



Gobierno Regional
Región de Valparaíso



SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS (SCALL) Y SU APLICACIÓN EN EL ESTABLECIMIENTO DE MAQUI



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE

FACULTAD
DE AGRONOMÍA
E INGENIERÍA
FORESTAL



“Esta iniciativa ha sido financiada por el Fondo de Innovación para la Competitividad del Gobierno Regional de Valparaíso año 2015”



Gobierno Regional
Región de Valparaíso



Sistema de captación de aguas lluvias (Scall) y su aplicación en el establecimiento de maqui

Autores:

Pontificia Universidad Católica de Chile

M. Paulina Fernández Q.
Claudia Bonomelli P.
Claudio Guevara D.
María Menéndez-Miguélez
Valentina Celis R.
Cristián Barrera M.
Claudio Preller D.

Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental

Roberto Pizarro T.
Claudia Sangüesa P.
Ursula Doll
David Campos C.
Ángel Berríos V.
Carlos Vallejos C.
Romina Mendoza M.
Juan Pino F.



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE

FACULTAD
DE AGRONOMÍA
E INGENIERÍA
FORESTAL



2017

ISBN: 978-956-329-075-2



9 789563 290752

PRÓLOGO

A comienzos del siglo XXI, Chile como país que presenta una amplia extensión latitudinal y una alta variabilidad climática longitudinal, que equivale a un país que en el hemisferio norte iría desde el polo norte pasando Escandinavia y Europa hasta el centro de África, se está enfrentando a una realidad que define una carencia de las disponibilidades del recurso hídrico en base a factores de variabilidad y de cambio climático por una parte, y por otra, a un incremento de los consumos de agua. Así y según la Dirección General de Aguas, los consumos se han incrementado 2,6 veces entre el año 1990 y el 2006. Este contexto está haciendo que el Estado de Chile a través del Gobierno central, los Gobiernos Regionales, las políticas públicas, las investigaciones científicas y la legislación intenten adaptarse a un escenario de alta incertidumbre climática.

En el sector rural esta realidad se hace más palpable, toda vez que estas zonas son dependientes directas de las disponibilidades de agua para la agricultura, el turismo, el sector forestal o el sector minero. Además se están afectando ecosistemas de gran relevancia para nuestra rica biodiversidad terrestre y del extenso borde costero. Pero, dada la situación anteriormente mencionada, es difícil propiciar nuevas ofertas de agua, sin afectar las ya existentes. Por eso, surge entonces la factibilidad de usar las aguas lluvias en superficies reducidas, con el fin de acumularlas y destinarlas a diversos usos, como es el caso de plantaciones específicas y de alto interés ambiental, económico o científico.

En este marco, la Universidad de Talca había desarrollado desde hace 4 años experiencias de desarrollo científico y tecnológico en las materias de captación de aguas lluvias, pero sin validación en zonas como la Región de Valparaíso. Asimismo, la Pontificia Universidad Católica de Chile, se encontraba realizando ensayos y análisis sobre la posibilidad de establecer plantaciones de *Aristotelia chilensis*, el maqui o el *berrie* chileno, cuyo fruto está alcanzando gran notoriedad mundial, por su elevada concentración de antioxidantes lo que lo convierte en un producto de alta demanda desde un punto de vista comercial farmacéutico y científico.

En función de lo expuesto, se gestó esta idea de proyecto relativa a unificar la experiencia de diseño y construcción de los sistemas de captación de aguas lluvias, con la posibilidad de instaurar maqui en terrenos desertificados de la Región de Valparaíso y ello en base a un adecuado abastecimiento de agua. El proyecto fue presentado al Fondo para la Innovación y la Competitividad de la Región de Valparaíso y fue aprobado en el año 2015 con el código BIP N°30.397.674-0 y el nombre *Establecimiento con fines productivos de Aristotelia chilensis (maqui) en zonas rurales de la Región de Valparaíso a través de la utilización de sistemas de captación de aguas lluvias (SCALL)*.

Derivado de la importancia científica y tecnológica que poseía un proyecto de este tipo y considerando las opciones de utilización silvícola de la *Aristotelia chilensis* en zonas degradadas, no solo en la región de Valparaíso, si no que de todo el país, el **Centro de Extensión del Senado de la República** ha apoyado desde sus inicios la difusión de este proyecto, haciéndose parte de la estrategia de difundir y diseminar los resultados técnicos y ambientales conseguidos. Lo anterior, es altamente relevante desde la perspectiva de aumentar la oferta de agua en zonas rurales mediante los Sistemas de Captación de Aguas de Lluvias, así como conocer y utilizar una especie nativa chilena que es capaz de entregar un fruto de alta demanda internacional, y que se constituye en un fiel representante del bosque nativo chileno.

En el marco descrito, este documento pretende ser un manual que describe la experiencia alcanzada en terreno y en el desarrollo del proyecto, desde la perspectiva de los sistemas de captación de aguas lluvias y desde la óptica de las posibilidades de plantar *Aristotelia chilensis* y en el futuro cercano de otras especies nativas dada nuestra alta biodiversidad en zonas de suelos degradados de la Región de Valparaíso y de otras regiones ya que más de 60% del territorio sufre procesos de erosión y desertificación agravados por los efectos del cambio climático.

ANTONIO HORVATH KISS
Senador de la República
Director Centro de Extensión del Senado

CONTENIDO

1.- INTRODUCCIÓN	7
2.- ANTECEDENTES GENERALES DEL PROYECTO	9
2.1. Antecedentes de los sistemas de captación de aguas lluvias	9
2.1.1. Antecedentes históricos en el mundo	9
2.1.1.1. Historia antigua	9
2.1.1.2. Situación en otros países	10
2.1.1.3. Historia de los sistemas de captación de aguas lluvias en la Región del Maule, Chile	12
2.2. Antecedentes del maqui	17
2.2.1. Introducción	17
2.2.2. Antecedentes de la especie	17
2.2.2.1. Distribución geográfica y asociaciones vegetacionales	17
2.2.2.2. Características botánicas y fisiológicas	17
2.2.3. Propiedades químicas del fruto de maqui	20
2.2.4. Usos	22
2.2.4.1. Productos comestibles	22
2.2.4.2. Productos medicinales	22
2.2.4.3. Productos cosméticos	23
2.2.5. Mercado	23
2.2.6. Manejo productivo	24
2.2.6.1. Métodos de propagación	24
2.2.6.2. Cultivo	25
2.2.6.3. Poda	27
2.2.6.4. Cosecha	27
2.2.6.5. Pos cosecha	28
3.- DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN ZONAS RURALES DE LA REGIÓN DE VALPARAÍSO	28
3.1. Criterios de selección de los sitios para la construcción de los SCALL y la plantación de maqui	28
3.2. Diseño hidrológico	29
3.2.1. Selección de las estaciones meteorológicas	29
3.2.2. Tratamiento estadístico	30
3.2.2.1. Función de Distribución de Probabilidad (FDP)	30
3.2.2.2. Ajuste a una Función de Distribución de Probabilidad	31
3.2.2.3. Pruebas de bondad del ajuste	31
3.2.3. Determinación de la precipitación de diseño	32
3.2.4. Coeficiente de escorrentía	33
3.3. Cálculo del área de captación o volumen a acumular	34
3.3.1. Área de captación	34
3.3.2. Sistema de conducción	34
3.3.3. Hidroacumulador	34
3.3.4. Obtención de la precipitación de diseño para las diferentes localidades	36
3.4. Construcción de los sistemas de captación de aguas lluvias	36
3.4.1. Replanteo en terreno	36
3.4.2. Etapas de construcción de los SCALL	37

3.4.2.1. Preparación del terreno	37
3.4.2.2. Soporte de la geomembrana en el área de captación	39
3.4.2.3. Instalación de la geomembrana, hidroacumulador y sistema de conducción	39
3.4.2.4. Prueba del sistema	42
3.5. Materiales utilizados	43
3.6. Costos asociados a la construcción de los SCALL	44
3.7. Estaciones meteorológicas	44
4.- ESTABLECIMIENTO DE LAS PLANTACIONES DE MAQUI EN LA REGIÓN DE VALPARAÍSO	46
4.1. Descripción de los sitios	46
4.1.1. Localidad de Las Palmas	46
4.1.2. Localidad de Santa Julia	47
4.1.3. Predio Santa María de Pullally	48
4.1.4. Predio el Leoncito	49
4.1.5. Reserva Nacional Lago Peñuelas	50
4.2. Descripción de suelos	51
4.3. Descripción de las plantas	52
4.4. Diseño de la plantación	56
4.5. Descripción de las plantaciones	58
4.6. Riego	59
5.- RESULTADOS Y DESAFÍOS	62
5.1. Resultados y desafíos de los sistemas de captación de aguas lluvias	62
5.1.1. Resultados de los sistemas de captación de aguas lluvias	62
5.1.2. Desafíos de los sistemas de captación de aguas lluvias	63
5.2. Resultados y desafíos del maqui	63
5.2.1. Resultados de las plantaciones de maqui	63
5.2.2. Desafíos de las plantaciones de maqui	64
6.- AGRADECIMIENTOS	64
7.- BIBLIOGRAFÍA	65
8.- AUTORÍA FOTOGRAFÍAS	68
9.- ANEXOS	69
Anexo 1. Funciones estadísticas para la estación ubicada en Reserva Nacional Lago Peñuelas	69
Anexo 2. Actividades de difusión	77

1.- INTRODUCCIÓN

El presente proyecto titulado *Establecimiento de plantaciones con fines productivos de Aristotelia chilensis (Maqui) en zonas rurales de la Región de Valparaíso a través de la utilización de sistemas de captación de aguas lluvia (SCALL)*, fue financiado por el Fondo de Innovación para la Competitividad FIC-R 2015 del Gobierno Regional de Valparaíso y se gestó en respuesta a dos problemas fundamentales que afectan a las zonas rurales de la Región: por una parte, el aumento de escasez de agua en la Región, y por otra parte, la degradación de los suelos que genera pérdidas de rendimiento y empobrecimiento de los sistemas productivos.

De acuerdo a Santibáñez (2001), alrededor del 70% del territorio de la Región de Valparaíso presenta condiciones de desertificación, generadas por la acción de la agricultura y la ganadería intensiva con la consecuente erosión de los suelos y disminución de la flora y fauna típica de la región, así como por el cambio en el comportamiento de las precipitaciones, las cuales han ido disminuyendo paulatinamente. De acuerdo a Pizarro *et al.* (2013), los caudales en cuencas de clima semiárido y templado han presentado un comportamiento diferente en los últimos decenios, ya que han mostrado una disminución de los valores de caudales punta, posiblemente como resultado del cambio climático.

