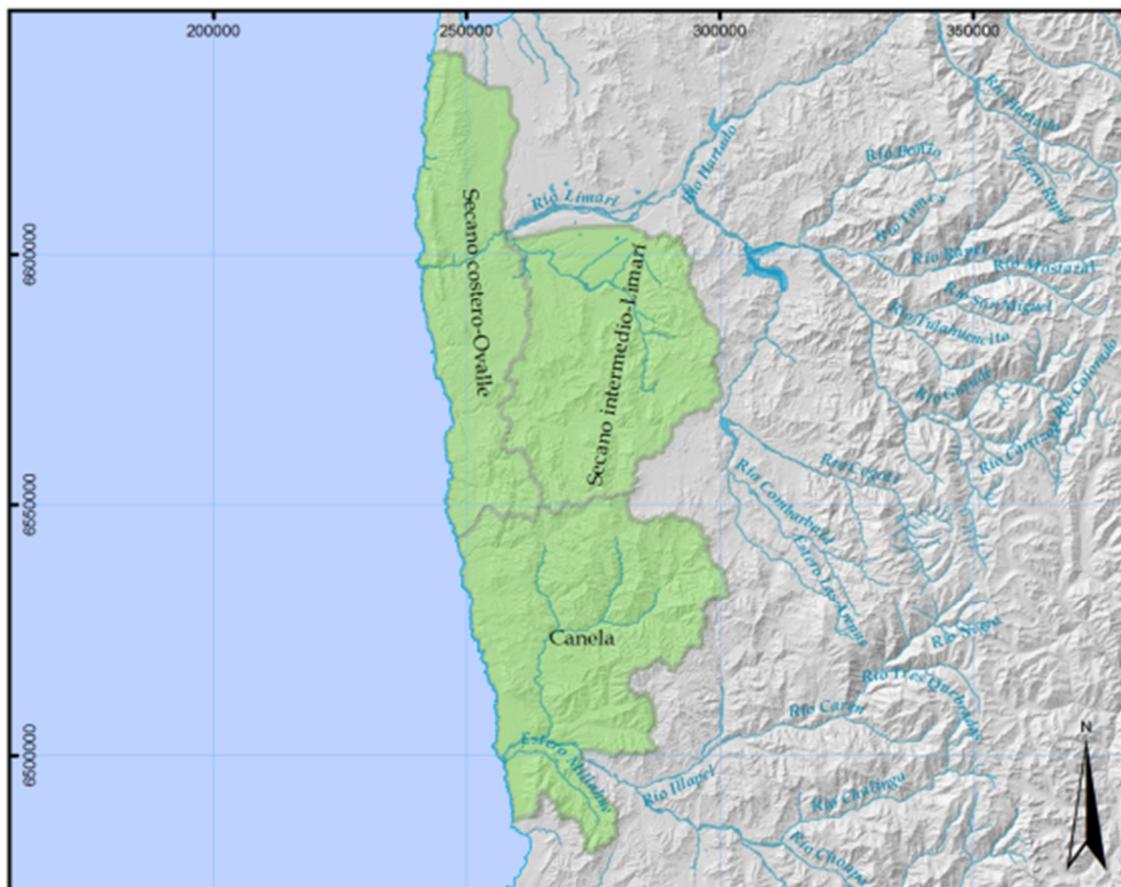


Figura 15. Áreas de estudio (para ver con mayor detalle revisar Anexos 1, 2 y 3).

Nota: El área de estudio del secano costero-Ovalle seleccionada, corresponde a la microcuenca La Isla, de la Comunidad Agrícola de Peñablanca.

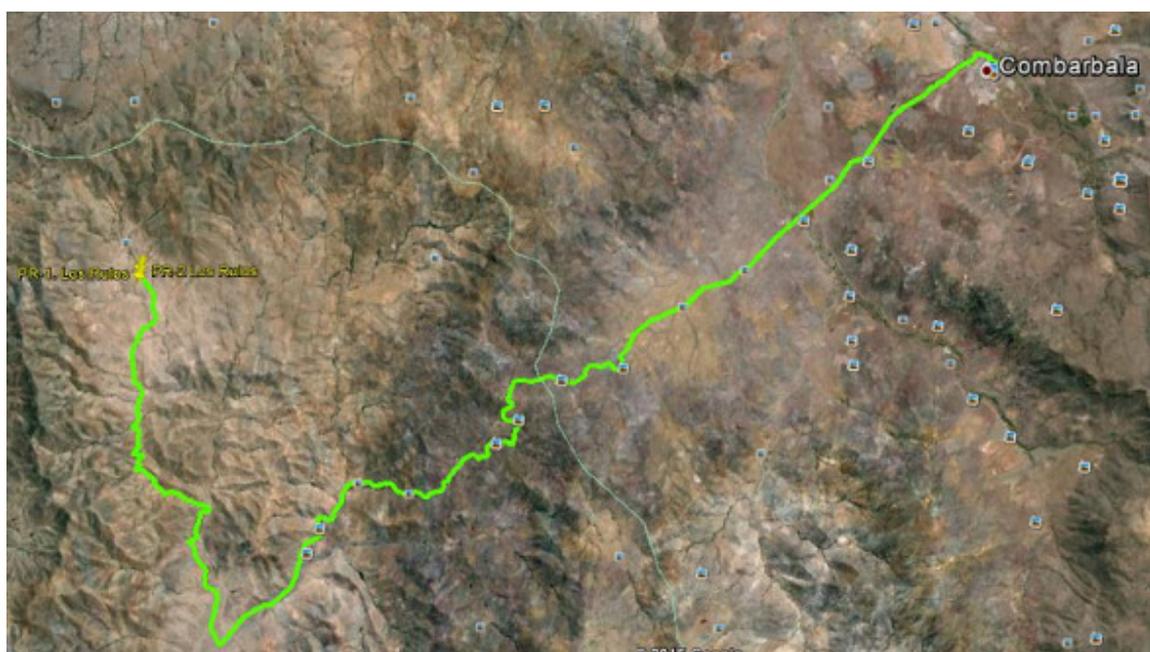
El área de estudio del secano intermedio, corresponde a la microcuenca La Moralina, de la Comunidad Agrícola de Manquehua.

El área de estudio de Canela, corresponde a la microcuenca Los Rulos, de la Comunidad Agrícola de Canela Alta.

La ubicación geográfica de cada una de las microcuencas se detalla a continuación.

CROQUIS DE UBICACIÓN DE LA MICROCUENCA LOS RULOS

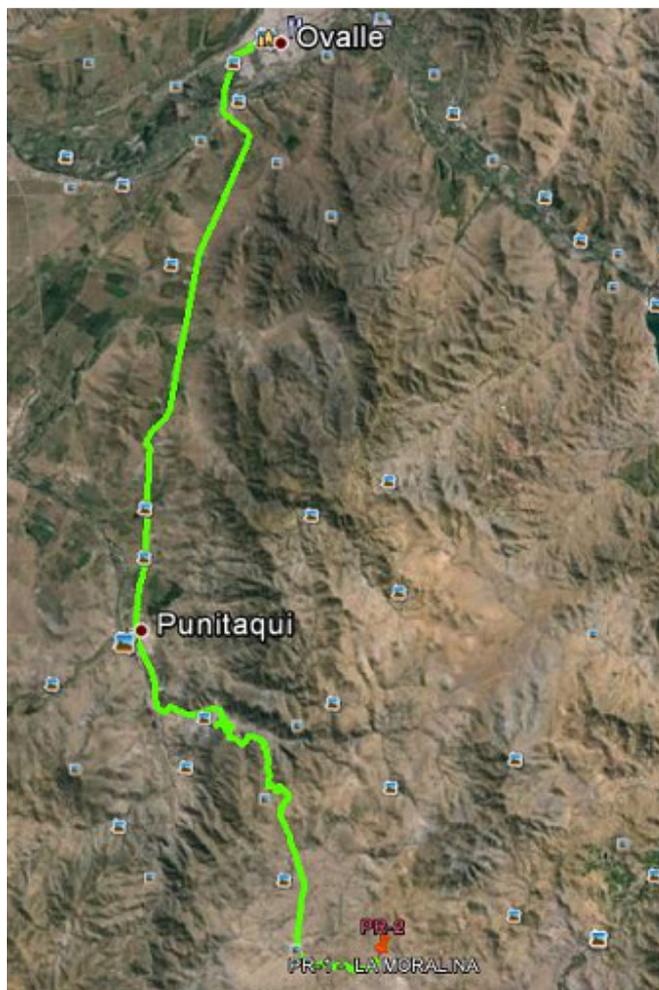
COMUNIDAD AGRÍCOLA DE CANELA ALTA



La microcuenca de Los Rulos, de la Comunidad Agrícola de Canela Alta, se ubica en las coordenadas UTM WGS 84 Norte: 6.543.168,6 m, Este: 286.394,0 m. Se ubica a 43,8 Km de la ciudad de Combarbalá y se accede a ella por las Rutas D-71 (Camino pavimentado) y la Ruta D-901 (Camino de tierra con estabilizado)

CROQUIS DE UBICACIÓN DE LA MICROCUENCA LA MORALINA

COMUNIDAD AGRÍCOLA DE MANQUEHUA



La microcuenca de La Moralina, de la Comunidad Agrícola de Manquehua, se ubica en las coordenadas UTM WGS 84 Norte: 6.573.941,8 m, Este: 294.589,0 m. Se ubica a 52,7 Km de la ciudad de Ovalle y se accede a ella por las Rutas, 45 (Camino pavimentado), la Ruta D-605 (Camino pavimentado hasta la localidad de Punitaqui para continuar en tierra con estabilizado) y la Ruta D-685 (camino de tierra)

CROQUIS DE UBICACIÓN DE LA MICROCUENCA LA ISLA
COMUNIDAD AGRÍCOLA DE PEÑABLANCA



La microcuenca de la Isla, de la Comunidad Agrícola de Peñablanca, se ubica en las coordenadas UTM WGS 84 Norte: 6.579.443,5 m, Este: 257.691,6 m. Se ubica a 64,3 Km de la ciudad de Ovalle y se accede a ella por las Rutas: 45 (Camino pavimentado), Ruta D-529 (Camino pavimentado), retomando Ruta 45, Ruta 5, Ruta D-617 (Camino de tierra con estabilizado) y un camino vecinal interno en tierra de la Comunidad de Peñablanca.

Descripción y Caracterización de las áreas de estudio

1.- Zona Secano Costero comuna de Ovalle

La comuna de Ovalle, está ubicada en el sector costero al poniente de la provincia del Limarí en la Región de Coquimbo. La superficie comunal es de 3.834,5 km², lo que representa el 9,5% de la superficie total de la región de Coquimbo (Minuta comuna Ovalle, División de Planificación y Desarrollo Regional).

Limita al norte con las comunas de Coquimbo y Andacollo, al este con río Hurtado y Monte Patria, al sur con Canela y Punitaqui y al oeste con el Océano Pacífico. La comuna está compuesta por 155 localidades rurales, distribuidas desde la precordillera a la costa. De su superficie total, el 99,7% corresponde a superficie catalogada como rural (3.824,47 km²) y solo el 0,3% es superficie urbana (10,03 km²) (PLADECO Ovalle, 2014).

El sub Territorio denominado Borde y Secano Costero, presenta un relieve significativo representado por el cordón montañoso costero de Altos de Talinay, alcanzando alturas entre 550 y 700 metros en promedio. El borde costero del área norte y del centro de la comuna se presenta con acantilados y pequeñas planicies. También está sometida a fuertes vientos provenientes del océano durante todo el año, producto de ser una costa recta sin presencia de golfos y bahías. El territorio costero de la comuna se divide al centro por la desembocadura del Río Limarí.

• Descripción sociodemográfica

Se encuentra ubicado en una extensa faja discontinua que va desde la comunidad de La Herradura, inmediatamente al sur de Coquimbo (30° 00`latitud sur), hasta la de Angostura de Gálvez (31°30`latitud sur) y desde la línea de costa hasta el interior, siguiendo las variaciones de la penetración de la influencia marina más manifiesta. La captación de las neblinas nocturnas y matinales otorga al sector una mayor disponibilidad de humedad, permitiendo algunos cultivos de secano y el desarrollo de forrajeras naturales en mayor abundancia que el interior.

La población estimada total de las comunidades que integran este sector es de 5.187 habitantes, con una densidad promedio de 8,68 habitantes/km². Existen 1.020 comuneros con derechos, pero sólo habitan allí 755 de ellos (Gallardo, 1986).

Según la descripción propuesta por el Instituto de Investigación de Recursos Naturales (IREN) en 1978, esta zona presenta una superficie de 74.937,5 hectáreas.

En la actualización realizada por SECPLAN de la comuna de Ovalle, este sector se encuentra compuesto sólo por población rural calculada aproximadamente en 1.566 habitantes según las proyecciones del censo del 2002 hacia el año 2012, distribuidos en 32 localidades rurales, de las cuales 9 son caletas pesqueras.

• Descripción Ambiental

- Clima: Se localiza en el ámbito del clima BSn, de estepa con nubosidad abundante, caracterizado por frecuentes nubosidades nocturnas y matinales originadas por la subsidencia de aire subtropical y el mar frío adyacente que provee humedad.

Las precipitaciones promedio varían desde los 100 mm, en el límite norte hasta unos 250 mm en el sur (Pichidangui – Quilimarí) concentradas en 10 a 20 lluvias entre mayo y agosto.

Prácticamente durante todo el año se registran temperaturas promedio superiores a 5°C; solo el 10% tiene temperaturas promedio inferiores a 10°C. La oscilación térmica es baja, no se producen heladas y la insolación es reducida.

- Cobertura vegetal: Esta zona presenta una vegetación predominantemente xerófila, mesófila y arbustos. La discontinuidad física de las comunidades del sector costero, hace que la composición vegetal sea variable encontrándose representada por 2 Asociaciones Fitosociológicas.
- Suelos: Se observa un neto predominio de las tierras con aptitudes ganadero – forestales y ganadería que representan alrededor del 76% de la superficie total del sector. Esto se descompone en un 10% con aptitud para ganadería permanente y el 66% restante apto para ganadería ocasional. Cabe destacar la importancia de las 7.930 hectáreas arables que alcanzan el 10,6% del total del sector y que permitirían una actividad agrícola de significación.
- Geomorfología: Las comunidades del sector costero, se localizan en dos conjuntos principales de geoformas. En primer lugar las terrazas marinas, que se extienden a lo largo de la costa de la región y, en segundo lugar, relieves y superficies de erosión continental, fundamentalmente pedimentos¹ con disección moderada y conos de deyección² torrencial inactivos, disectados por avenidas o aluviones esporádicos. Estas características otorgan al paisaje el aspecto de lomajes suaves, sin abruptos y disecados por quebradas cuyos fondos de valle participan de la terraza fluvial baja.

- **Descripción productiva**

- Agrícola: en la zona del secano costero, la escasa superficie de explotación dedicada a la agricultura representa solo el 1,6% del total y un 19,4% de la tenencia individual en que se localiza.

Los cereales, que cubren el 94,35% de la superficie dedicada a cultivos, se ubican en el secano cultivable, los restantes cultivos, en los que destaca el maíz, y el grano con un 2,74% de la superficie, se localizan en el área regada, en la que se encuentran, además, algunos pocos frutales y parras correspondientes al huerto familiar.

El principal rubro de producción es el de los cultivos anuales: contribuyen con el 93,1% al valor total de la producción agrícola de la explotación. Por otra parte, el principal destino de la producción es la venta, que concentra el 57,1% del producto agrícola, el que está compuesto en un 96,7% por los cultivos anuales y en un 3,3% por frutales y viñas.

¹ Planos inclinados que se extienden desde la base de los relieves más altos constituyendo enormes rampas.
Fuente: Geología y Dinámica y Climática – Universidad Católica de Chile. (http://www7.uc.cl/sw_educ/geografia/geomorfologia/html/6_3_4.html).

² Lugar en el que se para un alud y se acumula el material arrastrado. Se caracteriza por su forma de abanico.

- Ganadero: La explotación ganadera se concentra en la superficie correspondiente al campo común, y está representada fundamentalmente por el ganado caprino.