Debido a esto último, se hace cada día más común en la Región de Valparaíso, que varias comunas hayan sido declaradas zonas de escasez hídrica en diversas oportunidades, buscando con ello asegurar el abastecimiento de agua potable para la población e implementar medidas de emergencia como apoyo a los agricultores afectados por las continuas sequías.

En definitiva, se ha ido produciendo una pauperización de los sectores rurales, especialmente en aquellos con suelos degradados y/o con escasez hídrica, lo que hace que sea imperioso el buscar alternativas productivas que se adapten a estas nuevas condiciones, pero promoviendo además el uso eficiente del agua. Es en este marco que se planteó el desarrollar **Sistemas de Captación de Aguas Lluvias (SCALL)**, que permitieran captar y almacenar las aguas lluvias invernales, desplazando su aprovechamiento a la temporada de primavera/verano, momento en que serían usadas para el riego de cultivos. Por otra parte, el cultivo a escoger debía cumplir dos importantes requisitos: tener una adaptación a las condiciones locales, y mostrar un potencial productivo y comercial. Es así como se escoge la reintroducción del **Maqui (*Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz)**, especie nativa de la Región, cuyo fruto presenta una creciente demanda internacional, debido a su extraordinaria concentración de antioxidantes.

El proyecto tuvo como objetivos el desarrollar un modelo de establecimiento de plantaciones de maqui sustentado en base al uso de Sistemas de Captación Aguas Lluvias, en áreas degradadas de la región de Valparaíso, para aumentar la producción de frutos y generar una alternativa sustentable para familias rurales, desde un punto de vista económico y ambiental. Asimismo, se busca establecer los lineamientos de ingeniería y de diseño para la implementación de los SCALL en áreas rurales de la Región de Valparaíso, con fines de abastecimiento hídrico de áreas productoras de maqui o eventualmente de otros cultivos.

El proyecto estableció cinco sistemas de captación de aguas lluvias con capacidad para almacenar 30.000 litros de agua cada uno, y asociar a cada sistema una plantación experimental de maqui (140 plantas) con sistema de riego por goteo, que será abastecida durante los meses sin lluvia con riegos de mantención. Los ensayos están ubicados en las comunas de Petorca, Papudo, Puchuncaví y Valparaíso.

Como criterios para la selección de los lugares donde instalar las unidades demostrativas, se determinó que era importante que los sitios presentaran condiciones restrictivas típicas de suelos degradados de la Región: es decir, zonas de suelos delgados, suelos arenosos costeros, con pendiente, con afloraciones rocosas u otras características de esa índole. La premisa fundamental fue trabajar en condiciones difíciles, que aseguraran la posibilidad de replicar posteriormente las experiencias en la mayor superficie posible de la Región.

El otro criterio fundamental fue buscar propietarios comprometidos, que creyeran en el proyecto y que estuvieran dispuestos a aportar una pequeña superficie para la instalación de la unidad demostrativa respecti-

va, así como a cuidarla, mantenerla y permitir que se convierta en una unidad demostrativa para otros productores interesados a futuro en replicar la experiencia.

En la selección de los sitios y propietarios, se contó con el valioso apoyo de la Corporación Nacional Forestal de la Región de Valparaíso, quien realizó los contactos con los propietarios.

Como resultados del proyecto, se tienen hoy 5 unidades demostrativas en funcionamiento. Se espera que en el futuro estas unidades sigan siendo objeto de visitas y análisis, y que, de alguna manera, el aporte de este proyecto en particular, permita introducir en la Región los sistemas de captación de aguas lluvias como una herramienta sustentable para llevar agua a sectores remotos, y por otra parte, abra la posibilidad de que la Región considere al maqui como una opción de cultivo, en el contexto de mercado tan promisorio por el que está atravesando la especie.

2.- ANTECEDENTES GENERALES DEL PROYECTO

2.1. Antecedentes de los sistemas de captación de aguas lluvias

A través de los siglos, han sido diversas las formas utilizadas para la captación pluvial. En la actualidad, la implementación y aplicación de Sistemas de Captación de Aguas Lluvia es una temática que ha sido abordada en muchos lugares del mundo (Ballén *et al.*, 2006). En este sentido, el Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental de la Universidad de Talca ha sido pionero en la captación de aguas lluvias en el país mediante la ejecución de diversos proyectos financiados con fondos concursables. Así, en el año 2009 se diseñó y construyó una cisterna de acumulación de aguas lluvias para uso doméstico en la localidad de Romeralsillo, Región de Coquimbo (UNESCO, 2015). Esta fue desarrollada como una unidad demostrativa del proyecto Innova-Corfo Regional (05CR11FT-15) ejecutado durante los años 2006 y 2009. El sistema diseñado consideró un área de captación de 308 m² para un estanque de acumulación de 21 m³, esto con un promedio anual de precipitaciones para el lugar de alrededor de los 179,1 mm/año. Este constituye uno de los primeros registros de sistemas de captación de aguas lluvias en el país.

2.1.1. Antecedentes históricos en el mundo

2.1.1.1. Historia antigua

Diferentes formas de captación de aguas se han utilizado tradicionalmente a lo largo de la historia de las civilizaciones, pero estas tecnologías solo se han comenzado a estudiar y masificar recientemente. En base a la distribución de restos de estructuras de captación de agua de lluvia en el mundo y el continuo uso de estas obras en la historia, se puede concluir que las técnicas acumulación pluvial cumplen un papel importante en la producción agrícola. Además, satisfacen las necesidades domésticas, con uso intensivo en las regiones áridas o semiáridas del planeta (Ballén *et al.*, 2006).

Probablemente la cisterna más grande es la de Yerebatan Sarayi (Figura 1, izquierda), construida en la porción europea de Estambul (Turquía), bajo el mandato de César Justiniano (527-565 d.C.). Esta cisterna subterránea mide 140 x 70 metros y es capaz de almacenar 80 mil metros cúbicos de agua de lluvia. Otra cisterna que se logró ubicar, está enterrada bajo la colina Frederiksberg, en Copenhague (Figura 1, derecha); se encuentra en un enorme espacio subterráneo que llegó a almacenar hasta 16 mil metros cúbicos de agua para los habitantes de Copenhague. Antes de que la cisterna se construyera, Copenhague tuvo algunos problemas importantes de agua durante la década de 1800. Entre otras cosas, las fuentes de agua estaban muy contaminadas y como la ciudad crecía verticalmente, se hizo cada vez más difícil que el agua llegase a los pisos superiores. Cuando una epidemia de cólera en 1853 cobró la vida de más de 4.700 habitantes, se tomó la decisión de construir una cisterna para mejorar el agua potable de Copenhague (Mikkelsen, 1999).



Figura 1. Izquierda: El Yerebatan Sarayi en Turquía, es considerado la cisterna de almacenamiento de aguas lluvias más grande del planeta. Derecha: Cisterna enterrada bajo la colina Frederiksberg, en Copenhague.

Fuente: <http://yerebatana.com> y <http://destinoinfinito.com/cisternerne-copenhague/>

2.1.1.2. Situación en otros países

A. Estados Unidos de América

Los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia son usados en los siguientes 15 estados y territorios de los Estados Unidos: Alaska, Hawai, Washington, Oregon, Arizona, Nuevo México, Texas, Kentucky, Ohio, Pennsylvania, Tennessee, North Carolina, Virginia, West Virginia y las Islas Vírgenes. Se estima que más de medio millón de personas en los Estados Unidos utilizan sistemas de aprovechamiento de agua lluvia, y se abastecen de agua para usos domésticos o propósitos agrícolas, comerciales o industriales. Además, existen más de 50 compañías especializadas en el diseño y construcción de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias. En el mismo sentido, se puede agregar que Texas es el Estado donde más se utilizan los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias. Una casa típica en dicho estado tiene un área de 200 m² de cubierta y puede capturar más de 150.000 litros de agua al año, con una precipitación anual media de 850 mm. El costo de los sistemas depende básicamente del tamaño de la cisterna de almacenamiento; así, su aplicación en una casa puede costar entre US\$ 5000 y US\$ 8000 (precio de referencia correspondiente al año 2000), incluyendo los canales y tuberías para conducir el agua a la cisterna, el costo de la cisterna, la bomba y el sistema de tratamiento (UNESCO, 2015).



Figura 2. Sistemas de captación de aguas lluvias urbanos en Estados Unidos. Fuente: www.mppcb.nic.in y www.acmesand.com.

B. Brasil

A partir del año 2000, con el apoyo del Ministerio de Medio Ambiente de Brasil, se inició un proyecto piloto denominado Programa de Formación y Movilización Social para la Convivencia con el Semiárido: Un Millón de Cisternas Rurales (P1MC) que consiguió la movilización y capacitación de 15.000 familias y la construcción de 13.200 cisternas en 8 estados brasileños. Este programa partió de una iniciativa de la sociedad civil organizada,

con el fin de garantizar el acceso al agua potable a familias en el semiárido brasileño, donde el problema de la escasez de agua para el consumo humano directo afecta a la supervivencia de esta población. En 2003, la garantía del acceso a agua de calidad para consumo humano fue incorporada como componente fundamental de la Política Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional. El Gobierno Federal, a través del Ministerio de Desarrollo Social y Lucha contra el Hambre (MDS), pasó a apoyar y financiar el Programa de Formación y Movilización Social para la Convivencia con el Semiárido, teniendo como meta movilizadora la construcción de un millón de cisternas rurales (Pizarro *et al.*, 2016).

Desde 2003, el MDS apoya y financia programas de construcción de cisternas y formación para que las comunidades locales convivan con el Semiárido. Hasta junio de 2009, 202.066 personas fueron capacitadas en gestión de recursos hídricos; 8.515 albañiles fueron formados en técnicas de construcción de cisternas; 4.114 jóvenes fueron capacitados en confección e instalación de bombas manuales y 202.066 cisternas domiciliarias de 16 m³ fueron construidas (Articulação Semiárido Brasileiro, 2015).

Otro proyecto de acumulación de aguas lluvias ejecutado en Brasil, es el proyecto de las cisternas en las escuelas, creado con la intención de garantizar el derecho al agua para los niños y adolescentes en la región semiárida (Figuras 3 y 4). De acuerdo al informe elaborado por Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) en 2009, de 37.600 escuelas rurales de la región semiárida de Brasil, 28.300 no contaban con servicios básicos como el agua pública (Articulação Semiárido Brasileiro, 2015).



Figura 3. Programa P1MC, Municipio de Itaobim, Brasil. Fuente: Pizarro *et al.* 2016.



Figura 4. Programa P1MC, Cisternas de acumulación de aguas lluvias en Escuelas, Brasil. Fuente: Pizarro *et al.* 2016.

C. México

Frente a la necesidad de contar con agua de buena calidad para el consumo humano, surge la Planta Potabilizadora demostrativa Unifamiliar o comunitaria del Estado de Guanajuato. Esta iniciativa nace en función de la necesidad de contar con una tecnología adecuada para potabilizar las aguas de fuentes superficiales de pequeñas comunidades en Guanajuato. Por ello se adaptó, diseñó y construyó a escala real, una planta piloto de filtración en múltiples etapas (FIME) en la localidad rural Mineral de Peregrina. Este proyecto tuvo como objetivo demostrar que este tipo de tecnología es adecuado para la apropiación social de la comunidad y funciona eficientemente. La potabilizadora es de operación sencilla, no requiere electricidad y es de bajo mantenimiento. Cuenta con un filtro grueso dinámico, dos filtros gruesos ascendentes en serie y un filtro lento de arena; además, se clora el agua a la salida de la planta, para conservar la calidad bacteriológica en la red (UNESCO, 2015).

Por otro lado, las comunidades de Coajomulco del municipio de Huitzilac, San Juan Tlacotenco y Santo Domingo Ocotitlán del municipio de Tepoztlán, El Pedregal, El Vigía y Felipe Neri del municipio de Tlalnepantla, Npopualco y Villa Nicolás Zapata del municipio de Totolapan, tienen como fuente primaria de abastecimiento de agua a la proveniente de la lluvia. A través del tiempo han gestionado la captación de agua de lluvia,

buscando disponer cantidades de agua en sus domicilios con cisternas y/o con las ollas (cisternas), a nivel comunitario, pero aún no se alcanza la dotación necesaria que garantice una continuidad en todo el año (Fonseca, s/f).



Figura 5. Captación de aguas lluvias u olla comunitaria en el municipio de Tlalnepantla, Estado de Morelos, México.



Figura 6. Construcción de Cisterna, Hormigón prefabricado, México. Fuente: Unesco 2015.

2.1.1.3. Historia de los sistemas de captación de aguas lluvias en la Región del Maule, Chile

En el año 2012, el Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental (CTHA) de la Universidad de Talca se adjudicó el proyecto FIC Maule “Transferencia, diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias”. En este proyecto se construyeron 12 Sistemas de Captación de Aguas Lluvias, que se ubicaron en las comunas de Licantén, Curepto, Longaví, Chanco y Pelluhue. En esta primera iniciativa de captación de aguas lluvias, se probaron distintas materialidades, tanto para el área de captación como para la acumulación de las aguas. Así, para la captación de las aguas se usó geomembrana y hormigón (Figuras 7 y 8), mientras que para el almacenamiento del agua se usaron excavaciones cubiertas con geomembrana y hormigón (ambas con techo de internit o zinc), estanques de fibra de vidrio y de PVC, estanque australiano y tanques flexibles o flexitank (Figuras 9 a 14). La ejecución de este proyecto y el desarrollo tecnológico de los SCALL, despertó el interés de diversos organismos gubernamentales y no gubernamentales, por implementarlos para diversos fines. Un ejemplo de ello fue que a partir del año 2014, Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) y la Delegación Presidencial para los Recursos Hídricos, fomentaron la construcción de estas obras en diversas partes de la Región del Maule y de otras regiones del país.

Un elemento altamente relevante que surgió de este proyecto, es que desde el punto de vista económico, un sistema de captación de aguas lluvias se evalúa como una alternativa al uso de los camiones aljibes. De esta manera, se estimó que en promedio cada SCALL genera un Valor actual neto (VAN) social esperado de \$13,7 millones de pesos, dado el diseño hidrológico propuesto para el sistema, fluctuando entre un mínimo de \$12 millones de pesos y un máximo de \$17 millones de pesos. Las diferencias observadas entre las distintas comunas analizadas se explican principalmente por el costo de transportar un metro cúbico de agua a través de camiones aljibes, mecanismo mediante el cual se soluciona actualmente el problema de agua en las comunas que fueron beneficiadas con el proyecto. El periodo de recuperación del capital se estima en 2,7 años. Así, se concluye que la implementación de un sistema de agua lluvia para zonas rurales de la Región del Maule, es una inversión segura, con VAN positivo y con un 99% de confianza, lo que la define como una alternativa económicamente viable.

Finalmente, de la ejecución de este proyecto salió la publicación del primer manual de diseño y construcción de los Sistemas de Captación de Aguas Lluvias, publicación que lleva el respaldo de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) para América Latina y el Caribe (Pizarro *et al.* 2016).



Figura 7. Área de captación de geomembrana en el sector de Peralillo, Chanco, Región del Maule.



Figura 8. Área de captación de hormigón en el sector de Los Marcos, Longaví, Región del Maule.



Figura 9. Excavación revestida con geomembrana, con capacidad de 50 m³ en el sector de El Huapi, Licantén, Región del Maule.



Figura 10. Excavación revestida con hormigón, con capacidad de 30 m³ en el sector de Los Marcos, Longaví, Región del Maule.



Figura 11. Estanque australiano con capacidad de 40 m³ en el sector de Peño Alto, Pelluhue, Región del Maule.



Figura 12. Estanque de fibra de vidrio con capacidad de 20 m³ en el sector de Ramadillas, Pelluhue, Región del Maule.



Figura 13. Estanque de PVC con capacidad de 20 m³ en el sector Peralillo, Chanco, Región del Maule.



Figura 14. Tanque flexible con capacidad de 30 m³ en el sector Loma de Vásquez, Longaví, Región del Maule.

2.2. Antecedentes del maqui

2.2.1. Introducción

El maqui (*Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz, familia *Elaeocarpaceae*) es un árbol nativo que se distribuye en Chile, desde el valle de Limarí hasta Aysén. Presenta gran adaptabilidad a distintas condiciones de suelo y clima, y es capaz de soportar altas temperaturas y condiciones de déficit hídrico, sin embargo, crece mejor en zonas húmedas y quebradas en su distribución más septentrional. En particular, en la Región de Valparaíso aún es posible encontrar maqui en los remanentes de bosque mediterráneo y mediterráneo y asociado a quebradas. En la actualidad, el maqui se ha convertido en uno de los principales berries a nivel mundial, derivado principalmente de sus propiedades antioxidantes. El fruto presenta cuatro veces más antioxidantes que otros berries, como el arándano o la frambuesa. Esto ha iniciado una demanda internacional que se ha traducido en crecientes exportaciones en forma de frutos congelados, deshidratado, jugo, conserva, entre otros productos.

Este hecho ha generado una fuerte presión sobre las poblaciones naturales, ya que la producción actual se basa en la recolección de frutos silvestres por parte de comunidades locales.

Por ello ha sido necesario profundizar los estudios sobre el fruto de maqui y el manejo tanto de las poblaciones naturales como también su cultivo agrícola, con el objetivo de aumentar la oferta y la calidad del fruto y disminuir la presión sobre las formaciones naturales durante los periodos de recolección.

El cultivo de maqui se presenta además como una oportunidad de recuperación de suelos degradados, dada la rusticidad de la especie y la posibilidad de reintroducirla en la Región de Valparaíso.

Se cree que, debido a la alta radiación solar de la Región de Valparaíso, la cantidad de antioxidantes producidos por la planta sería superior que en la zona sur. Esto sumado a que la maduración de los frutos ocurre algunas semanas antes en esta región, otorgando una oportunidad de mercado única para los productores de maqui.

2.2.2. Antecedentes de la especie

2.2.2.1. Distribución geográfica y asociaciones vegetacionales

El maqui es una especie nativa de los bosques subantárticos de Chile y Argentina. En Chile se ubica entre las provincias de Limarí (30°30'S; 71°00'O) y Aysén (44°55'S; 73°35'O), hasta los 2.500 msnm, formando parte de distintas formaciones boscosas, con una alta participación en remanentes de los bosques mediterráneos. Crece preferentemente en sitios húmedos y con alto contenido de materia orgánica, encontrándose también en laderas de cerros, bordes de bosques y suelos perturbados, quemados o explotados. Es considerada una especie pionera, ya que tiene la capacidad de invadir rápidamente superficies desprovistas de vegetación, formando a menudo sociedades monoespecíficas denominadas "macales". Se desarrolla tanto bajo el dosel arbóreo como en ambientes abiertos o fragmentados, con mayor luminosidad y menor disponibilidad hídrica (Rodríguez *et al.*, 1983; San Martín, 2003; Donoso, 2006; Forcone & Kutschker, 2006; Repetto-Giavelli *et al.*, 2007).

En Chile participa en los tipos forestales Esclerófilo, Roble-Hualo, Palma Chilena, Ciprés de la Cordillera de zonas más mediterráneas, y hacia el sur, en los tipos forestales Siempreverde, Coigüe-Raulí-Tepa y Roble-Raulí-Coigüe (Donoso, 2006).

2.2.2.2. Características botánicas y fisiológicas

El maqui pertenece al género *Aristotelia*, compuesto por cinco especies distribuidas en regiones templadas del Pacífico Sur (Australia, Nueva Zelanda, Chile y Argentina). Es una especie siempreverde, de alta plasticidad morfológica, que crece como arbusto o árbol, alcanzando normalmente entre 3 a 10 m de altura (Quirion *et al.*, 1987; Zevallos y Matthei, 1992).

Sus hojas son perennes, simples, opuestas, de color verde claro brillante, oval-lanceoladas y de borde aserrado. Su textura es coriácea y se caracterizan por presentar un pecíolo rojizo. Su corteza es lisa y clara, con tonos que varían desde el rojo oscuro al violeta (Urban, 1934; Rodríguez *et al.*, 1983) (Figura 15).

La especie presenta dos etapas de emergencia foliar al año; la primera durante la primavera con senescencia durante el otoño, seguida por la emergencia de las demás hojas en verano, con senescencia a mediados de la primavera siguiente (Damascos y Prado, 2001).

Ante cambios de luminosidad y disponibilidad hídrica, responde morfológica y fisiológicamente manteniendo su tasa fotosintética. Su plasticidad morfológica también se puede ver al comparar individuos de distinta procedencia geográfica, los cuales pueden presentar gran variación en el tamaño de hojas y ramas (Vogel *et al.*, 2014).