La capacidad talajera del sector se ha calculado en 0,056 UA/há y la existencia a 1976 es de 0,069 UA/há, de lo que se deduce la existencia de una sobrecarga animal de alrededor de 939 UA (18%) lo que rompe las condiciones de equilibrio entre consumo y producción de forrajes en el sector. Los ganados bovinos y ovinos adquieren cierta importancia y están representados cada uno con un 13,8% de la existencia actual.

La mayor humedad ambiente y la menor evapotranspiración propia del clima marítimo, otorgan al sector amplias posibilidades de mejorar su capacidad talajera a través de empastadas artificiales; mejoramiento de los pastos naturales y un manejo más adecuado de la masa ganadera.

El rubro caprino es el más importante y aporta el 72,52% del valor total de la producción pecuaria. El principal destino de la producción caprina es la venta que representa el 47,39% del total del producto pecuario. En este caso en las ventas de ganado que son el 9,9%, se incluye sólo ganado en pie, mientras en productos, cuyas ventas son el 90,1%, se incluye carne, queso, cuero, leche y charqui.

- **Comunidades agrícolas**

La Provincia del Limarí concentra el 69,9% de las comunidades agrícolas de la región, con un número de 116 comunidades. En la comuna de Ovalle, existen 30 comunidades que representan el 19,9% del total provincial y el 19,8% del total regional (Gallardo, 1986).

En relación al uso de superficie, las 166 comunidades de la región abarcan el 24,8% de esta superficie (1.005.480,71 ha), en donde la provincia del Limarí representa el 42,6%. Del total de la superficie de la provincia del Limarí, el 31,8% corresponde a superficie asignada a comunidades agrícolas (427.849,21 há). A nivel provincial, la comuna de Ovalle ocupa el 37,3% de la superficie asignada a comunidades agrícolas. En cuanto al número de comuneros con derechos de la provincia del Limarí, la comuna de Ovalle posee 1.751 comuneros con derechos que representan el 13,8% del total comunal (Gallardo, 1986).

2.- Zona Secano Intermedio comuna de Canela

La comuna de Canela, tiene como capital comunal la ciudad de Canela Baja y se ubica en la cuenca del río Choapa. Administrativamente pertenece a la IV Región de Coquimbo y se extiende entre la latitud 31°30' y 31°40' sur, y longitud 71°15' y 71°35' oeste. Sus límites geográficos son: al norte con las comunas de Punitaqui y Ovalle; al sur con las comunas de Illapel y Los Vilos; al este con la comuna de Combarbalá; y al oeste con el Océano Pacífico. La superficie comunal es de 2.213 Km² de los cuales 2.212,56 km² son rurales y 0,44 km² son urbanos, con un 81,41% de población perteneciente a realidad rural, distribuida en más de 50 localidades.

El sector interior semiárido comprende 20 comunidades, las que son: Lo Muñoz, Canela Baja, Canela Alta, Canelilla, El Chiñe, Las Tazas, El Almendro, Agua fría Alta, Carquindaño, Yerba Loca, Los Tomes, El Pangue, Las Paredes, Agua Fría Baja, La Leona, La Capilla, El Potrero, Atelcura, Cabra Corral y Las Barrancas, con una superficie de 106.948 hectáreas, lo cual representa el 10,6% del total ocupado por las comunidades.

Presenta una precipitación cercana a los 200 mm, concentradas entre mayo y agosto, lo cual ofrece una cierta seguridad para cultivos de secano. Igualmente esta mayor precipitación unida al tipo de rocas que caracterizan el sector, permiten una cierta acumulación de aguas subterráneas susceptibles de utilizar.

• Descripción sociodemográfica

El 98% de la superficie comunal es rural y un 81,4% de sus habitantes se encuentran en esta condición según el Censo 2002. La población urbana se concentra en las localidades de Canela Alta, Canela Baja y Huentelauquén y alcanza los 1.744 habitantes (18, 6% de la población total). La población total para el año 2002 era de 9.379 habitantes, distribuidos de manera relativamente uniforme entre hombres y mujeres. Según las proyecciones demográficas del INE, la población actual de la comuna bordearía los 8.673 habitantes.

La población total de la comuna de Canela es de 9.143 habitantes. Esta población se distribuye de manera desigual en todo el territorio, prevaleciendo la población rural con un 80,48% por sobre la población urbana que representa un 19,59%. Del total de la población, el 43,8% son hombres y 56,2% son mujeres (INE, 2002).

• Descripción Ambiental

- Clima: este tipo climático se ubica en la parte interior de la cuenca, por sobre los 800m. Se caracteriza por ausencia de nubosidad y sequedad del aire, sus temperaturas son mayores que en la costa, las precipitaciones no son tan abundantes y los períodos de sequía son característicos.

La precipitación promedio en función del clima de influencia, son de aproximadamente entre 100 y 130 mm, pudiendo presentarse precipitaciones promedio más altas hacia la zona sur, del orden de los 150 mm. En la zona de Pichidangui – Quilimarí, las precipitaciones pueden alcanzar los 275 mm (Gallardo, 1986).

Las temperaturas en verano son altas, con máximas que superan fácilmente los 25 °C y ocasionalmente los 30 °C. En promedio, las temperaturas alcanzan 17°C en el mes de enero, mientras que para los meses de junio-julio promedia 11°C. La

oscilación térmica es de 8°C a 10°C y la variación de las temperaturas medias anuales es de 12°C a 16°C. (Armijo y Cubillos, 2008).

- Cobertura vegetal: Matorral andino esclerófico: Responde a un patrón de distribución que está determinado esencialmente por el relieve, en el cual se fijan pisos altitudinales muy estrechos, siendo importante la influencia de la exposición. Penetra profundamente en la cordillera de los andes por los cajones de los grandes ríos, con lo cual se establece un complejo mosaico de comunidades locales. Como su ubicación está próxima a las zonas del país con más alta población humana, se encuentra muy alterada tanto en su estructura como en su composición de especies. Las asociaciones más características son: Lun- Maitén (*Escallonia myrtoidea-Maytenus boaria*); Ciprés-Litrecillo (*Austrocedrus chilensis – Schinus montanus*); Franjel – Guindillo (*Kageneckia angustifolia – Valenzuela trinervis*); Duraznillo – Horizonte (*Colliguaja integerrima – Tetraglochin alatum*).
- Suelos: Los suelos de la comuna de Canela se encuentran entre los más antiguos del país, debido a lo cual la acumulación de arcillas que se observa en el perfil adquiere gran importancia, llegando a constituir duripanes que limitan la penetración de las raíces. Además de esta condición general de baja productividad natural, la topografía dominante agrega riesgos de erosión y alteraciones locales a los patrones imperantes en el orden regional (IREN, 1978).

Los suelos de la comuna en su mayoría son de clase IV; VI; VII y VIII. Solo en algunos sectores cercanos a los drenes importantes del sistema hídrico como el Río Choapa, Quebrada de Atelcura, Estero Millahue y Estero Canela, se localizan en forma muy reducida suelos con mayor capacidad de uso, que en todo caso no superan la clase III.

- Geomorfología: Esta cuenca se inserta dentro de la región geomorfológica de las planicies litorales, de las cuencas del sistema montañoso andino costero y de los valles transversales, que se extiende hasta el río Aconcagua. De Norte a Sur, la cuenca del río Choapa constituye el último de los valles transversales de la región de Coquimbo, ubicado en el extremo sur. En términos generales los rasgos geomorfológicos de esta cuenca no difieren mucho a los de las cuencas del río Elqui y Limarí, presentando una cuenca de sedimentación fluvial en su curso medio y bajo. El valle del río Choapa, es el más estrecho con respecto a los otros valles transversales existentes en la región (Cortes, 2011).

- **Descripción productiva**

- Agrícola: La agricultura que se desarrolla en la comuna es de subsistencia, limitada en gran medida por los recursos de suelos y agua. La producción de estos pequeños productores está orientada básicamente a cultivos anuales. Una agricultura a escala mayor, se observa en el sector suroeste y la costa, en donde se localizan los fundos de la comuna como el fundo Huentelauquén y Puerto Oscuro. Según el censo agropecuario 1996/97, los cultivos anuales y permanentes representan una superficie de 1.115,3 há., las praderas sembradas permanentes y de rotación representan una superficie de 13.259,2 há., y los suelos en barbecho y descanso alcanzan a una superficie de 3.901,3 há., lo que sumado representa una superficie total de 18.275,8 há., de suelos de cultivo lo que a nivel comunal corresponde al 8,4 % de la superficie total. Esta distribución y condición presenta el carácter marginal que presenta la agricultura en la zona.

- Ganadero: En general, la producción ganadera es destinada al autoconsumo y a la venta o intercambio con los intermediarios que se desarrolla al interior de las localidades a mínimos precios o mediante trueques.

El número de cabezas de ganado total en la comuna de Canela asciende a 50.223 cabezas de las cuales 36.600 corresponden a Caprinos; 6.948 a Ovinos; 2.219 a Caballares; 2.060 a Asnales; 1.749 a Bovinos; 531 a Mulares; 98 a Porcinos y 18 a Alpacas. Con relación a la masa caprina se puede señalar que la comuna concentra un 12% de la masa caprina a nivel regional, ubicándose luego de Monte Patria (14%) e Illapel (13%).

- **Comunidades agrícolas**

En la comuna de Canela existen 25 comunidades agrícolas que se distribuyen dentro de las 9 cabeceras territoriales definidas por la distribución de la comuna. La zona presenta un total de 124.38, 5 hectáreas con un total de comuneros de 3.136.

Cabe destacar que el gran tamaño de las comunidades no tiene ninguna relación con el hecho de que los comuneros obtengan mayores producciones o que estén en definitiva en una posición diferente a los comuneros que controlan menos hectáreas. El problema esencial está en la calidad del recurso que controlan. Las comunidades de Canela Alta y Canela Baja tienen suelos de muy baja calidad en cambio, las comunidades como Mincha Norte y Sur y Atelcura con tamaño medio, controlan suelos de mejor calidad y se encuentran emplazadas en áreas susceptibles de riego (Armijo y Cubillos, 2008).

3.- Zona Secano precordillera comuna de Combarbalá

La comuna se encuentra ubicada en la parte sur oriental de la Provincia del Limarí, en las coordenadas 31°11" de latitud y los 71°02" de longitud, a una altitud de 904 m.s.n.m. La comuna se inserta en el interfluvio de los ríos Limarí por el norte y Choapa por el sur. Cuenta con una superficie de 2.257,5 km² y una población de 13.483 habitantes, con una densidad poblacional de 7,73 hab/km² y albergando el 2,24% de la población regional. La distribución de la población muestra que del total de habitantes, el 39,26% se concentra en el sector urbano, mientras que el 60,74% lo hace en el sector rural (Censo 2002).

- **Descripción sociodemográfica**

La comuna de Combarbalá según datos del Censo 2002, presenta una población de 13.483 habitantes, de las cuales 6.695 hab. son hombres y 6.788 mujeres, lo que arroja un índice de masculinidad relativamente equilibrado de 98,63. Del total de la población comunal, el 40,7% habitan en sectores urbanos, correspondiendo a los distritos de Ciudad Oriente y Ciudad Poniente (ciudad de Combarbalá), de los cuales el 51,7% son mujeres y el 48,3% hombres., aun cuando la presencia total de la mujer en la comuna representa el 50% (PLADECO, 2009).

De acuerdo a cifras comunales preliminares del censo 2012, la Comuna de Combarbalá cambió su patrón de crecimiento y tendencias, presentado una variación positiva, contrario a lo que señalaban las proyecciones³.

Al comparar la distribución de la población de acuerdo a los distritos, esta se concentra principalmente en Ciudad Poniente (28,8%) y Ciudad Oriente (18,4%), correspondiente a Combarbalá y alrededores con un 47,2%; seguido por Cogotí (12,8%) y Quilitapia (7,0%), siendo los distritos con menores poblaciones son Ramadilla (0,1%); Valle Hermoso (1,6%) y Soruco, El Maitén y Litipampa con 1,8%, respectivamente (PLADECO, 2009).

- **Descripción Ambiental**

- **Clima:** Por su gran extensión el sector participa de distintas tipologías climáticas. Pero, la mayor parte está bajo la influencia del clima BSLW, de templado marginal caracterizado por precipitaciones entre 100 mm (límite norte al N. del río Elqui) y 200 mm (límite Sur estero Llano Largo), concentradas en un 80 – 90% entre los meses de mayo y agosto; y, por temperaturas medias anuales entre 12° a 16°C.

Tanto el margen norte como el sur, corresponden aproximadamente a las isoyetas de 100 y 200 mm de precipitación anual promedio. Hacia la costa delimita con la estepa con nubosidad abundante y hacia la cordillera con el clima de estepa fría de montaña (BsK'G). La concentración de las precipitaciones varía entre un 80 y 90% del total, entre los meses de mayo a agosto, siendo la disponibilidad de agua, insuficiente para la mayoría de los cultivos.

La temperatura del mes más cálido varía entre 29 y 30°C. No se presentan períodos de receso vegetativo debido a la lejanía con el litoral. La temperatura del mes más frío varía entre 3 y 4°C.

³ Departamento de Planificación Territorial – División de Planificación y Desarrollo Territorial – Gobierno Regional de Coquimbo 2014.

Dada los parámetros agroclimáticos del valle, puede concluirse que presenta buenas condiciones para una amplia variedad de frutales, tanto de hojas caeducas (vid, duraznos, nogal, damascos) y como de hoja persistente (cítricos, nísperos y algunas variedades de palto) (CNR, 2003).

- Cobertura vegetal: En la comuna de Combarbalá predomina una vegetación de estepa y xeromórfica adaptada a la sequedad. El desarrollo vegetal está determinado principalmente por los aportes de las precipitaciones invernales, las que son escasas y altamente variables en el tiempo. Así, la vegetación esclerófila, de fisonomía arbórea y arbustiva, presenta adaptaciones morfológicas como hojas duras y de aspecto coriáceo, lo que le otorga gran resistencia durante los períodos secos.
- Suelos: En la zona de la comuna de Combarbalá se presentan en su mayoría suelo de clasificación VI, VII y VIII, que son suelos que en su mayoría son apropiados para explotaciones de tipo forestal y presentan limitaciones que no pueden ser utilizadas para fines agropecuarios, asociado principalmente al riesgo de erosión y su condición de drenaje. Estos suelos en la comuna representan el 67,6%.
- Geomorfología: Las comunidades agrícolas del sector cordillerano se ubican en las áreas de relieves algo abruptos participando de fondos de valle de algunos ríos de importancia, por ejemplo, Hurtado, Grande, Rapel y Cogotí.

Esta participación de fondos de valle, constituidos por la terraza fluvial baja y formas de erosión y sedimentación fluvial, invadidos parcialmente por conos de deyección de quebradas afluentes, se ven circundadas por piedemont formados por escombros de falda, conos coluviales y, posteriormente, laderas abruptas bastante erosionadas.

Existen asimismo sectores de suave ondulación, en partes altas de los relieves que encierran los valles mencionados, formados principalmente por pedimentos de disección moderada.

• Descripción productiva

La superficie dedicada a la agricultura es pequeña, correspondiendo sólo al 0,27% de la superficie total de la explotación, y al 13,38% del goce singular en el que se desarrolla.

Los cultivos anuales (cereales) son los de mayor importancia ocupando el 60,64% de la superficie, dentro de ellos, el trigo blanco es el más significativo con el 31,9% de la superficie. Entre los rubros de chacra y hortalizas, destaca el maíz para grano seco y los choclos con un 6,3% de la superficie, cada uno; y, los porotos verdes con un 2,3%.

Frutales y viñas presentan la mayor relevancia en el sector, aportan el 69,5% del producto agrícola. El principal destino de la producción es la venta que corresponde al 80,9% del total del producto. Solo el 13,5% se destina a autoconsumo.

El 78,7% de la venta total corresponde al rubro de frutales y viñas, del cual se vende el 91,58% y se autoconsume el 8,42%. De los cultivos anuales se vende el 54,07%, se autoconsume el 28,41% y se guarda principalmente como semilla el 17,52%.

Existe un marcado equilibrio entre la capacidad talajera del sector (0,038 U.A/Ha) y la masa de ganado, siendo el ganado caprino el de mayor importancia de un 55% del total. La trashumancia es de cierta importancia en el sector, calculándose en un 10% el aumento de capacidad talajera por este concepto.