Figura 15. Ramificación y hojas de maqui.

El maqui es una especie dioica, con flores unisexuales (con un bajo porcentaje de flores hermafroditas), similares en su aspecto exterior pero con el sexo contrario atrofiado, lo que da origen a individuos masculinos y femeninos (Figura 16); aunque esporádicamente es posible observar la formación de frutos sobre individuos masculinos (Coode, 1985).

Las flores se encuentran reunidas en umbelas que nacen en las axilas de las hojas. Poseen 5 sépalos y 5 pétalos alternados de color amarillo pálido. Las flores femeninas tienen un ovario con estigma dividido en 3 partes rodeado de numerosos estambres estériles, mientras que las flores masculinas, de conformación similar, presentan un pistilo rudimentario rodeado por 10 a 15 estambres fértiles (Cárdenas, 1998).

El periodo de floración abarca desde los últimos días de septiembre hasta fines de noviembre para individuos ubicados en la zona centro sur de Chile, correspondientes a clima mediterráneo y templado cálido. En climas más fríos, la floración es más tardía, es decir, comienza en noviembre y termina a fines de diciembre (Riveros y Smith-Ramírez, 1995; Cárdenas, 1998).

Sus flores son polinizadas por insectos diurnos de lengua corta, de los órdenes *Hymenoptera*, *Diptera* y *Coleoptera*, donde *Policana albopilosa* y *Ruizantheda mutabilis* (especies nativas de Chile) concentran más del 90% de las visitas observadas (Mora, 1999).



Figura 16. Flores femeninas (izquierda) y flores masculinas (derecha) de maqui.

El fruto corresponde a una baya negra y brillante de hasta 5 mm de diámetro, de pulpa dulce y en cuyo interior se encuentran normalmente 4 a 5 semillas angulosas (Figuras 17 y 18). Es parte de la dieta de especies nativas como el zorro (*Pseudalopex* spp.), así como de diversas aves, siendo estas últimas un importante vector de dispersión de la especie (Urban, 1934; León-Lobos & Kalin-Arroyo, 1994).

Los frutos presentan mayor peso y tamaño cuando la flor demora menos de dos días en ser polinizada y tanto el peso promedio como el tamaño de los frutos producidos por polinización cruzada son significativamente mayores que aquellos frutos que se producen por autopolinización. La producción mediante autopolinización genera pérdidas importantes en cuanto a cantidad y calidad de fruto, por lo que en futuras producciones agrícolas la presencia de individuos masculinos se hace indispensable. Se estima que aproximadamente un 10% de los individuos en la plantación deberían ser masculinos para asegurar una buena polinización cruzada (Verdi, 2004; Bonometti, 2000; Vogel *et al.*, 2014).

La maduración del fruto se caracteriza por la concentración de pigmentos antocianicos que le dan un color morado oscuro, y se produce entre los primeros meses de verano, una vez acumulados 1.100 grados día (Rodríguez *et al.*, 1983; Fredes *et al.*, 2012).



Figura 17. Frutos inmaduros de maqui.



Figura 18. Frutos maduros de maqui.

2.2.3. Propiedades químicas del fruto de maqui

Desde un punto de vista de la composición química, el fruto de maqui posee distintos elementos que lo convierten en un fruto de interés a nivel mundial, como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química del fruto de maqui.

Ítem	Unidad	Cantidad
Calorías	g /100 g	150,0
Humedad	g /100 g	56,4
Proteínas	g /100 g	0,8
Lípidos	g /100 g	Trazas
Fibra cruda	g /100 g	0,8
Cenizas	g /100 g	1,2
Calcio	mg /100 g	87,0
Fósforo	mg /100 g	44,0
Hierro	mg /100 g	30,5
Sodio	mg /100 g	-
Potasio	mg /100 g	296,0

Fuente: Tabla de composición química de los alimentos chilenos (Schmidt-Hebbel *et al.*, 1992).

Además, en estudios realizados sobre frutos recolectados en la Patagonia chilena (comuna de Aysén, 45°24'S; 72°41'O) los niveles de fibra dietética total alcanzan los 15,37 g /100 g, superando ampliamente la cantidad de fibra presente en otros berries (Benedetti y Pavez, 2012).

Sin embargo, desde el punto de vista comercial, el maqui se ha destacado principalmente por tener un alto contenido de polifenoles y una gran variedad de antocianinas y flavonoides, tanto en sus frutos como en sus hojas, los cuales tienen una relación directa con la alta actividad antioxidante que presenta el fruto (Fredes y Montenegro, 2011).

Los antioxidantes son sustancias que retrasan o previenen el daño oxidativo debido a la presencia de radicales libres. El maqui se destaca por su gran capacidad antioxidante, comparado con otros berries comestibles a nivel mundial, siendo superado sólo por el calafate (*Berberis microphylla*), como se observa en el Gráfico 1 y en la Tabla 2. También ha sido comparado con otros frutos con alto contenido fenólico, como el açaí (*Euterpe oleracea*), de Brasil (García *et al.*, 2001; Speisky *et al.*, 2012; Gironés-Vilaplana *et al.*, 2014).

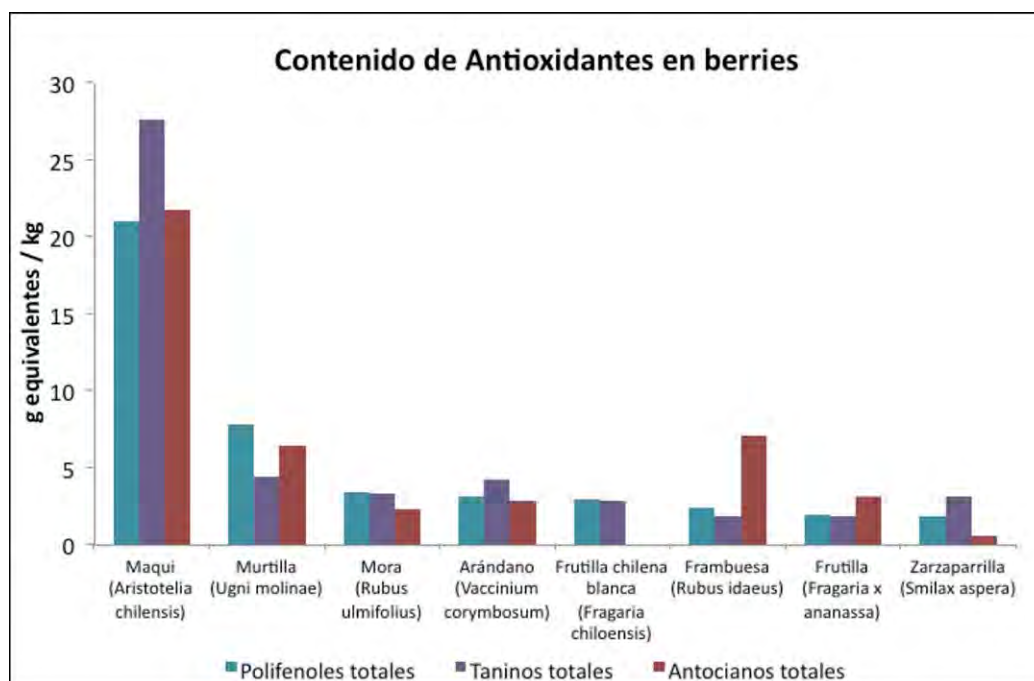


Gráfico 1. Comparación de contenido de antioxidantes en berries nativos e introducidos. PT=Polifenoles totales (g equivalentes de ácido gálico/kg), TT=Taninos Totales (g equivalentes de procianimida/kg) y AT= Antocianinas Totales (g equivalentes de malvidina 3-glu/kg). **Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de Fundación para la Innovación Agraria (FIA), 2009.

Tabla 2. Capacidad antioxidante (ORAC) de berries nativos e introducidos.

Especie	Promedio ($\mu\text{mol ET}/100 \text{ g peso fresco}$)
Calafate (<i>Berberis microphylla</i>)	25.662
Maqui (<i>Aristotelia chilensis</i>)	19.850
Murtilla (<i>Ugni molinae</i>)	10.770
Mora (<i>Rubus ulmifolius</i>)	9.043
Frambuesa (<i>Rubus idaeus</i>)	6.903
Zarzaparrilla (<i>Smilax aspera</i>)	6.579
Arándano (<i>Vaccinium corymbosum</i>)	5.481

Fuente: Speisky *et al.* (2012).

Los principios activos reconocidos originalmente en la especie eran alcaloides (indolenina y quinolina) y taninos, especialmente en los frutos. Sin embargo, en los últimos años, múltiples estudios a nivel nacional e internacional han dado cuenta de sus extraordinarias cualidades, debido a la alta presencia de ácidos fenólicos, proantocianidinas y antocianinas, entre otros flavonoides en sus frutos. Dentro de los antocianos presentes en sus frutos destacan las delphinidinas, por sus propiedades medicinales (Montes y Wilkomirsky, 1987; Ruiz *et al.*, 2010; Schreckinger *et al.*, 2010a,b; Rojo *et al.*, 2012; Echeverría y Niemeyer, 2012).

Al comparar el contenido de compuestos fenólicos de distintas especies de frutas cultivadas en Chile, los resultados destacan al maqui por su alto contenido de fenoles totales, superando los 12 gramos de equivalente a ácido gálico por kilo de fruta fresca (g GAE/kg), duplicando lo obtenido en frutilla (*Fragaria x ananassa*), arándano (*Vaccinium corymbosum*) y zarzamora (*Rubus ulmifolius*), y triplicando a la murtilla (*Ugni molinae*). El contenido de polifenoles en el fruto puede variar según genotipo, medioambiente, almacenaje y madurez al momento de cosecha (Fundación para la Innovación Agraria, 2009; Guerrero *et al.*, 2010; Fredes *et al.*, 2014a,b).

La concentración de fenoles totales es similar en la primera etapa de maduración y en la última, lo que se puede explicar como un mecanismo de defensa de la especie para evitar que los herbívoros se coman los frutos en etapas tempranas cuando aún no contienen semillas viables. El aumento al final del proceso de maduración, se debe principalmente al aumento de antocianinas, pigmento que otorga el color al fruto. Este aumento de pigmentos antocianínicos está relacionado directamente con el aumento en la capacidad antioxidante del fruto (Miranda-Rottmann *et al.*, 2002; Fredes *et al.*, 2012).

2.2.4. Usos

2.2.4.1. Productos comestibles

El aumento en el consumo de alimentos ricos en antioxidantes ha potenciado la elaboración de diversos productos en base a berries y otros frutos de características similares. En el ámbito de alimentos bioactivos, el extracto de fruto de maqui ha sido reconocido por su riqueza en flavonoides y vitamina C, y por la capacidad para mantener sus propiedades antioxidantes y contenido fenólico bajo condiciones de almacenamiento. El fruto del maqui da una tinción de color azul oscura casi negra, muy intensa, que se emplea desde antaño para la preparación y tinción de jugos y bebidas alcohólicas, propiedades que lo han posicionado como un excelente colorante natural. Producido mediante la técnica artesanal de arrastre de vapor, mantiene su capacidad antioxidante luego del proceso (Fernández, 1998; Escribano-Bailón *et al.*, 2006; Gironés-Vilaplana *et al.*, 2012; Araneda *et al.*, 2014).

Dentro de los productos líquidos comercializados, es posible encontrar jugos preparados con base de maqui, el cual muchas veces es mezclado con otros frutos como açai (*Euterpe oleracea*) y granada (*Prunus granatum*). Además se encuentran concentrados de jugo de maqui, infusiones en base a maqui deshidratado, o como polvos liofilizados, que conservan el sabor, color, olor y las propiedades nutricionales de la fruta, y que al mismo tiempo pueden ser preservados por mucho más tiempo y sin necesidad de refrigeración. También es posible encontrar cápsulas como suplementos alimenticios o reguladores de glucosa en la sangre.

Se puede preparar como licor mediante fermentación del fruto, manteniendo la actividad antioxidante. Esta bebida sería similar a la preparada por la cultura mapuche, llamada tecú (Alonso, 2012; Gironés-Vilaplana *et al.*, 2014).

2.2.4.2. Productos medicinales

A. De los frutos

Distintos antecedentes han hecho del maqui un fruto atractivo para la industria farmacéutica. Los compuestos fenólicos presentes en su fruto presentan actividad cardio-protectora y sus flavonoides podrían evitar la disfunción endotelial, lo que prevendría enfermedades cardiovasculares. Además inhibe la acumulación lipídica, la adipogénesis y actúa también como anti-inflamatorio. De la misma forma, sus características lo posicionan como un posible fitofármaco natural contra enfermedades como el Alzheimer, la demencia senil y el Parkinson siendo un buen inhibidor de enzimas colinterasas (Céspedes *et al.*, 2008; Schreckinger *et al.*, 2010a,b; Gironés-Vilaplana *et al.*, 2012; Fuentes *et al.*, 2015).

Extractos de maqui han sido relacionados al metabolismo de los carbohidratos y como una opción para disminuir problemas asociados a la obesidad (Reyes-Farías *et al.*, 2014; Rubilar *et al.*, 2015). El extracto de fruto de maqui podría ser utilizado para mejorar la resistencia a problemas respiratorios en pacientes fumadores, al disminuir el estrés oxidativo en sus pulmones (Vergara *et al.*, 2015).

La presencia de delfinidinas en los frutos se ha relacionado con una excelente capacidad de regulación de glucosa, que participa en reacciones metabólicas a nivel de músculo esquelético e hígado. Éstas además ayudan a prevenir enfermedades en la retina, disminuyendo la muerte celular inducida por daño lumínico y ayudando a recuperar la secreción de lágrimas. También disminuyen el riesgo de arteriosclerosis, actúan como neuroprotectores y tienen propiedades dermatológicas como fotoprotector (Jara *et al.*, 2012; Rojo *et al.*, 2012; Tanaka *et al.*, 2013; Nakamura *et al.*, 2014; Watson & Schönlau, 2015).

B. De las hojas

Sus hojas han sido históricamente utilizadas en la medicina popular para combatir enfermedades de la garganta, como febrífugo y en curación de heridas y tumores. Se les atribuye tradicionalmente propiedades analgésica, antiinflamatorias, actividad antimicrobiana y antioxidante (Montenegro, 2000; Farías, 2009; Avello *et al.*, 2009; Mølgaard *et al.*, 2011)

El extracto enzimático de sus hojas ha sido testeado como coagulante en quesería y ha presentado menor capacidad de coagulación que el cuajo estándar. Sin embargo, también ha evidenciado mayor y mejor estabilidad en el tiempo, y mayor actividad microbiana (Leal, 2006).

2.2.4.3. Productos cosméticos

Sus propiedades también lo han transformado en un ingrediente utilizado en productos cosméticos, que promueven la recuperación de tejidos y un envejecimiento más lento de las células de la piel, pelo y uñas. Se encuentra en forma de cremas y shampoo, producidos en diversas partes del mundo.

2.2.5. Mercado

El primer registro formal de maqui exportado corresponde al año 1996, con un total de 10 toneladas. Los siguientes años se ha exportado de forma ininterrumpida, con una tendencia al aumento sostenido de las exportaciones, como se observa en el Gráfico 2 (Fundación Chile, 2012; Soto *et al.*, 2014).

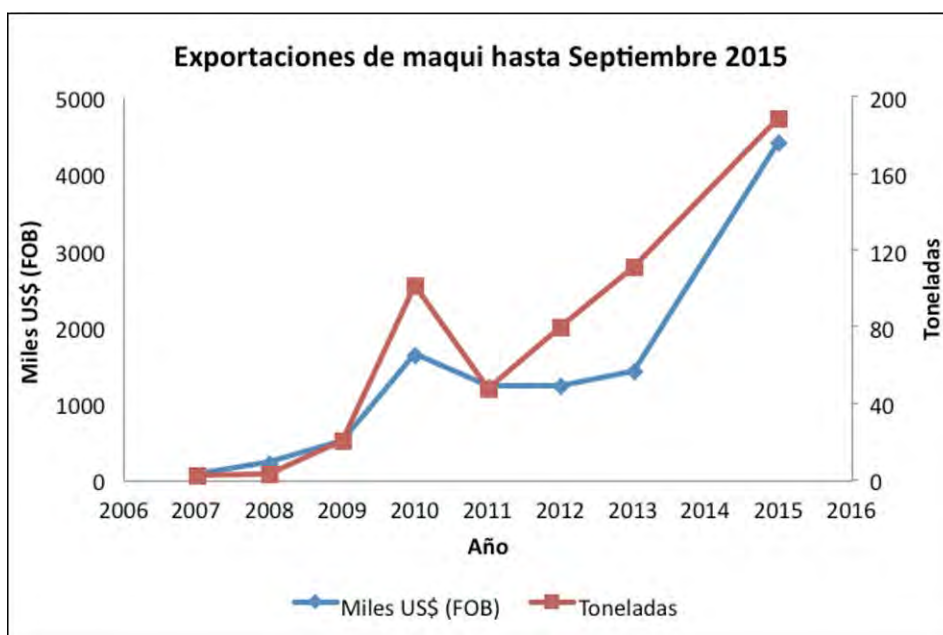


Gráfico 2. Exportaciones de maqui entre 2007 y 2015, en miles de dólares (US\$ FOB) por tonelada. **Fuente:** elaborado a partir de datos de ODEPA (2015) e INFOR (2014).

Solamente entre enero a septiembre de 2015 las exportaciones totales de maqui alcanzaron los US\$ 4,4 millones (188.758 kilos). En cuanto a países de destino, destacan Japón, Corea del Sur, Italia, Estados Unidos, Alemania, Australia, Dinamarca, Francia, Holanda, Nueva Zelanda y el Reino Unido (Salinas *et al.*, 2012), como se observa en el Gráfico 3.

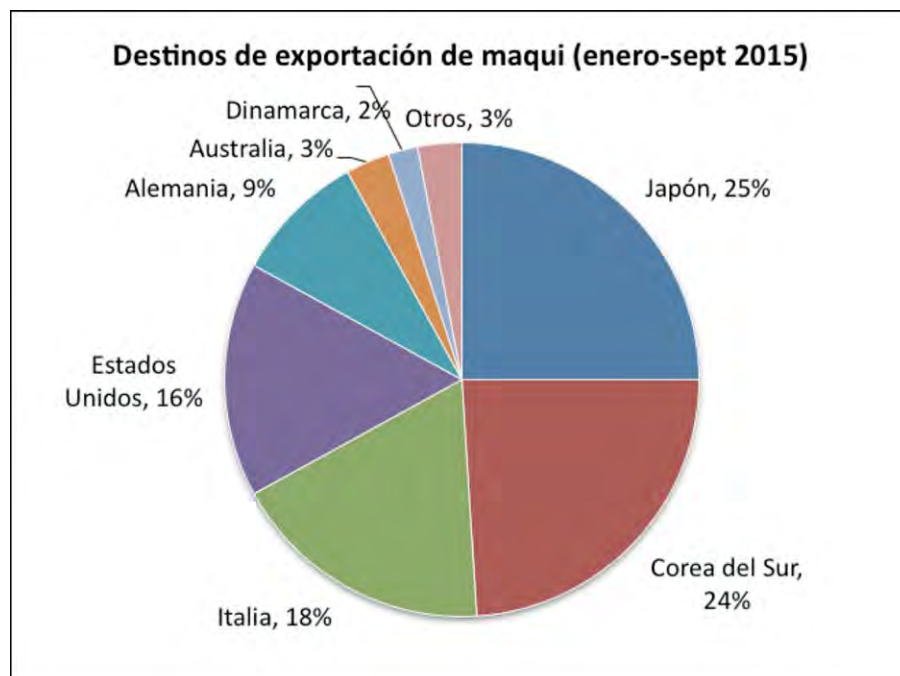


Gráfico 3. Países de destino para la exportación de frutos de maqui en el período de enero a septiembre de 2015. **Fuente:** Salinas *et al.* (2012).

Desde un punto de vista comercial, todo el fruto cosechado es vendido mayoritariamente a intermediarios o directamente a empresas exportadoras, para terminar en plantas procesadoras tanto dentro como fuera del país. Los principales formatos son frutos a granel y concentrado de jugo (Salinas *et al.*, 2012).

2.2.6. Manejo productivo

Actualmente en Chile, la producción de maqui se realiza mediante recolección del fruto desde bosques naturales ubicados principalmente en la zona sur del país. El aumento de su comercialización tanto en el mercado nacional como hacia el extranjero, trae como consecuencia un incremento en la presión sobre los ecosistemas en que la especie se encuentra presente (Valdebenito *et al.*, 2003).