La dispersión de los recursos forrajeros y de agua de bebida explican esta menor densidad relativa del ganado. El mejoramiento de la capacidad talajera debería esperarse de la implementación de especies arbustivas forrajeras. Del total del producto pecuario, los caprinos aportan el 72,03%; los bovinos el 9,78%; los ovinos el 9,94%; y las aves el 8,02%. De la producción caprina un 63,99% se vende; como ganado en pie, el 2,2% y como productos el 97,8%. El 15,41% se autoconsume como carne y como productos derivados.

De la producción ovina y de ave, la mayor parte se destina al autoconsumo. La bovina, en cambio, se vende 64,04%.

- **Comunidades agrícolas**

De las 17 comunidades agrícolas existentes en la comuna de Combarbalá, se pudo obtener información de 15, quedando con información base solo de superficie y número de habitantes las comunidades agrícolas de Castillo Mal Paso y Otros; y Los Mozos.

DISTRIBUCIÓN DE LOS COMITES DE AGUA POTABLE RURAL (APR) EN LAS COMUNAS INVOLUCRADAS EN EL ESTUDIO

En las zonas donde se desarrollarán los estudios de cosecha de aguas lluvias existen Comites de Agua Potable Rural. Se han recopilado los antecedentes geográficos de estos APR en las comunas respectivas y se ha ubicado el APR más cercano a cada una de las microcuencas en estudio.

COMITES DE AGUA POTABLE RURAL DE LA COMUNA DE OVALLE

COMUNA	LOCALIDAD	COORDENADAS UTM WGS 84	
		NORTE	ESTE
OVALLE	AGUA DE LA VIDA	6592617	256376
OVALLE	AGUA DE LA VIDA	6592735	256617
OVALLE	ALGARROBOS DE RECOLETA	6623472	298556
OVALLE	BARRAZA	6605778	261551
OVALLE	BARRAZA	6605313	262045
OVALLE	BARRAZA	6605271	262085
OVALLE	BARRAZA ALTO - SOCOS	6599303	262101
OVALLE	CAMARICO CHICO - CAMARICO VIEJO	6593685	272648
OVALLE	CAMARICO CHICO - CAMARICO VIEJO	6593727	272621
OVALLE	CAMARICO CHICO - CAMARICO VIEJO	6593685	272648
OVALLE	CARACHILLA	6605335	301141

COMUNA	LOCALIDAD	COORDENADAS UTM WGS 84	
		NORTE	ESTE
OVALLE	CERRILLOS DE TAMAYA	6614812	269387
OVALLE	CERRILLOS DE TAMAYA	6614816	269381
OVALLE	CERRILLOS DE TAMAYA	6614249	268765
OVALLE	CERRILLOS DE TAMAYA	6620714	261811
OVALLE	CHALINGA	6594987	269831
OVALLE	CHALINGA	6597985	269828
OVALLE	EL GUINDO	6607776	298542
OVALLE	EL GUINDO	6607769	298544
OVALLE	EL PORVENIR	6598855	279569
OVALLE	EL PORVENIR	6598846	279569
OVALLE	EL TRAPICHE	6609056	276946
OVALLE	EL TRAPICHE	6609492	276976
OVALLE	LA PORTADA DE SOTAQUÍ	6612892	295692
OVALLE	LA SILLETA	6610892	285740
OVALLE	LA TORRE - LAS SOSSAS	6610864	272710
OVALLE	LA UNIÓN	6608073	288022
OVALLE	LAGUNILLAS	6619233	291275
OVALLE	LAGUNILLAS	6619246	291382
OVALLE	LIMARÍ	6608229	281132
OVALLE	LIMARÍ	6608291	281135
OVALLE	LIMARÍ	6608933	283019
OVALLE	LIMARÍ	6613072	282410
OVALLE	LIMARÍ	6613076	282405
OVALLE	LOS NOGALES	6597141	275868
OVALLE	NUEVA AURORA	6599455	285374
OVALLE	NUEVO FUTURO	6599896	287138
OVALLE	ORURO ALTO	6610108	260438
OVALLE	ORURO ALTO	6608745	263228
OVALLE	POTRERILLOS BAJOS	6609958	281135

COMUNA	LOCALIDAD	COORDENADAS UTM WGS 84	
		NORTE	ESTE
OVALLE	RECOLETA	6623606	294087
OVALLE	SAN JULIÁN	6607321	275411
OVALLE	SANTA CATALINA	6612057	293180
OVALLE	SOL DEL PACÍFICO	6614180	286449
OVALLE	TABALÍ	6607724	267441
OVALLE	TABALÍ	6607577	267383
OVALLE	UNIÓN PALOMA	6602868	304777
OVALLE	VILLASECA	6617179	293756
OVALLE	VILLASECA	6617172	293760
OVALLE	VILLASECA	6616138	294045
OVALLE	VILLASECA	6616135	294040
OVALLE	VILLASECA	6615710	294955
OVALLE	VILLORRIO EL TALHUÉN	6616916	281565

En la Comunidad Agrícola de Peñablanca, existe una red privada de agua potable rural, la que no está registrada como comité.

COMITES DE AGUA POTABLE RURAL DE LA COMUNA DE COMBARBALÁ

COMUNA	LOCALIDAD	COORDENADAS UTM WGS 84	
		NORTE	ESTE
COMBARBALÁ	BARRANCAS - CHINEO	6545650	318191
COMBARBALÁ	COGOTÍ 18	6558910	313409
COMBARBALÁ	COGOTÍ 18	6558905	313411
COMBARBALÁ	COGOTÍ 18	6559064	313336
COMBARBALÁ	COGOTÍ 18	6557990	314168
COMBARBALÁ	EL DURAZNO	6555322	326076
COMBARBALÁ	EL HUACHO	6564782	292880
COMBARBALÁ	EL HUACHO	6565050	291684
COMBARBALÁ	EL HUACHO	6565054	291684
COMBARBALÁ	EL SAUCE	6559718	296452
COMBARBALÁ	EL SORUCO	6556441	298434
COMBARBALÁ	LA CAPILLA	6549221	311169
COMBARBALÁ	LA COLORADA	6560097	305307
COMBARBALÁ	LA ISLA	6561422	308286
COMBARBALÁ	LA LIGUA DE COGOTÍ	6564026	305376
COMBARBALÁ	MANQUEHUA	6574961	291035
COMBARBALÁ	MEDIALUNA	6578366	290930
COMBARBALÁ	QUILITAPIA	6555616	294417
COMBARBALÁ	QUILITAPIA	6555615	294419
COMBARBALÁ	RAMADILLA	6543939	315517
COMBARBALÁ	SAN MARCOS	6573136	302382
COMBARBALÁ	SAN MARCOS	6573070	302473
COMBARBALÁ	SUEÑO CUMPLIDO	6543122	305713
COMBARBALÁ	VALLE HERMOSO	6539745	309243

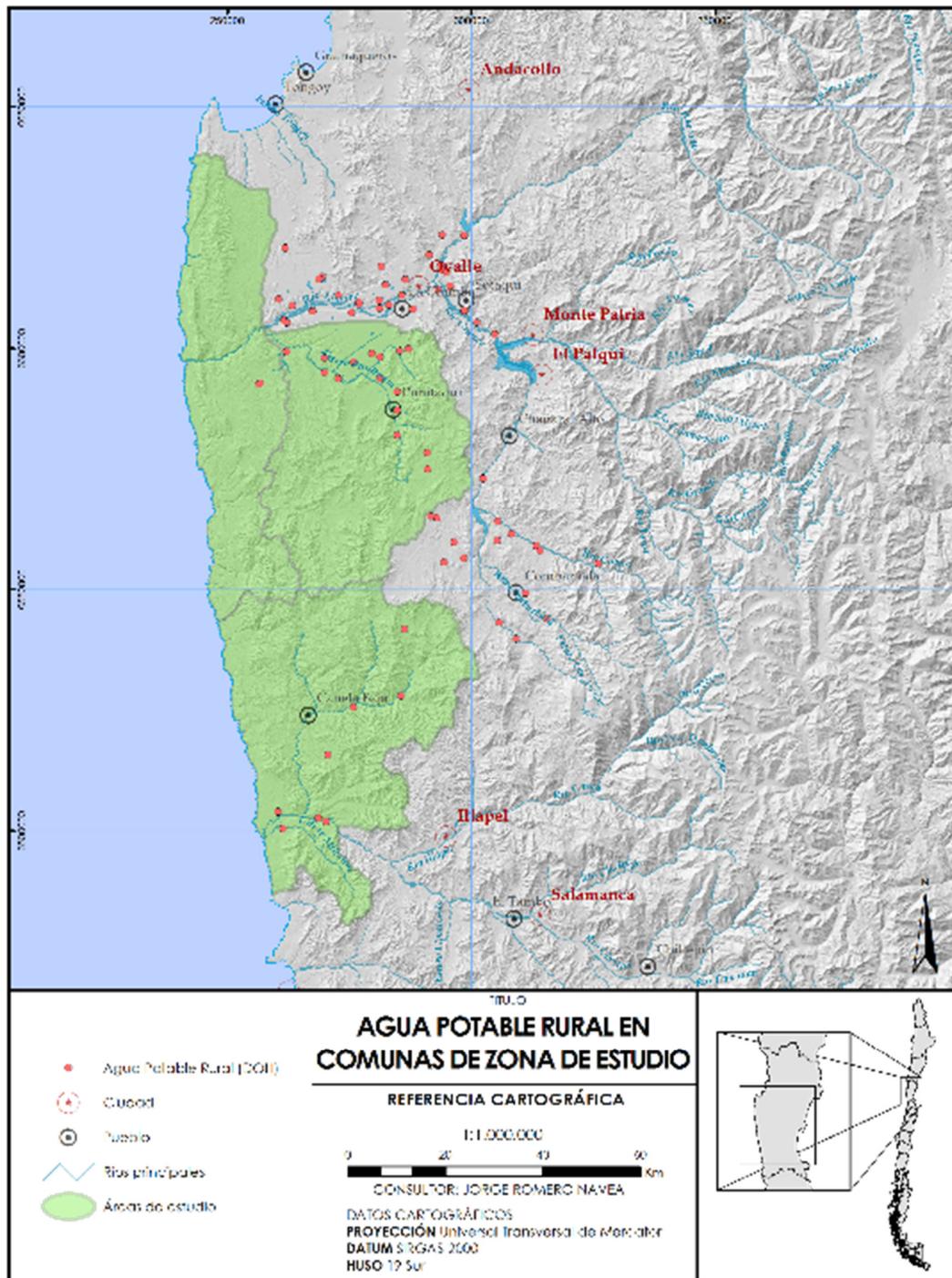
En la Microcuenca La Moralina de la Comunidad Agrícola de Manquehua, aguas abajo de la microcuenca se encuentra la captación del APR Manquehua, cuyas coordenadas se indican en el cuadro expuesto.

COMITES DE AGUA POTABLE RURAL DE LA COMUNA DE CANELA

COMUNA	LOCALIDAD	COORDENADAS UTM WGS 84	
		NORTE	ESTE
CANELA	HUENTELAUQUÉN NORTE	6503886	260255
CANELA	HUENTELAUQUÉN NORTE	6503859	260281
CANELA	HUENTELAUQUÉN SUR	6500403	261322
CANELA	LOS POZOS	6527969	285636
CANELA	MINCHA NORTE	6502550	268605
CANELA	MINCHA NORTE	6502594	268620
CANELA	MINCHA SUR	6501804	270167
CANELA	LOS RULOS	6541797	286263
CANELA	CARQUINDAÑO	6515773	270515
CANELA	BARRIO ALTO	6525660	275754

En la Microcuenca Los Rulos de la Comunidad Agrícola de Canela Alta, existe un Comité de Agua Potable Rural, cuya captación se encuentra distante de la localidad de Los Rulos a 9.76 Km en línea recta y un desnivel de 340 m.

**IMAGEN DE LA UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS APR EN LAS COMUNAS DE OVALLE,
COMBARBALÁ Y CANELA**



Delimitación de microcuencas

Para la delimitación, se utilizó el criterio de 1.000 hectáreas como área mínima para la identificación de las microcuencas iniciadoras de cauce. Este proceso se realizó para cada área de estudio por separado, la conjunción de las microcuencas de las tres áreas se puede apreciar en la Figura 16 (para ver con mayor detalle revisar Anexos 4, 5 y 6). Para el borde costero, quedó espacios de las áreas de estudio sin delimitación de microcuencas debido a que dichas áreas no alcanzan a cumplir el criterio de 1.000 hectáreas mencionado anteriormente. Las microcuencas delimitadas resultantes de este proceso se extienden en parte o completamente en cada una de las áreas analizadas.

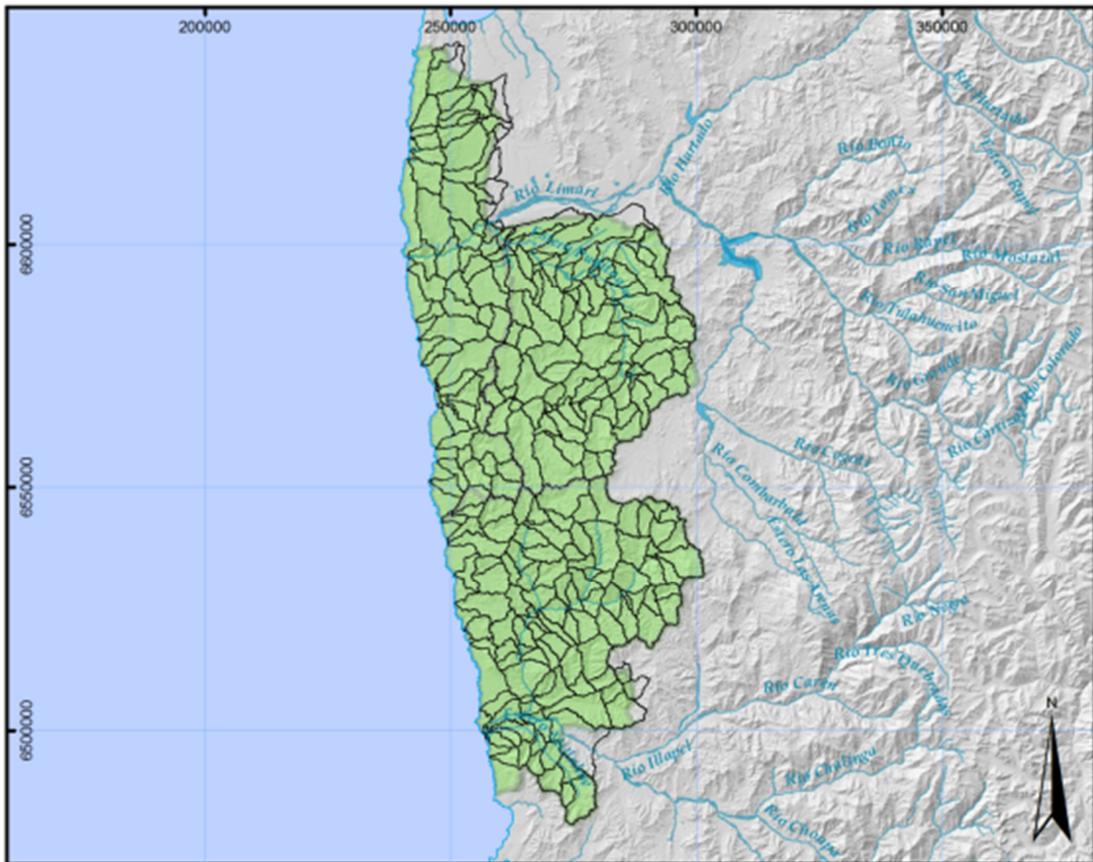


Figura 16. Microcuencas de las tres áreas de estudio.

Para el área correspondiente a la comuna de Canela se delimitó un total de 112 microcuencas con una superficie promedio de 1.906 hectáreas (**Cuadro 6**); para el área del borde y secano costero de la comuna de Ovalle se delimitó 68 microcuencas con una superficie promedio de 1.970 hectáreas; finalmente, para el área de secano intermedio de la Provincia de Limarí se delimitó un total de 89 microcuencas con una superficie promedio de 2.025 hectáreas.

La altitud de las microcuencas varía entre los 0 m.s.n.m. hasta los 2.064 m.s.n.m. (**Cuadro 6**), siendo las microcuencas pertenecientes a la comuna de Canela las que presentan un mayor rango de altitud.

Cuadro 6. Resultados de la delimitación de microcuencas.