En el año 2007, la Universidad de Talca en conjunto con Fundación Chile (Vogel *et al.*, 2016; Fundación Chile, 2012) comenzó la primera selección de genotipos a lo largo de su distribución natural, evaluando aspectos productivos de plantas silvestres, características químicas de los frutos y comenzando la propagación de los individuos seleccionados en diferentes poblaciones para evaluar la variabilidad genética y ambiental. A continuación se presentan los métodos de propagación y manejo de la especie para producción de frutos.

2.2.6.1. Métodos de propagación

Se han estudiado distintos métodos de propagación de la especie, centrados en la propagación por semilla o vegetativa (Doll *et al.*, 1999; Bonometti, 2000).

Para la propagación por semillas, los mejores resultados se han obtenido al utilizar semillas maceradas

en agua fría durante 3 días, con lo cual se obtiene una germinación de hasta un 77% (Vogel *et al.*, 2005). Este método resulta incluso mejor que tratamientos con giberelina o escarificación mecánica.

En términos de temperatura de germinación, el maqui germina a temperaturas moderadas. Los mayores porcentajes de germinación ocurren a los 20°C, en cambio, la germinación se inhibe completamente a los 10°C y sobre los 30°C (Araneda, 2006).

Para la propagación por estacas en cama caliente, es conveniente cosechar en otoño ramas de las plantas madres elegidas y dividir las en estacas de aproximadamente 15 cm. En la base se realiza un corte recto por debajo de un nudo y se reduce el área foliar conservando sólo 2 a 3 hojas del ápice. Previo a la instalación en la cama caliente, se desinfectan las estacas sumergiéndolas en un fungicida y se aplica la hormona de enraizamiento en su base. Aproximadamente entre 4 a 6 semanas, dependiendo del material vegetal, las estacas habrán enraizado y podrán ser trasplantadas a contenedores para su viverización y posterior endurecimiento previo a la plantación en primavera (Vogel *et al.*, 2008).



Figura 19. Plantas de maqui propagadas vegetativamente por estacas.

2.2.6.2. Cultivo

La fecundación de las flores de maqui es cruzada, es decir ocurre entre plantas distintas (femeninas y masculinas). A consecuencia de ello existe una alta variabilidad genética, incluso dentro de un mismo macal. Esto trae consigo tres consideraciones importantes al momento de iniciar un cultivo de maqui:

- Diferentes plantas de maqui presentan hábitos de crecimiento diferentes.
- Diferentes plantas de maqui responden de manera diferente a los tratamientos de manejo.
- Se requiere incluir plantas masculinas polinizadoras para asegurar el rendimiento del cultivo.

De no existir disponibilidad comercial de plantas de maqui, conviene elegir plantas madres sanas, altamente productivas y propagarlas vegetativamente. Esto es posible realizarlo mediante propagación de estacas

en cama caliente o mediante micro propagación *in vitro*. Con ambas tecnologías se obtendrá un material homogéneo, genéticamente idéntico a las plantas madres elegidas.

La mejor época para realizar la plantación de maqui es durante otoño-invierno debido a que la planta se encuentra en receso vegetativo, lo que permitiría desarrollar el sistema radical en el sitio de plantación previo al crecimiento vegetativo de primavera. La distancia de plantación para el cultivo de hojas, es de 0,5 m sobre hilera y 1,5 m entre hileras (Figura 20). Dicha distancia de plantación aumenta a 2 m sobre hilera y 2 m entre hilera cuando se quiere producir mayor cantidad de frutos (Vogel *et al.*, 2005).

La distancia de plantación influye en la capacidad antioxidante del fruto. La concentración de antioxidantes aumenta ante situaciones de estrés hídrico, aumentos de temperatura y mayor luminosidad. Además es importante considerar la arquitectura de copa y el espacio para actividades de manejo y cosecha (Hasanuzzaman, Nahar y Fujita, 2013).



Figura 20. Plantación de maqui en Panguilemo, Región del Maule. En este caso se considera un amplio espacio entre hileras para permitir el paso de maquinaria de cosecha y recolección.

En cuanto al raleo, hay un aumento de la producción de frutos en sitios manejados, y mientras mayor sea la superficie de la copa, mayor será la producción de frutos. El raleo provocará un aumento de luminosidad lo cual trae beneficios en cuanto a la concentración de antioxidantes. Además se debe considerar el uso de polinizadores para asegurar el rendimiento.

Es muy importante que las plantas elegidas estén adaptadas a las condiciones climáticas de la futura plantación, por lo que deben seleccionarse plantas madres de poblaciones cercanas, pues, a pesar de ser una especie bastante resistente a condiciones adversas, al momento de la floración, las heladas tardías pueden causar la pérdida total de la producción del año. Este hecho es considerable al elegir el sitio destinado a la plantación, además de incluir en la plantación, clones de floración temprana y tardía.

El maqui se observa creciendo espontáneamente en suelos muy diversos, lo que hace sospechar que es una especie poco exigente respecto de condiciones edáficas, aunque conviene contar con un suelo de buen drenaje y profundo. En caso contrario es conveniente realizar camellones para mejorar las condiciones de drenaje y aumentar el volumen de suelo explorable por las raíces. En el caso de contar con un suelo muy arcilloso conviene incorporarle materia orgánica, como por ejemplo guano, junto con la preparación del suelo.

Es importante asegurar una buena disponibilidad hídrica en los momentos críticos del cultivo, como brotación, cuajado y llenado de frutos.

Actualmente muchos viveros comerciales han integrado a su producción la propagación de plantas de maqui y en comunicación personal, indican que la demanda de plantas por parte de agricultores es creciente.

2.2.6.3. Poda

La poda de formación del maqui dependerá del tipo de conducción y de las características propias del clon, es decir su hábito de crecimiento. El tipo de conducción depende principalmente del sistema de cosecha a implementar, pudiendo formarse un cultivo en espalderas, arbolito o mantener el crecimiento arbustivo. En este último caso las plantas recién establecidas deberían ser sometidas a un despunte inicial para favorecer el desarrollo de multiejes.

Es muy importante considerar que las flores de la temporada siguiente se desarrollan entre la floración y cuajado de frutos en la madera nueva. Por lo tanto los frutos se forman sobre ramas que crecieron el verano anterior y consecuentemente la zona de fructificación de la planta se va alejando de la base de la misma en temporadas sucesivas (Vogel *et al.*, 2014).

Esto hace necesario renovar constantemente la planta para mantenerla pequeña y productiva (Doll *et al.*, 2016), pero no es aconsejable realizar rebajes completos de la planta, pues se perderá la producción de la siguiente temporada. Por lo tanto, se deberán realizar podas de renovación (rebaje de la tercera a cuarta parte de los ejes primarios) para evitar que los centros productivos se alejen de la base de la planta.

2.2.6.4. Cosecha

Toda intervención realizada debe ser con una intensidad que no afecte la fructificación de las temporadas siguientes y avanzando hacia mecanismos de cosecha menos invasivos, que sólo retiren los frutos y no material vegetal adicional. En relación a esto, la remoción de la cohorte de hojas durante el otoño o a finales del invierno puede significar una fructificación menos abundante y una menor distancia de entrenudos en la siguiente temporada. Lamentablemente, en las formaciones naturales, la cosecha se realiza cortando las ramas portadoras de los brotes con frutos, lo que genera grandes pérdidas de biomasa foliar y un deterioro progresivo de la productividad de las poblaciones naturales (Damascos *et al.*, 2005; Vogel *et al.*, 2014).

Por otra parte, en un mismo individuo y de forma simultánea, se pueden encontrar frutos en distintos estados de maduración. La concentración de polifenoles no varía a lo largo de este proceso, pero sí la concentración de antocianinas, las cuales aumentan en la medida que el fruto madura. Por esta razón, se hace necesario desarrollar técnicas de cosecha diferenciando frutos maduros de los que están en proceso de maduración, para optimizar la calidad de las cosechas (Fredes *et al.*, 2012; González *et al.*, 2015).

2.2.6.5. Pos cosecha

Una vez cosechados los frutos es necesario garantizar que su manipulación y almacenado no deteriore su calidad, lo que se logra deshidratando o congelando los frutos. En estas condiciones el maqui no pierde su concentración de polifenoles y antocianinas y puede ser almacenado por tiempos prolongados. La refrigeración de los frutos sólo puede ser utilizada por períodos menores a una semana para evitar mermas de calidad. En cuanto a la congelación, a -20°C durante seis meses, la concentración inicial de antocianinas se mantiene y se incrementan los polifenoles. La opción de secar los frutos es recomendada para los productores de zonas apartadas que no puedan mantener una adecuada cadena de frío (González *et al.*, 2015).

3.- DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN ZONAS RURALES DE LA REGIÓN DE VALPARAÍSO

3.1. Criterios de selección de los sitios para la construcción de los SCALL y la plantación de maqui

La fase de selección de los sitios para la instauración de las obras y plantación de maqui, estuvo apoyada por ingenieros de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), institución asociada a este proyecto que facilitó los contactos con propietarios ubicados en diversas zonas de la Región.

Dentro del marco que compete a los SCALL y a las potenciales plantaciones de maqui, que podrían ubicarse en distintas zonas de la Región de Valparaíso, se tuvieron que considerar varios aspectos al momento de seleccionar los sitios para el emplazamiento de las obras. En relación a los SCALL, como criterios de selección se consideraron la necesidad de abastecimiento de agua de los diversos propietarios, la accesibilidad al sitio, la pendiente y la pedregosidad del mismo. En cuanto a la plantación, se seleccionaron variados tipos de suelos para probar la adaptación y crecimiento de la especie en distintas condiciones.

Otro factor determinante en la selección de los sitios, fue el nivel de responsabilidad y compromiso del propietario. Esto es muy relevante para la mantención en operación del sistema y la plantación en el largo plazo.

Con estos criterios claros, más el apoyo de profesionales de CONAF, se visitaron 12 predios distribuidos en las provincias de Petorca, Quillota y Valparaíso. Finalmente, fueron seleccionados 5 sitios para la instalación de las unidades demostrativas, como se muestra en la Tabla 3 y Figura 21.

Tabla 3. Sitios seleccionados para el establecimiento del proyecto.

Unidad demostrativa	Comuna	Provincia	Responsable
Las Palmas	Petorca	Petorca	Juan Oyanedel
Santa Julia	Petorca	Petorca	Hernán Hidalgo
Santa María de Pullally	Papudo	Petorca	Ignacio Alliende
El Leoncito	Puchuncaví	Valparaíso	Héctor Moltedo
Reserva Nacional Lago Peñuelas	Valparaíso	Valparaíso	CONAF

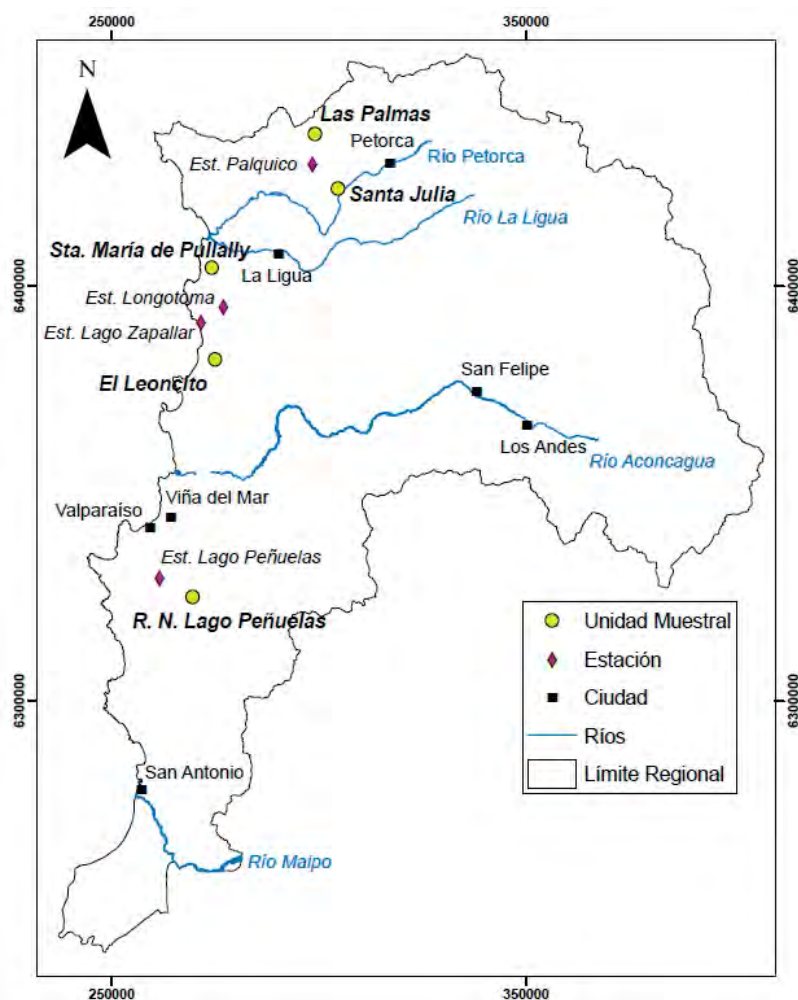


Figura 21. Mapa de los distintos predios y estaciones meteorológicas de referencia en la región de Valparaíso. En amarillo se indican los cinco predios (Las Palmas y Santa Julia en Petorca; Santa María de Pullally en Papudo; El Leoncito en Puchuncaví; Reserva Nacional Lago Peñuelas en Valparaíso) y en morado las estaciones meteorológicas.

3.2. Diseño hidrológico

3.2.1. Selección de las estaciones meteorológicas

Cada sitio debió ser caracterizado hidrológicamente en términos de las ofertas de agua en periodos anuales. Para ello se utilizó el registro histórico de estaciones pluviométricas cercanas a los sitios. La información necesaria para realizar la investigación fue obtenida desde la Dirección General de Aguas (DGA) a través de su página web; esta información corresponde a precipitaciones mensuales de cuatro estaciones pluviométricas, que fue necesario llevar a montos anuales de precipitación, a partir de la década del 70 u 80 hasta el año 2014. En el caso de que faltasen registros de precipitaciones mensuales y, de superar éstas el 10 % del total, se recomienda utilizar el método de completación por promedios históricos. No obstante, los datos obtenidos para las distintas estaciones pluviométricas analizadas no presentaron lapsos sin registros que superaran este parámetro porcentual, por lo cual, no fue necesario aplicar este método.

El detalle de las unidades demostrativas, con respecto a la estación utilizada, ubicación geográfica, periodo de registro de precipitaciones y años totales de las series de datos, se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Estaciones pluviométricas utilizadas para los distintos sitios.

Estaciones pluviométricas	Sitio	Ubicación estación		Período	Registro total (años)
		Lat.S	Long.W		
Palquico	Las Palmas y Santa Julia	32°15'10''	71°08'19''	1973-2014	41
Longotoma	Santa María de Pullally	32°33'32''	71°22'30''	1980-2014	34
Laguna de Zapallar	El Leoncito	32°35'31''	71°25'56''	1988-2014	26
Lago Peñuelas	Reserva Nacional Lago Peñuelas	33°08'42''	71°33'19''	1974-2014	40

3.2.2. Tratamiento estadístico

Una vez definidas las estaciones meteorológicas a utilizar, los registros de precipitación anual fueron sometidos a análisis matemáticos y estadísticos, con el fin de obtener una precipitación de diseño.

3.2.2.1. Función de Distribución de Probabilidad (FDP)

- i) **Período de Retorno (T):** se define como el período de tiempo que transcurre entre dos eventos o sucesos de similares características (precipitaciones, caudales, etc.). Generalmente se expresa en años (Pizarro *et al.*, 2004).
- ii) **Probabilidad de Excedencia:** se define como la probabilidad de que un valor de la variable aleatoria, sea excedido. Se encuentra asociada al período de retorno (Pizarro *et al.*, 2004).

De esta forma,

$$\text{Probabilidad de excedencia} = P(X) = \frac{1}{T} \quad \text{Ecuación 1}$$

Expresado de otra forma, la probabilidad de que la variable aleatoria tome un valor igual o inferior a cierto número X, está dada por la función de distribución de probabilidad definida como F(x) (Pizarro y Novoa, 1986).

$$F(X) = \int_{-\infty}^X f(x)dx = P(x \leq X) = 1 - \frac{1}{T} \quad \text{Ecuación 2}$$

Por otro lado, la probabilidad de que x (precipitación de diseño) sea mayor que X (precipitación real), viene dada por la función complementaria, también conocida como probabilidad de excedencia:

$$P(x > X) = 1 - F(X) = \frac{1}{T} \quad \text{Ecuación 3}$$

En el caso de este proyecto, se definió una probabilidad de excedencia de 0,9 es decir, la precipitación de diseño deberá ser superada en al menos 9 de cada 10 años, con lo cual asegura que en ese periodo se contará con el volumen de agua definido en el diseño.

Esto se basa en que dicha probabilidad es considerada rentable desde un punto de vista económico, ya que probabilidades superiores, pueden establecer una estructura que en el 100% de los casos capturará el agua

pre definida, pero que en la mayoría de los casos presentará una sub-utilización de la infraestructura construida, lo que supone un alto costo de oportunidad. Por ello, se estima que un 90% es una probabilidad de éxito recomendable (Pizarro, 2004).

3.2.2.2. Ajuste a una Función de Distribución de Probabilidad

Luego de la definición de la probabilidad de excedencia, se procedió a ajustar los registros de lluvias a distintas Funciones de Probabilidad, tales como la Distribución de Gumbel, Pearson tipo III, Goodrich, Gamma y Log Normal. No obstante, la distribución de Gumbel es la más utilizada en datos anuales en Chile y ha demostrado poseer una adecuada capacidad de ajuste a precipitaciones, en distintos períodos de tiempo (Pizarro y Novoa, 1986; Pizarro *et al.*, 2001). Sin embargo, y a modo de comparación, en el Anexo 1 se presenta un ejemplo de datos de la estación Lago Peñuelas, la que es ajustada al conjunto de funciones probabilísticas mencionadas anteriormente.

Para el caso de las unidades diseñadas en el marco de este proyecto, se utilizó la función de Gumbel. La función de distribución acumulada de Gumbel, se define mediante la siguiente expresión:

$$F(X) = e^{-e^{-d*(x - \mu)}} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

- x = Valor a asumir por la variable aleatoria (precipitación de diseño).
- d y μ = Parámetros a ajustar de la función.
- e = Constante de Neper.

Los parámetros de la distribución de una muestra de tamaño infinito, tienden a los siguientes valores, en base a la media aritmética y la desviación estándar de la muestra:

$$d = \frac{1}{0,779696 * S} \quad ; \quad \mu = \bar{x} - 0,450047 * S \quad \text{Ecuación 5 y 6}$$

3.2.2.3. Pruebas de bondad del ajuste

Luego del ajuste de la función de distribución a los datos de precipitación, es necesario definir la calidad del ajuste obtenido. Para ello se utilizan diversas pruebas, pero en hidrología son muy utilizados el test de Kolmogorov-Smirnov y el Coeficiente de Determinación R^2 , ya que, según Pizarro y Novoa (1986), estas pruebas determinan el nivel de asimilación de los datos observados de una variable cualquiera, a una función matemática previamente establecida y reconocida. Mediante estas pruebas, se valida la posibilidad de interpolar y extrapolar información. El test de Kolmogorov-Smirnov es una prueba de normalidad basada en el valor absoluto de la máxima diferencia entre la distribución acumulada observada y la teórica. Es utilizada para verificar la hipótesis de que cierta muestra procede de una distribución particular (Pizarro *et al.*, 2004). De lo anterior se desprende la necesidad de determinar la frecuencia observada acumulada y la frecuencia teórica acumulada. Las frecuencias observadas se ordenan de menor a mayor y luego se aplica la siguiente expresión de Weibull:

$$F_n(X) = \frac{n}{N+1} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

- $F_n(X)$ = Frecuencia observada acumulada.
- n = Número de orden ascendente de la serie de datos.
- N = Número total de datos.

Por su parte, la frecuencia teórica acumulada es determinada mediante la función de distribución correspondiente.

Para finalizar con el test, se calcula el supremo de las diferencias, que consiste en determinar el valor absoluto de la máxima diferencia entre las frecuencias observadas y acumuladas. Esta diferencia se denomina por la letra D y su expresión es la siguiente:

$$D = \text{Sup } |F_n(X)_i - F(X)_i| \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

- D = Supremo de las diferencias.
- $F_n(X)_i$ = Frecuencia observada acumulada.
- $F(X)_i$ = Frecuencia teórica acumulada.