Área	Superficie promedio (ha)	Altitud mínima (m.s.n.m.)	Altitud mínima promedio (m.s.n.m.)	Altitud máxima (m.s.n.m.)	Altitud máxima promedio (m.s.n.m.)
Canela	1.906	0	300	2.064	1.000
Secano costero Ovalle	1.970	0	80	1.166	550
Secano intermedio Limarí	2.025	40	300	1.556	850

Cálculo de pendiente

El cálculo de pendiente se realizó utilizando el método de Horn y expresando el resultado en porcentaje (%) (Figura 17). Dicha capa se reclasificó en función de los rangos propuestos (Tabla 1) en la metodología del presente estudio.

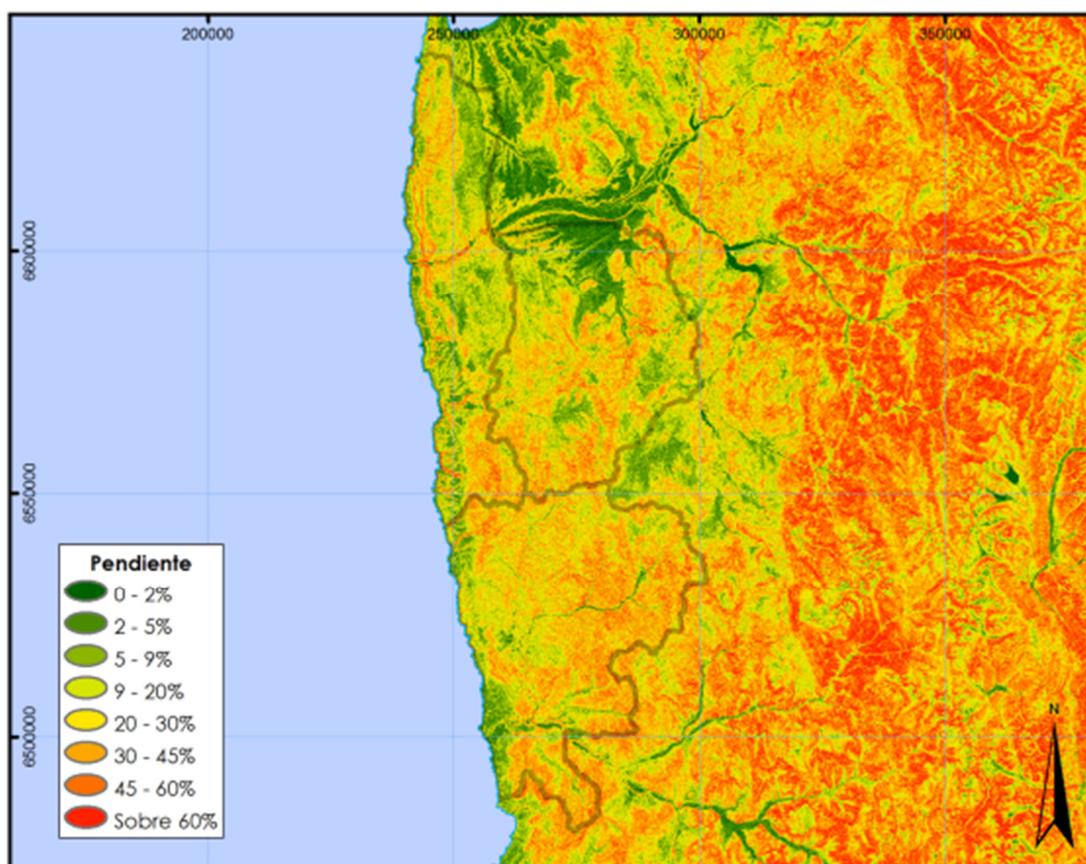


Figura 17. Capa resultante del cálculo de pendiente.

Pisos altitudinales

La clasificación de pisos altitudinales se realizó en rangos de 100 m.s.n.m. (Figura 18) a partir del Modelo Digital de Elevación, dicha capa se vectorizó para ser intersectada con la capa resultante de pendiente.

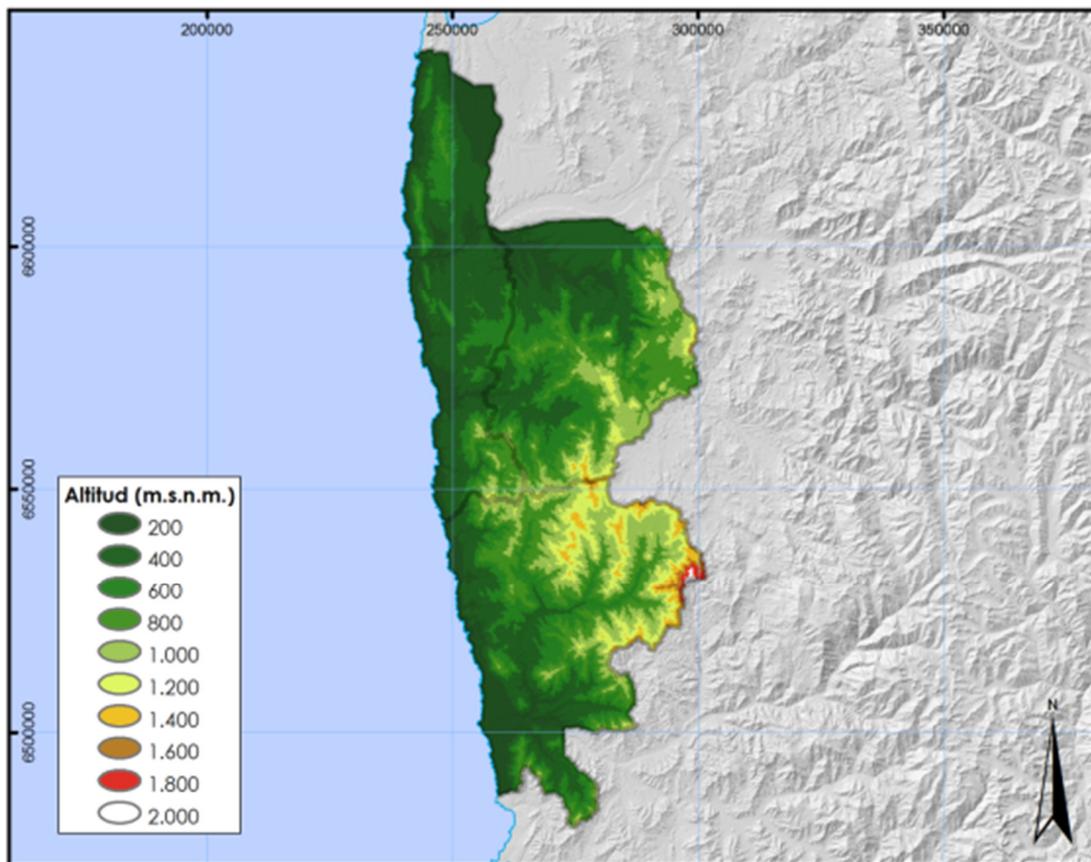


Figura 18. Capa resultante de la clasificación de pisos altitudinales. Se presenta el resultado en rangos de 200 m.s.n.m. para facilitar la visualización.

Caracterización

En el área de Canela, el 46% de las microcuencas delimitadas son del tipo captación (Cuadro 7) de un total de 112. En el área del secano costero de Ovalle, el 47% de las microcuencas son de tipo captación (Cuadro 7). En el área del secano intermedio de la provincia del Limarí, el 48% de las microcuencas son de tipo captación. En total se caracterizaron 127 microcuencas de tipo captación de un total de 269, representando este valor un 47% del total. La cartografía de esta caracterización se presenta en los anexos 7, 8 y 9.

Cuadro 7. Resultado de la caracterización de microcuencas por tipo.

Tipo	Canela	Secano costero - Ovalle	Secano intermedio - Limarí
Captación	52	32	43
Intermedia	50	22	46
Costera	10	14	0
Total	112	68	89

Con respecto a la hidrografía principal, del total de microcuencas de las tres áreas, el 33% de las microcuencas están insertas en el cauce de un río o estero (Cuadro 8), mientras que

10 y 57% restante están en cauce de quebrada y quebrada intermitente, respectivamente. La cartografía de esta caracterización se presenta en los anexos 10, 11 y 12.

Cuadro 8. Resultado de la caracterización de microcuencas por drenaje principal.

Hidrografía principal	Canela	Secano costero - Ovalle	Secano intermedio - Limarí
Río o estero	37	12	40
Quebrada	12	12	3
Qda. intermitente	63	44	46
Total	112	68	89

De las áreas analizadas, el 23% de las microcuencas presentan superficie con agricultura tradicional (Cuadro 9), el resto de las microcuencas son de agricultura de secano (23%) o no presentan superficie agrícola (54%). La cartografía de esta caracterización se presenta en los anexos 13, 14 y 15.

Cuadro 9. Resultado de la caracterización de microcuencas por agricultura.

Agricultura	Canela	Secano costero - Ovalle	Secano intermedio - Limarí
Agr. convencional	22	5	37
Agr. no conven.	21	24	16
No agrícola	69	39	36
Total	112	68	89

La vectorización de la capa ráster de pendiente (Figura 19) se intersectó con la capa de pisos altitudinales para generar la información necesaria para la selección de microcuencas en función de los criterios establecidos en el presente documento estableciendo la superficie de pendientes ligeras a moderadas en cada piso altitudinal para cada microcuenca de las 3 áreas de estudio (Gráfico 1, Gráfico 2 y Gráfico 3).

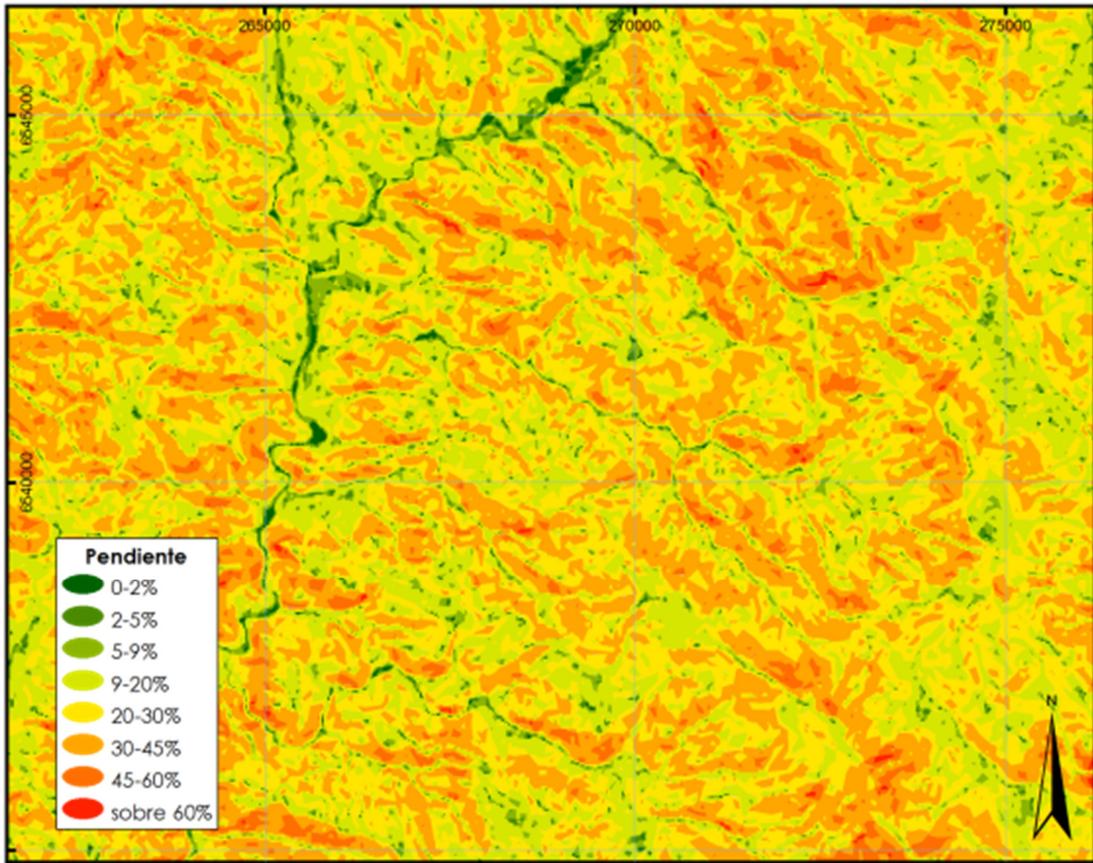


Figura 19. Detalle de la capa de pendiente generada para el área de la comuna de Canela.

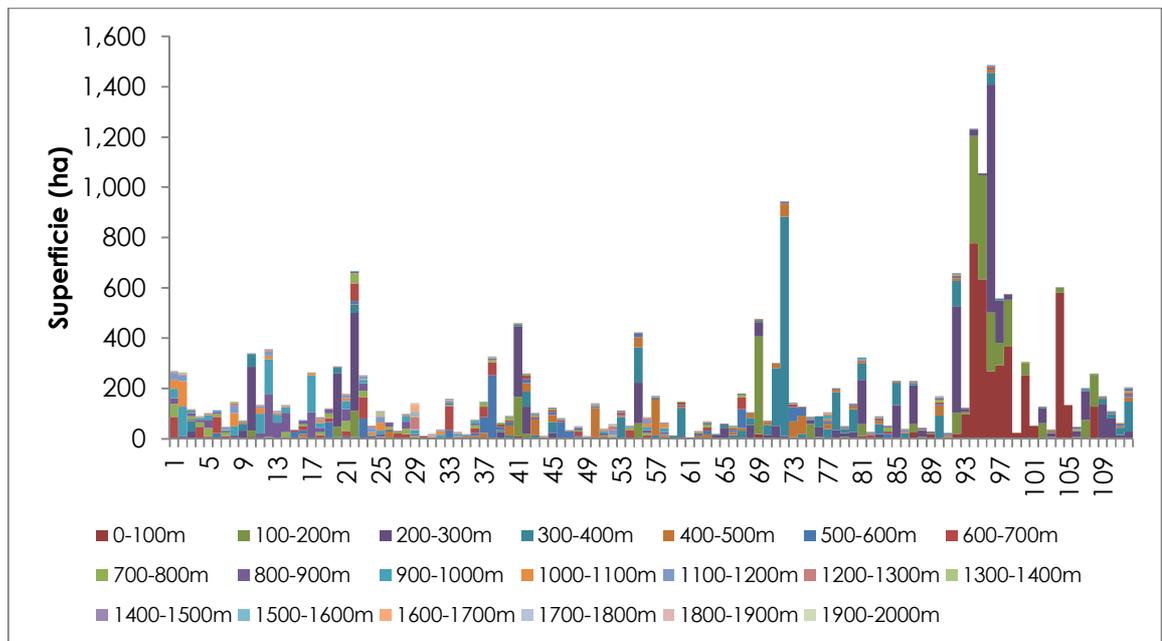


Gráfico 1. Superficie con pendientes ligeras a moderadas en las microcuencas del área correspondiente a la comuna de Canela.

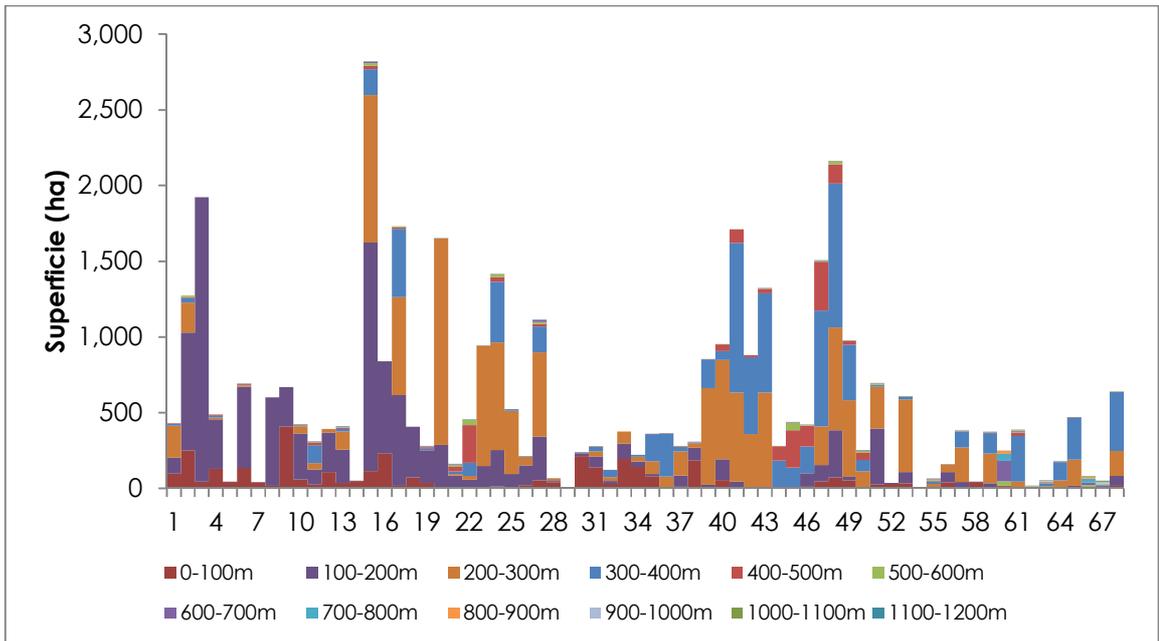


Gráfico 2. Superficie con pendientes ligeras a moderadas en las microcuencas del área correspondiente al secado costero de la comuna de Ovalle.

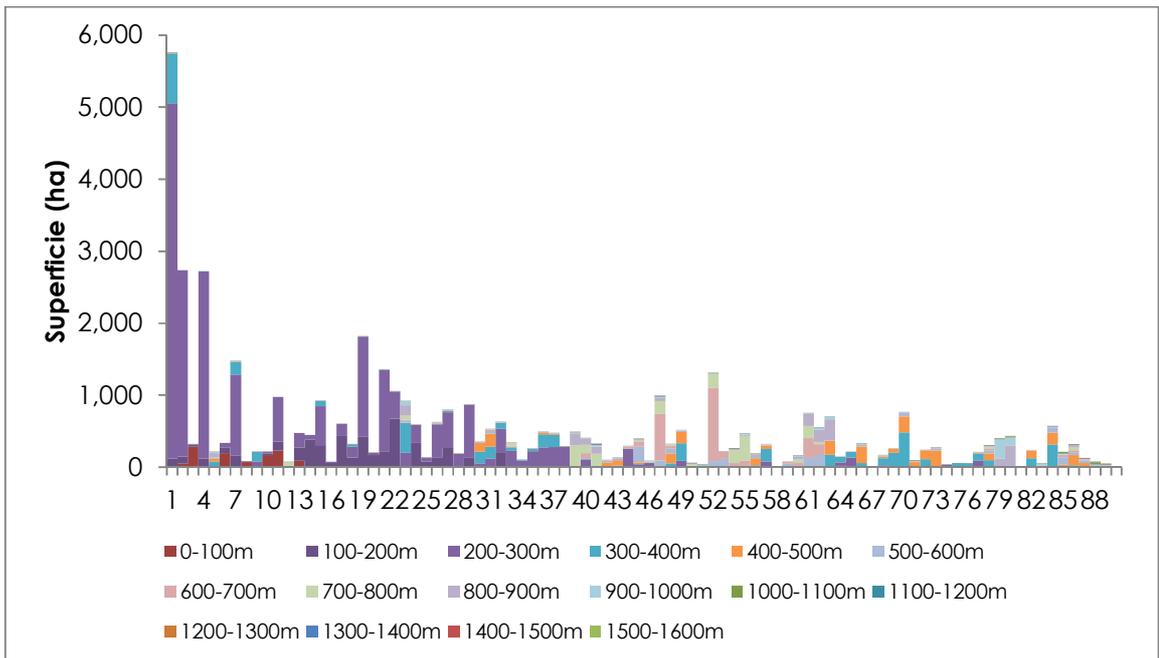


Gráfico 3. Superficie con pendientes ligeras a moderadas en las microcuencas del área correspondiente al secano intermedio de la provincia de Limarí.

Con respecto a la caracterización climática, el distrito agroclimático de mayor participación en el área de la comuna de Canela es Canela – Altercura, con un 58,4% de participación en la superficie (Cuadro 10). A este distrito le sigue Cordón El Peñon – Cordón Nancaballo con 24,6%.

Cuadro 10. Participación de distritos agroclimáticos en el área de Canela.

Distrito agroclimático	Superficie (%)
Canela - Atelcura	58,4%
Co. El Peñon - Co. Nancaballo	24,6%
Cord. Baja Los Molles - Cta. El Mirador	1,3%
Illapel-Limahuida	0,7%
Los Cristales-Cta. Cavilolen	0,01%
Los Hornitos-San Pedro de Quiles	0,1%
Millahue-Co. Las Pircas	10,0%
Pta. Verdiocho-Huentelauquen	4,8%
Qda. Carcamo-Combarbala	0,1%

Para el área del secano costero de la comuna de Ovalle, el distrito de mayor participación es Los Hornitos – San Pedro de Quiles con 59,4% (Cuadro 11). A dicho distrito le sigue Fray Jorge – Talinay con 21,2%.

Cuadro 11. Participación de distritos agroclimáticos en el área del secano costero de Ovalle.

Distrito agroclimático	Superficie (%)
Canela-Atelcura	0,2%
Cerrillos de Tamaya - El Olivo - Guampulla	0,8%
Co. El Peñon - Co. Nancaballo	0,9%
Fray Jorge - Talinay	21,2%
La Serena - Coquimbo	0,2%
Los Hornitos - San Pedro de Quiles	59,4%
Los Molles - Tulahuen	0,2%
Pachingo	12,2%
Pta. Verdiocho - Huentelauquen	5,0%

Para el área de secano intermedio de la provincia de Limarí, el distrito de mayor participación en la superficie es Los Hornitos – San Pedro de Quiles, con 48,6% de participación (Cuadro 12). A este distrito le sigue Cerrillos de Tamaya – El Olivo – Guampulla con 18,5%.

Cuadro 12. Participación de distritos agroclimáticos en el área del secano intermedio de Limarí.

Distrito agroclimático	Superficie (%)
Altar Alto - Qda. Monte Patria	8,4%
Cerrillos de Tamaya - El Olivo - Guampulla	18,5%
Co. El Peñon - Co. Nancaballo	11,4%
Los Hornitos - San Pedro de Quiles	48,6%
Manquegua	12,1%
Ovalle - Sn. Julian	0,004%
Sotaqui - Monte Patria	0,9%

Selección

Criterio n°1.

La aplicación de este criterio, a partir de los datos generados en la etapa de caracterización (Cuadro 7, Cuadro 8 y Cuadro 9), dio como resultado una preselección de 47 microcuencas para el área de la comuna de Canela (Cuadro 13); 28 microcuencas para el área de secano costero de la comuna de Ovalle (Cuadro 14); y 25 microcuencas para el área del secano intermedio de la provincia de Limarí (Cuadro 15). La cartografía de esta selección se presenta en los anexos 16, 17 y 18.

Cuadro 13. Aplicación del primer criterio de selección en el área de la comuna de Canela.

Evaluación	Tipo	Hidrografía principal	Agricultura	Los 3 atributos
Cumplimiento	52	75	90	47
No cumplimiento	60	37	22	65

Cuadro 14. Aplicación del primer criterio de selección en el área del secano costero de la comuna de Ovalle.

Evaluación	Tipo	Hidrografía principal	Agricultura	Los 3 atributos
Cumplimiento	32	56	63	28
No cumplimiento	36	12	5	40

Cuadro 15. Aplicación del primer criterio de selección en el área del secano intermedio de la provincia de Limarí.

Evaluación	Tipo	Hidrografía principal	Agricultura	Los 3 atributos
Cumplimiento	43	49	52	25
No cumplimiento	46	40	37	64

Criterio n°2.

El segundo criterio de selección preseleccionó 12 microcuencas para el área de secano costero de la comuna de Canela (cuadro 16); 24 microcuencas para el área de secano costero de la comuna de Ovalle (cuadro 17); y 18 microcuencas para el área de secano intermedio de la provincia de Limarí (Cuadro 18). Los cuadros 16, 17 y 18 ilustran con colores el cumplimiento de este criterio en cada uno de los pisos altitudinales analizados (verde: sí cumple criterio; rojo: no cumple criterio). La cartografía de esta selección se presenta en los anexos 19, 20 y 21.

Cuadro 16. Matriz de cumplimiento del criterio n°2 en el área de la comuna de Canela. Los pisos altitudinales van desde 0 a 2.000 m.s.n.m. en rangos con una amplitud de 100 m.s.n.m.

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1							█													
2										█	█									
3	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
4	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
5		█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
7																				
8																				
9	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
11																				
12																				
13																				
16																				
17																				
18																				
24																				
25																				
28																				
29																				
31																				
32																				
36																				
37																				
39	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
42																				
44																				
48																				
49																				
51																				
52																				
56																				
58																				
62																				
63																				
66																				
67																				
72																				
73																				
74																				
77																				
78																				
80																				
88	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
91																				
103																				
106																				
110																				
111																				

Cuadro 17. Matriz de cumplimiento del criterio n°2 en el área del secano costero de la comuna de Ovalle. Los pisos altitudinales van desde 0 a 1.200 m.s.n.m. en rangos con una amplitud de 100 m.s.n.m.

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1												
2												
3												
4												
6												
8												
10												
13												
15												
17												
24												
32												
36												
39												
42												
43												
44												
45												
48												
50												
51												
55												
57												
59												
60												
64												
66												
67												

Cuadro 18. Matriz de cumplimiento del criterio n°2 en el área del secano intermedio de la provincia de Limarí. Los pisos altitudinales van desde 100 a 1.500 m.s.n.m. en rangos con una amplitud de 100 m.s.n.m.

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
5														
12														
31														
41														
42														
43														
47														
48														
49														
51														
54														
55														
56														
60														
61														
63														
66														
68														
69														
79														
80														
83														
84														
87														
88														

Criterio n°3.

Finalmente, en función de las comunidades agrícolas (anexo 22) el tercer criterio determinó 5 microcuencas en el área de la comuna de Canela; 4 en el área del secano costero de la comuna de Ovalle; y 7 en el área del secano intermedio de la provincia de Limarí.

Para el área de la comuna de Canela, las microcuencas seleccionadas (Figura 20) se emplazan en las áreas de las comunidades agrícolas de Canela Alta, Canela Baja, Los Tomes y Yerba Loca (Cuadro 19). La extensión de estas microcuencas varía desde 1111 hasta 5355 hectáreas. La cartografía de esta selección se presenta en el anexo 23.

Cuadro 19. Características de las microcuencas seleccionadas en el área de la comuna de Canela.

ID	Elevación mínima (m.s.n.m.)	Elevación máxima (m.s.n.m.)	Comunidad agrícola	Distrito agroclimático	Superficie (ha)
1	648	1553	Canela Baja	Principalmente Co. El Peñon - Co. Nancaballo	5344,5
12	705	1546	Canela Alta	Principalmente Co. El Peñon - Co. Nancaballo	2720,2
17	705	1490	Canela Alta	Principalmente Canela - Atelcura	1691,8
78	182	835	Los Tomes	Canela - Atelcura	1272,9
80	159	822	Yerba Loca	Canela - Atelcura	1111,9

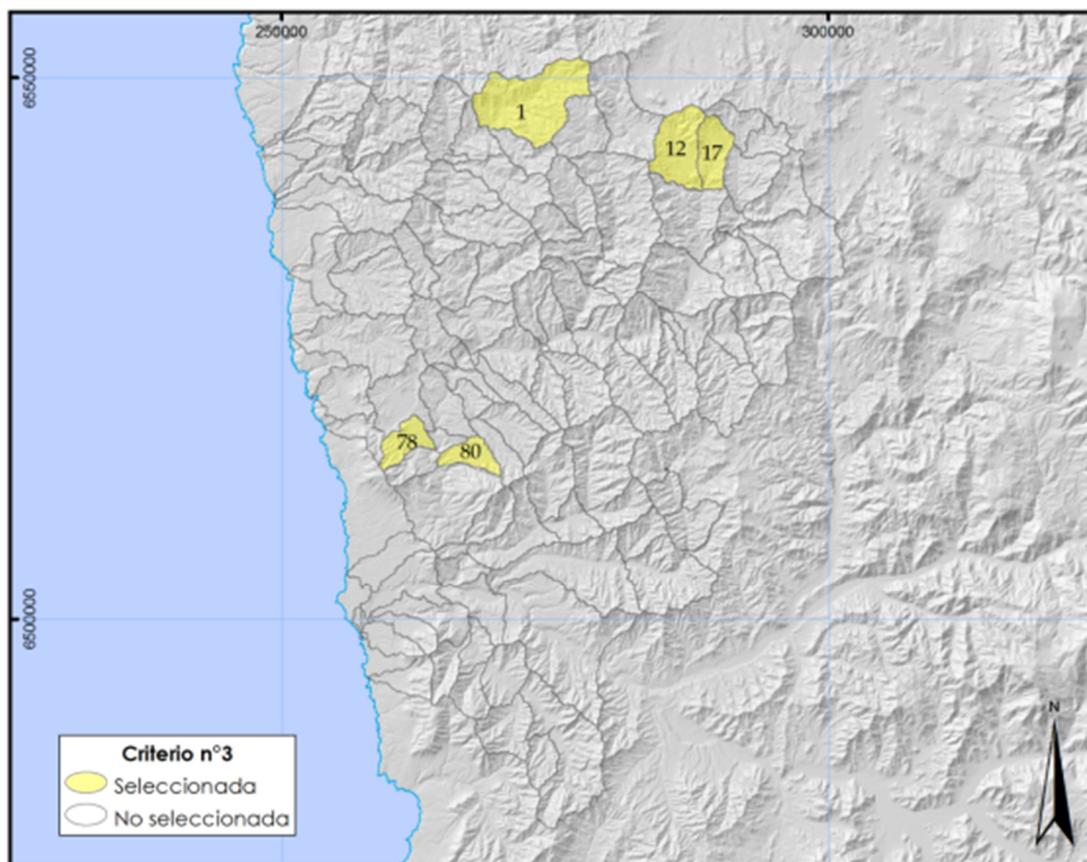


Figura 20. Microcuencas seleccionadas bajo el 3er criterio en el área de la comuna de Canela.

Para el área del seco costero de la comuna de Ovalle, las microcuencas seleccionadas (Figura 21) se emplazan en las áreas de las comunidades agrícolas Alcones, Peñablanca y La Cebada (Cuadro 20). La extensión de estas microcuencas varías desde 1174 hasta 6270 hectáreas. Para esta área se anexó una microcuencia con participación de superficie mixta en cuanto a comunidades agrícolas debido a su posición estratégica en el área de estudio. La cartografía de esta selección se presenta en el anexo 24.

Cuadro 20. Características de las microcuencas seleccionadas en el área del seco costero de la comuna de Ovalle.

ID	Elevación mínima (m.s.n.m.)	Elevación máxima (m.s.n.m.)	Comunidad agrícola	Distrito agroclimático	Superficie (ha)
44	289	575	Alcones	Los Hornitos - San Pedro de Quiles	1174,4
48	10	664	Peñablanca y La Cebada	Principalmente Los Hornitos - San Pedro de Quiles	6270,4
51	11	620	La Cebada	Principalmente Los Hornitos - San Pedro de Quiles	1648,3
57	18	938	La Cebada	Principalmente Los Hornitos - San Pedro de Quiles	1750,9

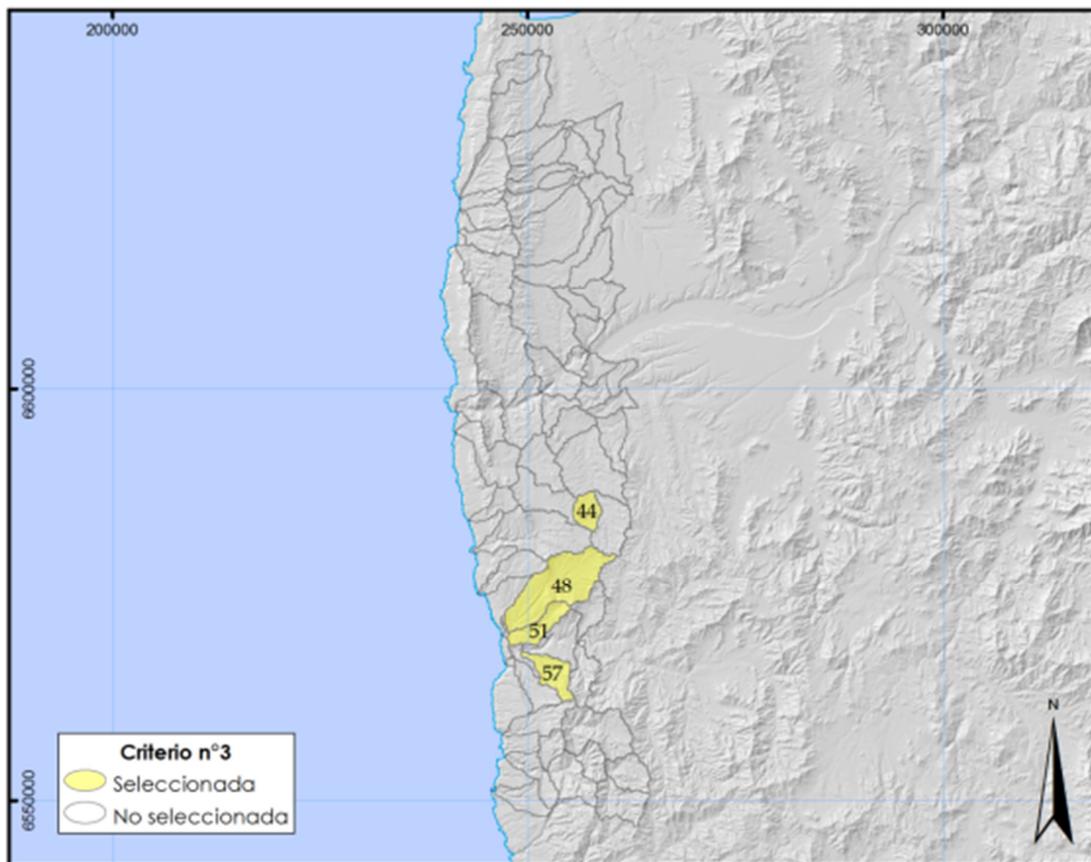


Figura 21. Microcuencas seleccionadas bajo el 3er criterio en el área del seco costero de la comuna de Ovalle.

Finalmente, en el área del seco intermedio de la provincia de Limarí, las microcuencas seleccionadas (Figura 22) se emplazan en las áreas de las comunidades agrícolas de Potrerillo Alto, Manquehua y Litipampa (Cuadro 21). La extensión de estas microcuencas varías desde 1646 hasta 3093 hectáreas. La cartografía de esta selección se presenta en el anexo 25.

Cuadro 21. Características de las microcuencas seleccionadas en el área del seco intermedio de la provincia de Limarí.

ID	Elevación mínima (m.s.n.m.)	Elevación máxima (m.s.n.m.)	Comunidad agrícola	Distrito agroclimático	Superficie (ha)
5	337	1095	Potrerillo alto	Principalmente Altar Alto - Qda. Monte Patria	3050,9
41	660	1447	Manquehua	Principalmente Manquehua	2435,1
47	568	1376	Manquehua	Principalmente Manquehua	3093,9
54	656	1375	Manquehua	Principalmente Manquehua	1646,4
55	656	1121	Manquehua	Principalmente Manquehua	1948,5
61	558	1121	Manquehua	Manquehua	2338,9
80	706	1253	Litipampa	Principalmente Manquehua	2094,6

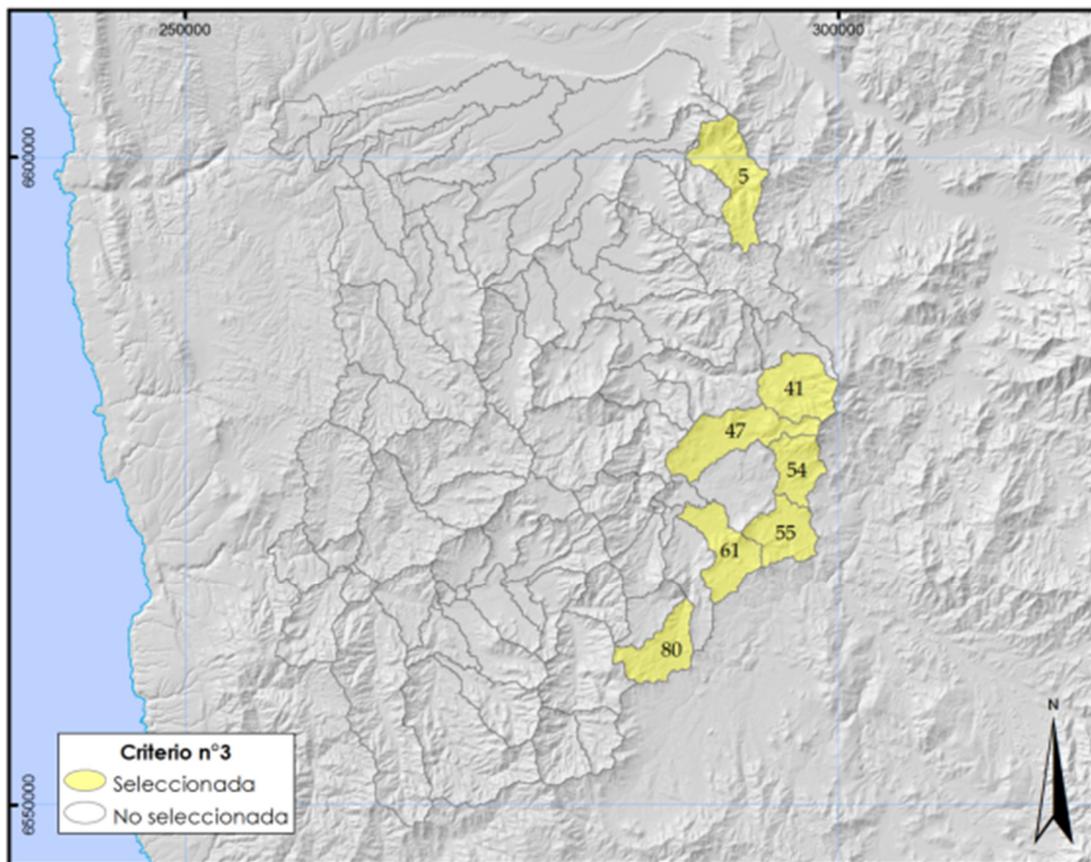


Figura 22. Microcuencas seleccionadas bajo el 3er criterio en el área del secano intermedio de la provincia de Limarí.

Validación en terreno

Seleccionadas en oficina las microcuencas para desarrollar el Estudio de Cosecha de Aguas Lluvias, se procedió a validar en terreno, con las respectivas comunidades agrícolas los sectores elegidos.

Para cumplir con este objetivo, se contactaron las directivas de las Comunidades Agrícolas de Peña Blanca, Canela Alta y Manquehua, para exponerles los objetivos del estudio, obtener su aprobación, modificación o rechazo de los sectores seleccionados y recorrerlos en terreno.

Es importante destacar, que en conversación con las directivas de las tres comunidades agrícolas, probablemente por desconocimiento de obras de acumulación subterránea de aguas, ellos le dieron más importancia a la acumulación superficial del agua, aspecto que se tomó en consideración, ya que la cosecha de aguas lluvias implica la recolección superficial y subterránea del agua.

Comunidad Agrícola de Peña Blanca. En esta Comunidad, se concertó una reunión en terreno con los señores Daniel Rojas, presidente de la comunidad, Gustavo Carvajal Andrade, Secretario, don Juan Robles Zepeda, tesorero y don Luis Cortés Castillo, segundo director de la comunidad.

Al visitar el sector elegido mediante el modelo digital, los directivos de la Comunidad Agrícola, manifestaron su interés en el estudio y propusieron una modificación del sector elegido, considerando que era más adecuado construir las obras de intercepción más arriba del sector elegido, dado que había una condición de un ensanchamiento del cauce de la quebrada La Isla, que eventualmente podría acumular superficialmente una mayor cantidad de agua. De esta forma, la microcuenca seleccionada previamente, al cambiarse de posición física en terreno, se evaluó nuevamente con el modelo digital, teniendo como resultado una menor superficie de la cuenca aportante, pero que sigue cumpliendo los objetivos básicos del estudio.



Fotografía 1. Charla informativa del Estudio Cosecha de Aguas Lluvias a los Comuneros de la Comunidad Agrícola de Peña Blanca.



Fotografía 2. Vista parcial de los comuneros de la Comunidad Agrícola de Peña Blanca, asistentes a la charla informativa del Estudio Cosecha de Aguas Lluvias.

Comunidad Agrícola de Canela Alta. En esta Comunidad Agrícola, la reunión se realizó en la sede de la comunidad, en Canela Alta, donde se les expuso el objeto del estudio, se le presentaron los planos obtenidos del sistema digital, indicándoles que de acuerdo a esa selección previa, el sector elegido para desarrollar el estudio de cosecha de aguas lluvias, era Los Rulos, frente al poblado Los Rulos. Las personas participantes de esta reunión, fueron los señores Carlos Rojas, presidente; Tito Pizarro, secretario; Manuel Orrego, tesorero y Ave-lino Ramón Araya, delegado del sector Los Rulos.

Los directores de la Comunidad Agrícola de Canela Alta, manifestaron un gran interés por el estudio, pero a su vez, expresaron su preocupación que en oportunidades anteriores les habían ofrecido obras relacionadas con acumulación de aguas, pero posteriormente no tuvieron información que había acontecido con este ofrecimiento. Al respecto se les informó que por ahora, el Estudio de Cosecha de Aguas Lluvias, era un proyecto de diseño y que de resultar positivo, probablemente se buscarían los recursos económicos para construir las obras, situación que se les comunicaría oficialmente a la Comunidad Agrícola.

Los integrantes de la directiva de la Comunidad Agrícola de Canela Alta, no tuvieron objeción del sector y punto de ubicación del área seleccionada para el estudio, por lo que se mantuvo la preselección desarrollada mediante el método digital.

Comunidad Agrícola de Manquehua. En esta Comunidad Agrícola, la reunión se realizó en la sede de la Comunidad Agrícola de Manquehua, con toda la directiva, que esta conformada por los señores Luis Araya, presidente; Andrés Olivares, secretario; Rosa Cortés, teso- rera; Arnaldo Cortés, primer director y Georgina Astudillo, secretaria de vigilancia.

Al igual que las otras reuniones, se les informó a la directiva del Estudio de Cosecha de Aguas Lluvias, exponiéndoles los gráficos obtenidos de la selección previa de los sectores de la Comunidad Agrícola de Manquehua, indicándoles que de acuerdo a este estudio, el

sector seleccionado era Agua Amarilla. Al respecto, por razones administrativas de la Comunidad Agrícola de Manquehua, que tienen establecido que si se realiza alguna actividad, estudio u obra de beneficio para la comunidad, ésta debe ubicarse en terrenos comunes de la comunidad. El sector Agua Amarilla elegido, desgraciadamente corresponde a terrenos de goce singulares, por lo tanto, no fue aceptado por la Comunidad Agrícola. A cambio de ello, propusieron recorrer el sector La Moralina, que es uno de los pocos terrenos de la comunidad agrícola de Manquehua, que aún es comunitario y que sería el lugar adecuado para el estudio propuesto.

Se recorrió el sector La Moralina, observándose en terreno, que cumplía las condiciones geográficas y topográficas definidas en la propuesta, tomándose las coordenadas UTM, Datum WGS 84, para hacer el análisis de esta microcuenca mediante el método digital.

Analizada la microcuenca La Moralina mediante el método digital, se observó que correspondía a una microcuenca de segundo orden y que las pendientes generales de ésta, eran adecuadas para el emplazamiento de obras de intercepción de aguas lluvias.

RESUMEN GENERAL DE LAS MICROCUENCAS SELECCIONADAS

1.- Microcuenca La Isla. Comunidad Agrícola Peña Blanca

Cuadro 22. Características físicas de microcuenca La Isla, Comunidad agrícola de Peña Blanca.

Identificación Cauce	Orden cauce	Longitud planimétrica (m)	Z_Min (msnm)	Z_Max (msnm)	Z_Promedio (msnm)	Longitud real (m)	Pendiente mínima (%)	Pendiente máxima (%)	Pendiente promedio (%)
4	1	2899,44	382,56	502,11	441,62	2905,41	0,07	29,77	4,61

Coordenadas WGS 84 del punto donde se ubicaría la tercera barrera de intercepción de flujo de escorrentía de aguas lluvia.

Norte: 6.578.902,90

Este: 256.924,30

Cota: 366 m.s.n.m.

Área aportante de la microcuenca: 199 has.

Cota más alta de la microcuenca: 640 m.s.n.m.



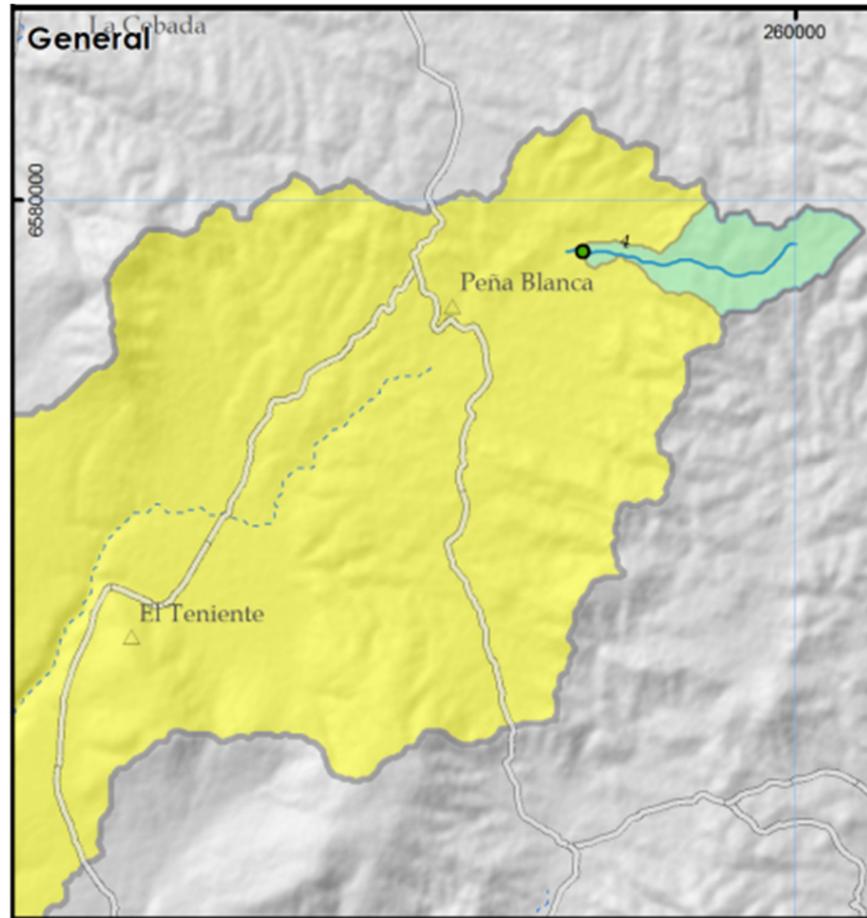
Fotografía 3. Microcuenca La Isla, Comunidad Agrícola Peña Blanca, vista del corral de pirca ubicado a un costado del cauce de la microcuenca.



Fotografía 4. Microcuenca La Isla, Comunidad Agrícola Peña Blanca, vista de la demarcación de l futuro emplazamiento de la segunda barrera de intercepción del escurrimiento de aguas lluvias.



Fotografía 5. Microcuenca La Isla, Comunidad Agrícola Peña Blanca, vista del cauce de la microcuenca, del sector a intervenir.



Fotografía 6. Microcuenca aportante La Isla, comunidad agrícola de Peña Blanca.

2.- Microcuenca La Moralina. Comunidad Agrícola de Manquehua

Cuadro 23. Características físicas de microcuenca La Moralina, Comunidad agrícola de Manquehua.

Microcuenca	Identificación Cauce	Orden cauce	Longitud planimétrica (m)	Z_Min (msnm)	Z_Max (msnm)	Z_Promedio (msnm)	Longitud real (m)	Pendiente mínima (%)	Pendiente máxima (%)	Pendiente promedio (%)
1	1	1425,66	810	887,50	846,27	1429,40	0	15,35873	5,608548	1
2	1	287,98	810	833,25	818,40	289,31	2,40	16,644909	8,098827	1
3	2	907,00	776	810,00	793,66	908,08	0	9,586978	4,033473	1
4	1	243,32	776	791,00	784,34	243,90	1,47	11,450353	6,171413	1
5	2	3530,12	686	777,35	728,61	3533,23	0	11,915244	3,055488	1
6	1	376,93	801	839,00	822,86	379,23	0,18	17,119604	10,101644	1
7	1	73,02	801	807,50	803,97	73,31	6,85	10,271762	8,904032	1
8	2	579,07	767	801,00	784,45	580,38	0,30	13,429722	5,990645	1
9	1	172,73	767	773,00	770,00	172,86	1,14	6,467406	3,474632	1
10	2	869,88	740	767,00	752,94	870,75	0	10,271762	3,191982	1
11	1	610,45	740	760,50	749,59	611,22	0	10,388974	3,82182	1
12	2	1441,93	710	740,00	723,79	1442,69	0	6,847842	2,277246	1
13	1	43,81	710	710,00	710,00	43,81	0	0	0	1
14	2	415,05	707	710,50	708,18	415,14	0	5,222936	1,426047	1
15	1	649,79	707	720,25	711,69	650,22	0	8,7565	2,37678	1
16	2	753,73	691	707,00	698,71	754,16	0	9,567854	2,325676	1
17	1	134,63	691	697,50	692,95	134,96	0,82	13,740925	5,170843	1
18	2	187,01	686	691,00	688,65	187,08	1,53	3,895865	2,673805	1
19	3	1210,15	672	686,75	678,54	1210,53	0	6,847842	1,822979	1
20	1	2014,26	715	774,00	746,60	2016,36	0	12,342329	3,393636	1
21	1	968,26	715	759,00	738,37	969,85	0	12,957248	4,566268	1
22	2	511,00	703	715,33	710,31	511,35	0	7,219647	2,819197	1
23	1	844,57	703	732,25	717,25	845,44	0	9,854815	3,695074	1

Cuadro 23. Características físicas de microcuenca La Moralina, Comunidad agrícola de Manquehua.

24	2	505,56	692	703,46	698,43	506,06	0	10,29612	3,202741	1
25	1	178,32	692	697,50	695,25	178,48	1,42	9,021435	3,508102	1
26	2	622,49	679	692,00	684,00	622,97	0	11,298362	2,612281	1
27	1	2676,58	679	764,25	713,32	2679,85	0	16,843463	3,614623	1
28	2	547,31	672	679,00	674,18	547,48	0	6,847842	1,58823	1
29	3	960,41	656	672,08	666,04	961,03	0	11,459834	2,166412	1
1	1	2006,14	790	1077,50	898,20	2035,02	0	42,772371	14,515212	2
2	1	934,44	790	840,50	810,98	936,42	0	12,799224	5,561087	2
3	2	1178,24	735	790,00	758,47	1180,23	0	13,206552	4,759221	2
4	1	1228,94	735	783,56	756,99	1231,40	0	15,668809	4,204533	2
5	2	386,58	723	735,44	729,56	386,93	0	10,271762	3,337381	2
6	1	827,08	847	924,25	881,93	831,94	0,85	20,572038	9,487126	2
7	1	61,96	847	852,00	848,92	62,22	3,63	14,526466	8,090552	2
8	2	813,94	789	847,00	818,85	816,51	1,21	17,119604	7,196974	2
9	1	319,38	789	822,50	807,62	321,57	2,91	21,305483	10,521574	2
10	2	558,61	763	789,75	778,78	559,85	0,23	17,119604	5,132365	2
11	1	1042,38	763	905,50	819,78	1055,22	2,98	30,815287	13,768227	2
12	2	1094,68	723	763,25	742,12	1096,10	0	12,849622	3,868143	2
13	3	520,11	710	723,22	717,94	520,55	0	10,015334	2,785393	2
14	1	254,12	710	730,00	718,82	255,05	3,42	15,615481	7,881353	2
15	3	792,55	688	710,24	700,33	793,21	0	9,200095	3,085116	2
16	1	1011,38	688	747,50	720,71	1014,03	0,34	13,443824	6,142928	2
17	3	316,33	687	690,08	688,31	316,45	0	7,33997	1,687504	2
18	1	555,87	687	708,25	697,58	556,55	0	10,271762	3,957763	2
19	3	795,33	671	687,08	677,22	795,81	0	10,271762	2,48406	2
20	1	1362,33	744	785,50	763,44	1363,61	0	10,271762	3,356187	2
21	1	73,02	744	744,00	744,00	73,02	0	0	0	2

Cuadro 23. Características físicas de microcuenca La Moralina, Comunidad agrícola de Manquehua.

22	2	902,30	716	744,18	731,36	903,12	0	10,271762	3,250316	2
23	1	209,13	716	725,50	720,33	209,49	0,51	10,290336	4,55041	2
24	2	658,49	697	716,00	707,53	659,03	0	10,134806	3,03623	2
25	1	508,03	697	718,50	709,02	508,68	1,21	9,673383	4,530037	2
26	2	1148,23	680	697,50	688,97	1148,72	0	9,854247	1,766486	2
27	1	1098,57	680	711,00	694,46	1099,64	0	11,910127	3,006264	2
28	2	170,23	671	680,44	675,32	170,73	1,14	16,140517	5,831317	2
29	3	703,30	656	671,63	664,67	703,71	0	8,877285	2,462575	2
1	4	240,74	656	656,96	656,25	240,76	0	3,873724	0,797833	3
2	1	1228,91	656	717,50	683,43	1232,23	0	18,992495	5,206881	3
3	4	1231,18	635	656,96	647,00	1231,97	0	10,445872	2,400816	3

Coordenadas WGS 84 del punto donde se ubicaría la tercera barrera de intercepción de flujo de escorrentía de aguas lluvia.

Norte: 6.574.094

Este: 294.424

Cota: 647 m.s.n.m.

Área aportante de la microcuenca: 3.727 has.

Cota más alta de la microcuenca: 1.375 m.s.n.m.



Fotografía 7. Microcuenca La Moralina, Comunidad Agrícola Manquehua, vista aguas arriba del punto de emplazamiento futuro de la segunda barrera de intercepción del escurrimiento de aguas lluvias.



Fotografía 8. Microcuenca La Moralina, Comunidad Agrícola de Manquehua, vista general del sector a emplazar a futuro las barreras de intercepción del escurrimiento de aguas lluvias.



Fotografía 9. Microcuenca La Moralina, Comunidad Agrícola de Manquehua, vista aguas abajo del punto de emplazamiento futuro de la segunda barrera de intercepción del escurrimiento de aguas lluvias.

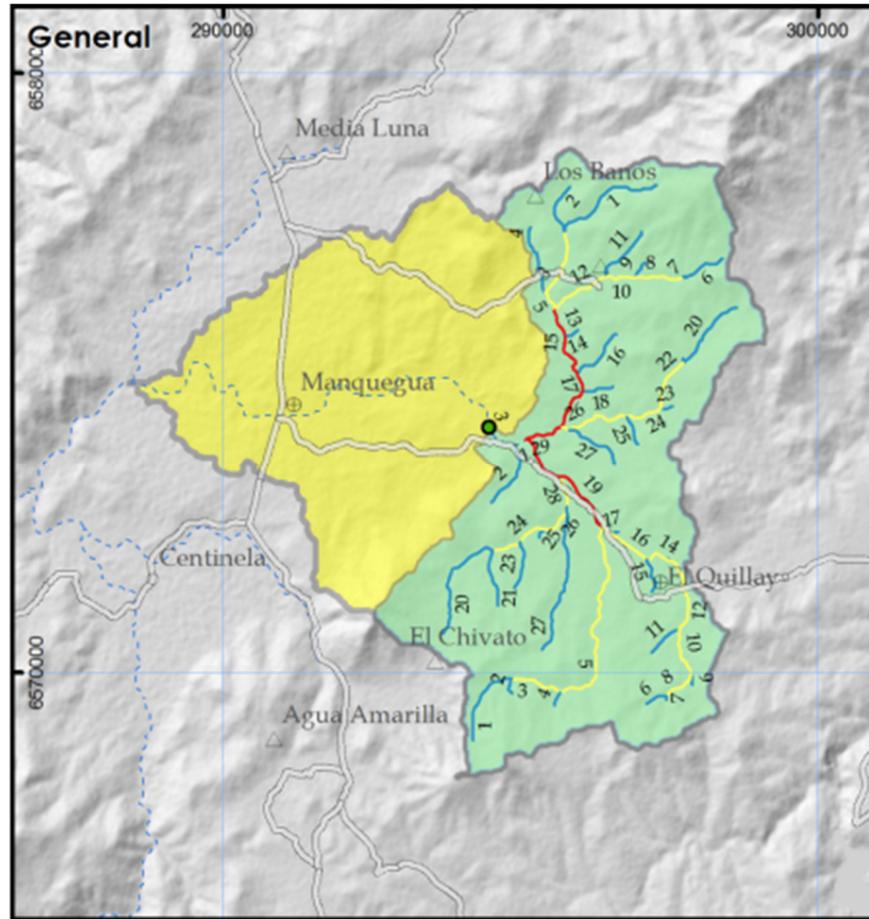


Figura 23. Microcuenca aportante La Moralina, comunidad agrícola de Manquehua.

3.- Microcuenca Los Rulos. Comunidad Agrícola de Canela Alta.

Cuadro 24. Características físicas de microcuenca Los Rulos, Comunidad agrícola de Canela.

Identificación Cauce	Orden cauce	Longitud planimétrica (m)	Z_Min (msnm)	Z_Max (msnm)	Z_Promedio (msnm)	Longitud real (m)	Pendiente mínima (%)	Pendiente máxima (%)	Pendiente promedio (%)
1	1	1528,59	1135,27	1305,19	1220,84	1541,01	0,36	27,62	11,19
2	1	556,21	1135,27	1199,43	1167,21	560,88	4,69	22,26	11,58
4	1	739,97	1044,96	1141,96	1097,23	749,26	0,03	34,68	13,40
3	2	813,83	1044,96	1135,57	1093,50	821,97	1,11	34,97	11,86
6	1	1139,52	975,90	1093,77	1030,43	1147,41	0,32	24,03	10,47
5	2	951,71	975,90	1045,41	1007,93	956,09	0	20,80	7,57
10	1	92,66	1041,63	1045,87	1042,60	92,96	1,55	15,00	5,94
9	1	402,15	1042,87	1084,80	1064,95	405,10	0,47	20,68	10,46
11	2	1371,06	929,01	1042,87	986,94	1377,75	0,31	18,77	8,85
7	2	840,14	929,01	975,90	951,33	842,06	0	13,61	5,67
12	3	26,47	929,01	929,04	929,02	26,47	0,13	0,13	0,13
8	1	3325,32	929,04	1282,86	1096,97	3352,70	0,14	29,83	10,85
13	3	567,13	907,87	929,04	918,12	568,12	0	17,58	4,21
14	1	1618,91	907,87	1155,91	1013,31	1643,57	0,39	52,38	15,47
15	3	863,74	885,89	907,87	895,95	864,40	0	10,00	2,73

Coordenadas WGS 84 del punto donde se ubicaría la tercera barrera de intercepción de flujo de escorrentía de aguas lluvia.

Norte: 6.543.227,90

Este: 286.395,90

Cota: 897 m.s.n.m.

Área aportante de la microcuenca: 1.195,92 has.

Cota más alta de la microcuenca: 1.546 m.s.n.m.



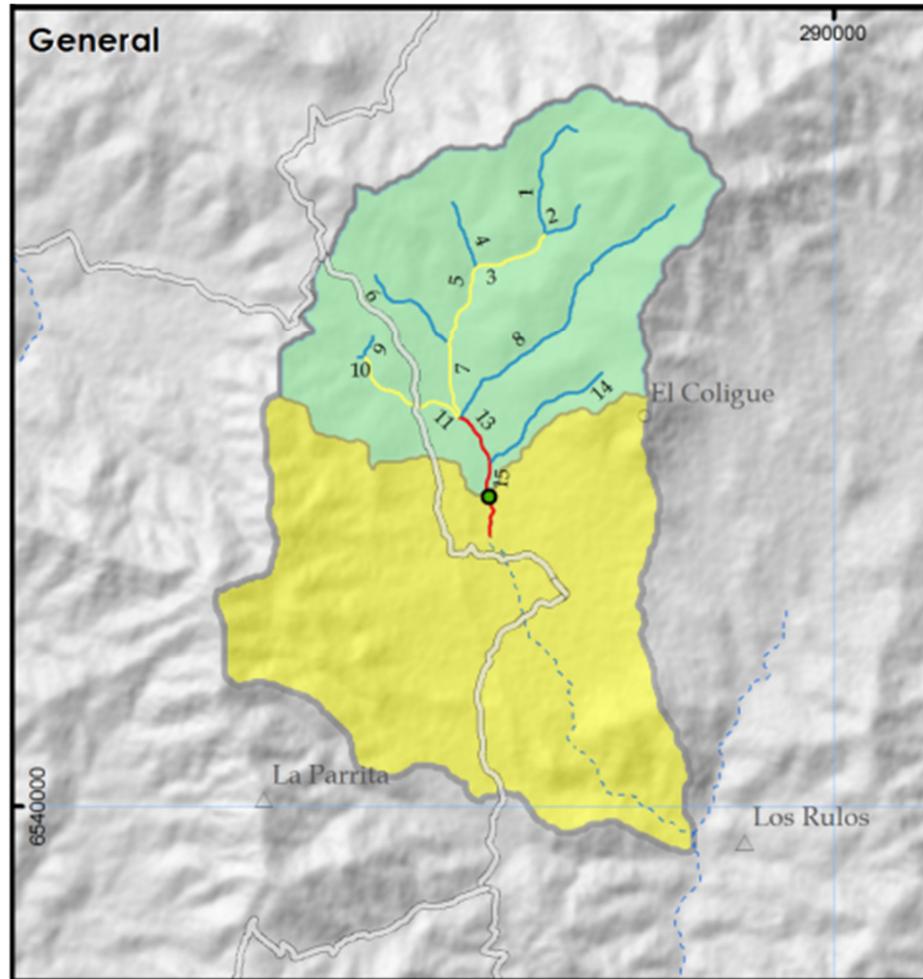
Fotografía 10. Microcuenca Los Rulos, Comunidad Agrícola Canela Alta, vista parcial del cauce de la microcuenca.



Fotografía 11. Microcuenca Los Rulos, Comunidad Agrícola Canela Alta, vista parcial del cauce de la microcuenca, mirando hacia aguas arriba del cauce.



Fotografía 12. Microcuenca Los Rulos, Comunidad Agrícola Canela Alta, vista parcial del cauce de la microcuenca, mirando hacia aguas abajo del cauce.



Fotografía 13. Microcuenca aportante Los Rulos, comunidad agrícola de Canela Alta.

TOPOGRAFÍA.

La topografía, es uno de los antecedentes base del proyecto, conjuntamente con los antecedentes hidrológico y estudios geofísicos.

El desarrollo de la topografía, fue realizado con una estación total, Marca Nikon, Modelo DTM 332.

La georreferenciación, se efectuó con un GPS marca Garmin y se georeferenció en coordenadas UTM WGS 84, uso 19.

Se materializaron en terreno dos Puntos de Referencia (PR) en cada topografía desarrollada para las microcuencas seleccionadas. Esta materialización se hizo en monolitos de hormigón de 4 pulgadas de diámetro, con un punto central metálico, balizados y nivelados.

Se presentan a continuación monografías de los Puntos de Referencias (PR) topográficas de cada levantamiento efectuado.



**Monografía PR Microcuenca La Isla
Comunidad Agrícola de Peñablanca**



PR-1

FECHA: JUNIO 2015



REGION: IV REGION
PROVINCIA: LIMARÍ
COMUNA: OVALLE
SECTOR: LA ISLA

Coordenada Topografica	
Vertice	PR-1
Norte	6,579,398.00
Este	257,624.00
Cota	404.94
Datum origen	WGS 84

Nota: Cota geométrica.

**PROYECTO :
ESTUDIO DE COSECHA DE
AGUAS LLUVIAS**

**TOPOGRAFO
SALVADOR LOPEZ GONZALEZ**

DESCRIPCION:

Monolito de hormigón color rojo de 4" de diámetro, sobresaliente 0.05 m, con fierro central Ø 10 mm.
Se ubica en el costado sur de la quebrada La Isla

PR-2

FECHA: JUNIO 2015



REGION: IV REGION
PROVINCIA: LIMARÍ
COMUNA: OVALLE
SECTOR: LA ISLA

Coordenada Topografica	
Vertice	PR-2
Norte	6,579,411.00
Este	257,833.91
Cota	411.91
Datum origen	WGS 84

Nota: Cota geometrica.

PROYECTO :
ESTUDIO DE COSECHA DE
AGUAS LLUVIAS

TOPOGRAFO
SALVADOR LOPEZ GONZALEZ

DESCRIPCION:

Monolito de hormigón color rojo de 4" de diámetro, sobresaliente 0.05 m, con fierro central Ø 10 mm.
Se ubica en el costado sur de la quebrada La Isla

PR-1

FECHA: JUNIO 2015



REGION: IV REGION
PROVINCIA: LIMARÍ
COMUNA: COMBARBALÁ
SECTOR: LA MORALINA

Coordenada Topografica	
Vertice	PR-1
Norte	6,574,110.90
Este	294,411.80
Cota	656.00
Datum origen	SIRGAS 2000

Nota: Cota geometrica.

PROYECTO :
ESTUDIO DE COSECHA DE
AGUAS LLUVIAS

TOPOGRAFO
SALVADOR LOPEZ GONZALEZ

DESCRIPCION:

Fierro de 10 mm de diámetro, anclado a una roca.
Se ubica al lado oeste de la quebrada La Moralina.
Desde este punto se visualiza el desarrollo del cauce de la microcuenca.

PR-2

FECHA: JUNIO 2015



REGION: IV REGION
PROVINCIA: LIMARÍ
COMUNA: COMBARBALÁ
SECTOR: LA MORALINA

Coordenada Topografica	
Vertice	PR-2
Norte	6,574,104.87
Este	294,370.81
Cota	662.40
Datum origen	WGS-84

Nota: Cota geometrica.

PROYECTO :
ESTUDIO DE COSECHA DE
AGUAS LLUVIAS

TOPOGRAFO
SALVADOR LOPEZ GONZALEZ

DESCRIPCION:

Monolito de hormigón color rojo de 4" de diámetro, sobresaliente 0.05 m, con fierro central Ø 10 mm. Se ubica a un costado oeste de la microcuenca La Moralina, colindando con una pirca en mal estado. Desde este punto se visualiza el desarrollo del cauce de la microcuenca.

PR-1

FECHA: JUNIO 2015



REGION: IV REGION
PROVINCIA: CHOAPA
COMUNA: CANELA
SECTOR: LOS RULOS

Coordenada Topografica	
Vertice	PR-1
Norte	6,543,044.00
Este	286,381.00
Cota	871.00
Datum origen	WGS-84

Nota: Cota geometrica.

PROYECTO :
ESTUDIO DE COSECHA DE
AGUAS LLUVIAS

TOPOGRAFO
SALVADOR LOPEZ GONZALEZ

DESCRIPCION:

Fierro de 10 mm de diámetro, anclado a una roca.

Se ubica al lado este de la quebrada Los Rulos.

Desde este punto se visualiza el desarrollo del cauce de la microcuenca.

PR-2

FECHA: JUNIO 2015



REGION: IV REGION
PROVINCIA: CHOAPA
COMUNA: CANELA
SECTOR: LOS RULOS

Coordenada Topografica	
Vertice	PR-2
Norte	6543263.01
Este	286407.32
Cota	874.15
Datum origen	WGS-84

Nota: Cota geometrica.

PROYECTO :
ESTUDIO DE COSECHA DE
AGUAS LLUVIAS

TOPOGRAFO
SALVADOR LOPEZ GONZALEZ

DESCRIPCION:

Monolito de hormigón color rojo, sobresaliente 0.05 m, con fierro central de \varnothing 10 mm.

Se ubica al costado este de la quebrada Los Rulos, en la parte superior del levantamiento topográfico.

Desde este punto se observa el cauce superior de la quebrada.

La información base de cada topografía se trabajó con un software de topografía de Autocad Civil y se desarrollaron los respectivos planos de planta, perfiles longitudinales por el eje de la quebrada y transversales cada 20 metros, partiendo de la cota más baja del eje de las quebradas. También se realizaron ejes transversales en los puntos donde se ubicarán las obras de intercepción.

En terreno, se materializó la ubicación de las obras de intercepción con una hilera de piedras pintadas en color blanco. Cada una de estas materializaciones de las barreras, tiene un desnivel entre ellas de 2 metros.

Microcuenca La Isla, Comunidad Agrícola Peña Blanca. El levantamiento topográfico de la microcuenca La Isla, determinó que la pendiente general del sector seleccionado es de 2,55%. Con esta pendiente, se pueden ubicar con un desnivel de 2 metros entre cada obra de intercepción de aguas lluvias, a una distancia aproximada de 80 metros la primera barrera con respecto a la segunda y de 78 metros la segunda barrera con respecto a la tercera.

En terreno se localizaron los futuros emplazamientos de las barreras y se dejaron monolitos destacados con pintura blanca, la localización de estas barreras.

Microcuenca Los Rulos, Comunidad Canela Alta. El levantamiento topográfico de la microcuenca Los Rulos, determinó que la pendiente general del sector seleccionado es de 2,43%. Con esta pendiente, se pueden ubicar con un desnivel de 2 metros entre cada obra de intercepción de aguas lluvias, a una distancia aproximada de 50 metros la primera barrera con respecto a la segunda y de 84 metros la segunda barrera con respecto a la tercera.

En terreno se localizaron los futuros emplazamientos de las barreras y se dejaron monolitos destacados con pintura blanca, la localización de estas barreras.

Microcuenca La Moralina, Comunidad de Manquehua. El levantamiento topográfico de la microcuenca La Moralina, determinó que la pendiente general del sector seleccionado es de 1,07%. Con esta pendiente, se pueden ubicar con un desnivel de 2 metros entre cada obra de intercepción de aguas lluvias, a una distancia aproximada de 150 metros la primera barrera con respecto a la segunda y de 180 metros la segunda barrera con respecto a la tercera.

En terreno se localizaron los futuros emplazamientos de las barreras y se dejaron monolitos destacados con pintura blanca, la localización de estas barreras.

Como puede observarse, las microcuenca La Moralina de la Agrícola de Manquehua, tiene condiciones topográficas más adecuadas para la acumulación de agua superficial si se construyen barreras de intercepción de flujo superficial de agua, es a su vez, la microcuenca con una superficie aportante de agua mayor que todas.

La Microcuenca La Isla de la Agrícola de Peña Blanca y la de Los Rulos de la Comunidad Agrícola de Canela Alta, tienen condiciones topográficas similares, con una capacidad de acumulación de agua superficial menor que la de la Moralina y con superficies de cuencas aportantes menores, siendo la superficie aportante más pequeña la de la microcuenca La Isla, de la Comunidad Agrícola de Peña Blanca.

CONSULTA LEGAL A LA DIRECCION GENERAL DE AGUAS
SOBRE INTERVENCION DE CAUCES NATURALES DE ESCURRIMIENTO INTERMITENTE

La intervención de cauces naturales de escurrimiento intermitente, está reglamentada por el Código de Aguas. Por esta razón se efectuó una consulta al Departamento Legal de la Dirección General de Aguas, con respecto a la construcción de obras que intercepten cauces de escurrimiento intermitente de las aguas pluviales, si se pueden intervenir éstos para construir obras que permitan captar o cosechar escurrimiento de aguas de origen pluvial.

Se solicitó a la DGA que pudiese definir lo que se entiende como "cauce natural de corrientes discontinuas formadas por aguas pluviales", respondiendo que "El Código de Aguas no define el término de cauces naturales de corrientes discontinuas formadas por aguas pluviales".

Se consultó a su vez si La Dirección General de Aguas, tiene calificados en las áreas de secano que cauces cumplen con lo especificado en la primera frase del Artículo 31, es decir, que sean álveos de corrientes discontinuas de uso público, y si no tuviese la calificación de los cauces, ¿que aspectos técnicos y legales deben considerarse para clasificar un cauce como "álveos de corrientes discontinuas de uso público" o "cauce natural de corrientes discontinuas formadas por aguas pluviales"?, respondiendo que "no tiene la calificación en las áreas de secano, qué cauces cumplen con lo especificado en la primera frase del Artículo 31. En todo caso, la referencia para usos prácticos son las cartas del IGM."

Finalmente señala que, "las obras que se construyen tanto en cauces naturales de uso público como en cauces particulares, deben en ambos casos tener aprobación de la Dirección General de Aguas".

De acuerdo a lo indicado por el Departamento Legal de la Dirección General de Aguas, se pueden construir obras en cauces naturales de corrientes discontinuas formadas por aguas pluviales, pero requieren la aprobación de la Dirección General de Aguas, por lo tanto, estos proyectos deben presentarse a la Dirección General de Aguas, cumpliendo todos las exigencias administrativas definidas en el Código de Aguas.

PLANOS.

Los planos, productos de la topografía, desarrollados para esta primera etapa del estudio son:

1. Microcuenca La Isla:
 - Plano de planta en escala 1:1.000; perfil longitudinal del eje de la quebrada, en escala vertical 1:250 y Horizontal 1:500. Perfiles longitudinales de los puntos de emplazamiento de las barreras, en escala vertical 1:250 y Horizontal 1:500.
 - Plano de perfiles transversales cada 20 metros de la quebrada, en escala vertical 1:250 y Horizontal 1:500.

2. Microcuenca La Moralina:
 - Plano de planta en escala 1:1.000; perfil longitudinal del eje de la quebrada, en escala vertical 1:250 y Horizontal 1:500. Perfiles longitudinales de los puntos de emplazamiento de las barreras, en escala vertical 1:250 y Horizontal 1:500.
 - Plano de perfiles transversales cada 20 metros de la quebrada, en escala vertical 1:250 y Horizontal 1:500.

3. Microcuenca Los Rulos:
 - Plano de planta en escala 1:1.000; perfil longitudinal del eje de la quebrada, en escala vertical 1:250 y Horizontal 1:500. Perfiles longitudinales de los puntos de emplazamiento de las barreras, en escala vertical 1:250 y Horizontal 1:500. Plano de perfiles transversales cada 20 metros de la quebrada, en escala vertical 1:250 y Horizontal 1:500.

BIBLIOGRAFÍA

ABDALLA, F. 2012. Mapping of groundwater prospective zones using remote sensing and GIS techniques: A case study from the Central Eastern Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*. 70 (1): 8-17.

AL-ADAMAT, R. 2008. GIS as a decision support system for siting water harvesting ponds in Jordan. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*. 10 (2): 189-206.

AL-ADAMAT, R., DIABAT, A. y SHATNAWI, G. 2010. Combining GIS with multicriteria decision making for siting water harvesting ponds in Northern Jordan. *Journal of Arid Environments*. 74 (11): 1471-1477.

ALI JAMALI, I., OLOFSSON, B. y MÖRTBERG. 2013. Locating suitable sites for the construction of subsurface dams using GIS. *Environmental Earth Sciences*. 70 (6): 2511-2525.

BURROUGH, P. y MCDONNELL, R. 1998. Principles of Geographical Information Systems. 2ª ed. Oxford: Oxford University Press. 333 p.

CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES. 1990. Mapa Agroclimático de Chile, Regiones IV a IX. 67 p.

CHEN, D., SHAMS, S., CARMONA-MORENO, C. y LEONE, A. 2010. Assessment of open source GIS software for water resources management in developing countries. *Journal of Hydro-environment Research*. 4 (3): 253-264.

DEEPIKA, B., AVINASH, K. y JAYAPPA, KS. 2013. Integration of hydrological factors and demarcation of groundwater prospect zones: insights from remote sensing and GIS techniques. *Environmental Earth Sciences*. 70 (3): 1319-1338.

DIAS, L., ROCHA, G., BARROS, E. y MAIA, P. 2004. Utilização do radar interferométrico para delimitação automática de bacias hidrográficas. *Bahia Análise & Dados*. 4 (2): 265-271.

EL-AWAR, FA., MAKKE, MK., ZURAYK, RA. Y MOHTAR, RH. 2000. A spatial hierarchical methodology for water harvesting in dry lands. *Applied Engineering in Agriculture*. 16 (4): 395-404.

FORKUOR, G., Y MAATHUIS, B. 2012. Comparison of SRTM and ASTER Derived Digital Elevation Models over Two Regions in Ghana - Implications for Hydrological and Environmental Modeling, *Studies on Environmental and Applied Geomorphology*. INTECH. 280 p. [En línea] Disponible en: <<http://www.intechopen.com/books/studies-on-environmental-and-applied-geomorphology/comparison-of-srtm-and-aster-derived-digital-elevation-models-over-two-regions-in-ghana>> [Consulta: 12 de mayo 2015].

GARCIA, J. y GIMENEZ, M. 2010. Comparison of mathematical algorithms for determining the slope angle in GIS environment. *Aqua-LAC: Journal of the International Hydrological Programme for Latin America and Caribbean*. 2 (2): 78-82.

GOMEZ, MF., LENCINAS, JD., SIEBERT, A. y DIAS, GM. 2012. Accuracy Assessment of ASTER and SRTM DEMs: A Case Study in Andean Patagonia. *Giscience & Remote Sensing*. 49 (1): 71-91.

- GROHMANN, C. 2004 . Morphometric analysis in geographic information systems: applications of free software GRASS and R. *Computers & Geosciences*. 30 (9-10): 1055-1067.
- HANSON, G. y NILSSON, A. 1986. Ground-Water Dams for Rural-Water Supplies in Developing Countries. *Ground Water*. 24 (4): 497-506.
- HIRT, C., FILMER, MS. y FEATHERSTONE, WE. 2010. Comparison and validation of the recent freely available ASTER-GDEM ver1, SRTM ver4.1 and GEODATA DEM-9S ver3 digital elevation models over Australia. *Australian Journal of Earth Sciences*. 57 (3): 337-347.
- HORN, BKP. 1981. Hill shading and the reflectance map. *Proceedings of the IEEE*. 69 (1): 14-47.
- ISHIDA, S., TSUCHIHARA, T., YOSHIMOTO, S. y IMAIZUMI, M. 2011. Sustainable Use of Ground-water with Underground Dams. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 45 (1): 51-61.
- KALLALI, H., ANANE, M., JELLALI, S. y TARHOUNI, J. 2007. GIS-based multicriteria analysis for potential wastewater aquifer recharge sites. *Desalination*. 215 (1-3): 111-119.
- MOORE, ID., GRAYSON, RB. y LADSON, AR. 1991. Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*. 5 (1): 3-30.
- NIKOLAKOPOULOS, KG., KAMARATAKIS, EK. y CHRYSOULAKIS, N. 2006. SRTM vs ASTER elevation products. Comparison for two regions in Crete, Greece. *International Journal of Remote Sensing*. 27 (21): 4819-4838.
- LUEDELING, E., SIEBERT, S. y BUERKERT, A. 2007. Filling the voids in the SRTM elevation model A TIN-based delta surface approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*. 62 (4): 283-294.
- ROZAS, D., REBOLLEDO, G., GUTIERREZ, P. y VALDEBENITO, C. 2010. Evaluación de la calidad de los DEM ASTER y SRTM en una cuenca costera de la Región de La Araucanía, bajo distintas condiciones de relieve y cobertura vegetal, basada en puntos de control terrestre. En: LARS. Latin American Remote Sensing Week – Regional ISPRS Conference, Santiago, Chile, 4-8 de Octubre de 2010.
- SILVA, A., PORTO, E., BRITO, L., LOPES, P. y PÉREZ ARANA, S. 2000. Embalse subterráneo, Brasil. En: FAO Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia: experiencias en América Latina. Santiago: FAO. p. 175-186.
- SUBSECRETARÍA DE DESARROLLO REGIONAL Y ADMINISTRATIVO, CEPAL. 2013. Guía análisis y zonificación de cuencas Hidrográficas para el ordenamiento territorial. 1ª ed. Santiago: SUBDERE. 140 p.
- WISE, S. 2000. Assessing the quality for hydrological applications of digital elevation models derived from contours. *Hydrological Processes*. 14 (11-12): 1909-1929.
- ZEVENBERGEN, LW. y THORNE, CR. 1987. Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*. 12 (1): 12-56.