Una vez obtenido el supremo de las diferencias, se compara con el valor de la tabla Kolmogorov-Smirnov. Si el valor obtenido de la tabla K-S (Dt), es mayor que el supremo de las diferencias (Dc), se puede aceptar el ajuste. Según lo anterior se debe cumplir lo siguiente:

$$Dt > Dc$$

Al cumplirse esta condición, se acepta que el ajuste es adecuado a la Función de Distribución de Probabilidad utilizada con el nivel de confiabilidad asumido (Pizarro *et al.*, 2004).

Por otra parte, el coeficiente de determinación señala qué proporción de la variación total de las frecuencias observadas, es explicada por las frecuencias teóricas acumuladas (Pizarro y Novoa, 1986). La expresión que define al coeficiente de determinación, es la siguiente:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (F_n(X)_i - F(X)_i)^2}{\sum (F_n(X)_i - \overline{F_n(X)_i})^2} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

- R^2 = Coeficiente de determinación $0 \leq R^2 \leq 1$
- $F_n(X)_i$ = Frecuencia observada acumulada
- $F(X)_i$ = Frecuencia teórica acumulada
- $\overline{F_n(X)_i}$ = Media de las frecuencias observadas acumuladas

3.2.3. Determinación de la precipitación de diseño

Una vez que la función de distribución de probabilidad ajustada ha sido validada a través de la bondad del ajuste, es posible determinar la precipitación de diseño para una probabilidad de ocurrencia dada. Para ello, se despeja la variable "x" a partir de la Ecuación 4, obteniendo de este modo la siguiente ecuación:

$$X = \mu - \frac{\ln(-\ln(F(x)))}{d} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

- X = Valor de la variable aleatoria o precipitación de diseño
- d y μ = Parámetros de la función

3.2.4. Coeficiente de escorrentía

No toda la lluvia que cae en un área determinada genera escorrentía, debido a pérdidas por infiltración, evaporación y/o el tipo de suelo. Así se define al coeficiente de escorrentía como la proporción del agua precipitada que escurre superficialmente. Por ende, en un sistema de captación de aguas lluvias, interesará que ese coeficiente sea lo más cercano al valor 1, con el fin de propiciar la mayor tasa posible de captura del agua caída. De ahí la relevancia de considerar este aspecto en la construcción del sistema, toda vez que dependiendo del tipo de material utilizado en el área de captación, será posible una mayor o menor captura del agua precipitada.

El coeficiente de escorrentía depende de factores tales como el tipo de precipitación (lluvia, nieve o granzo); la cantidad, intensidad y distribución de la misma en el tiempo; la humedad inicial del suelo; el tipo de terreno (granulometría, textura, estructura, materia orgánica, grado de compactación, pendiente y rugosidad) y el tipo de vegetación existente, entre otras.

El coeficiente de escorrentía es muy importante para determinar el caudal que podrá ofrecer una determinada área de drenaje. Esta área será la que captará el agua de lluvia cuando precipite sobre ella y, la conducirá posteriormente hacia un punto común de salida. Esta agua es la que abastece el estanque de acumulación, por lo tanto, el área de drenaje debe ser del tamaño suficiente para abastecer el volumen necesario durante el período de uso.

En función de lo anterior y teniendo en consideración este fenómeno, en la Tabla 5 se presentan valores de eficiencia del escurrimiento del agua en base a distintos materiales y coberturas de superficie.

Por otra parte, a nivel de cuenca, el coeficiente de escorrentía C se determina de acuerdo a la cobertura. Para zonas con vegetación se toma un valor de $C=0,30$ y para zonas impermeables $C=0,90$. Pero en este caso, la cuenca que aporta al sistema es un área de captación poco permeable, ya que está recubierta con geomembrana. Estos materiales poseen coeficientes de escorrentía que pueden alcanzar valores entre 0,85 y 1.

Tabla 5. Coeficientes de escorrentía típicos.

Tipo de superficie	Coeficiente de escorrentía
Pavimentos de hormigón y bituminosos	0,70 a 0,95
Para superficies lisas, impermeables como techos en metal, en teja asfáltica, de concreto, entre otros.	0,90
Pavimentos de macadam	0,25 a 0,60
Adoquinados	0,50 a 0,70
Superficie de grava	0,15 a 0,30
Zonas arboladas y bosque	0,10 a 0,20
Zonas con vegetación densa:	
Terrenos granulares	0,05 a 0,35
Terrenos arcillosos	0,15 a 0,50
Zonas con vegetación media:	
Terrenos granulares	0,10 a 0,50
Terrenos arcillosos	0,30 a 0,75
Tierra sin vegetación	0,20 a 0,80
Zonas cultivadas	0,20 a 0,40

Fuente: Salinas *et al*, 2010.

3.3. Cálculo del área de captación o volumen a acumular

El SCALL tiene 3 componentes, de los que destacan el área de captación y el volumen a almacenar; ya que a la hora de diseñar un sistema, pueden darse 2 casos:

- Definir a priori el volumen a almacenar, para lo cual se calculará el área de captación.
- Definir a priori el área de captación, para lo cual se podrá calcular el volumen de agua posible de ser capturado.

En el caso del presente proyecto, se definió el volumen de agua a almacenar en los hidroacumuladores (correspondientes a 30 m³). Es decir, se debe estimar la superficie del área de captación necesaria para acumular 30m³, con una probabilidad de diseño del 0,1, o lo que es lo mismo, una probabilidad de excedencia del 0,9. A continuación se definen las tres partes que componen un SCALL.

3.3.1. Área de captación

Esta parte de la estructura debe ubicarse idealmente en una ladera desprovista de vegetación, la que cumplirá la función de capturar el agua proveniente de la lluvia. Para ello, esta área se impermeabiliza y sus dimensiones dependen de la precipitación de diseño (Ecuación 10), del coeficiente de escorrentía correspondiente al material impermeable (geomembrana) y del volumen de agua que se desee almacenar (30 m³). Esto se resume en la siguiente expresión:

$$A_{cap} = \frac{V_c}{(P * C)} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

- A_{cap} = Área de captación en la ladera (m²).
- V_c = Volumen de la cisterna y/o volumen a capturar por año (m³).
- P = Precipitación de diseño (m), calculada para una probabilidad de excedencia de 0,9.
- C = Coeficiente de escorrentía, que dependerá del material con que se impermeabilice la ladera; para este caso se utilizó 0,85 por tratarse de geomembrana.

3.3.2. Sistema de conducción

Como su nombre lo indica, conduce por diferencia de gravedad el agua captada desde la superficie impermeabilizada, hasta la cisterna de acumulación. Puede incluirse un sistema de decantación de sedimentos con el objetivo de almacenar agua más limpia. En este sentido, existen métodos artesanales simples, como colocar en la boca del tubo conductor una rejilla metálica, que filtra e impide la entrada de sedimentos al estanque acumulador. Asimismo, otra técnica es generar una aducción que sobresale de la estructura de conducción del agua hacia la cisterna, con el fin de generar un volumen de aguas muertas, donde decanten los sedimentos.

3.3.3. Hidroacumulador

Corresponde al depósito donde se almacena el agua (Figura 22). Su capacidad previamente establecida corresponde a 30 m³. El material de fabricación del Hidroacumulador empleado corresponde a PVC y es construido por una empresa francesa.



Figura 22. Hidroacumulador en estanque flexible de 30 m³ ubicado en Las Palmas.

En la siguiente figura se muestra el esquema completo de un sistema de captación y acumulación de aguas lluvias, correspondiente a la zona de El Leoncito, comuna de Puchuncaví.

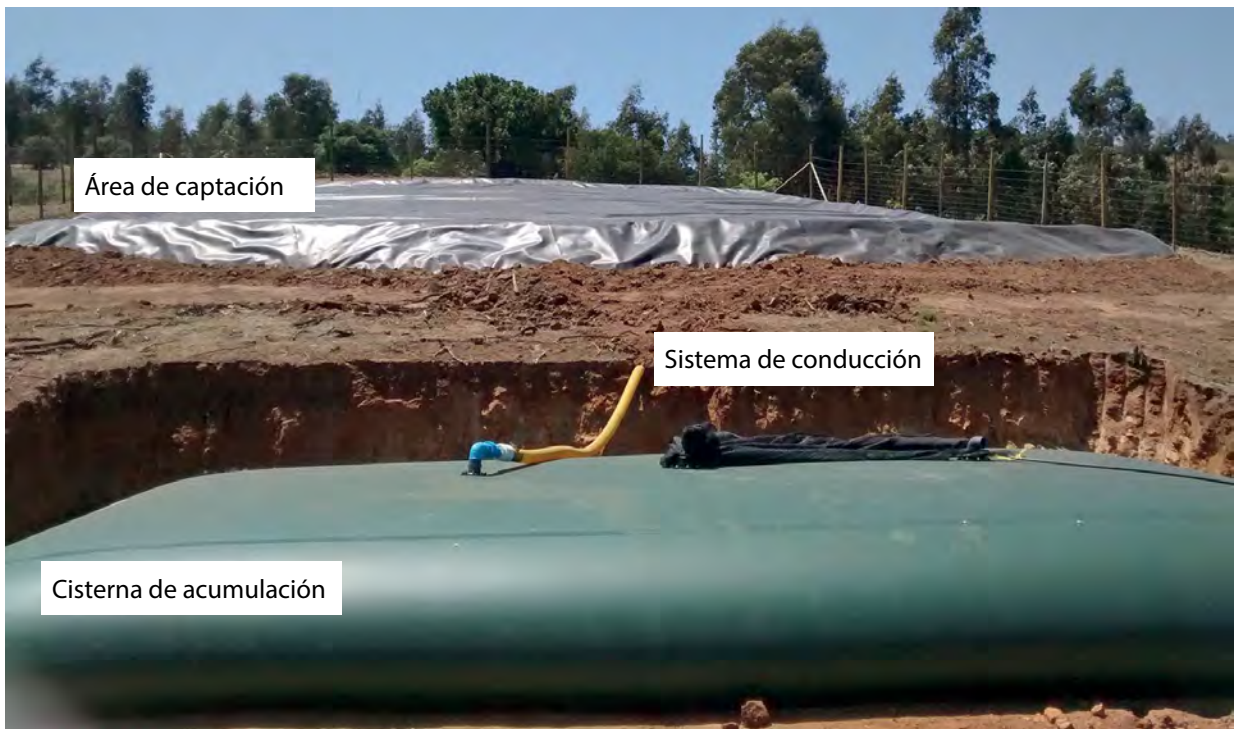


Figura 23. Sistema de Captación de Aguas Lluvias (SCALL), emplazado en El Leoncito.

3.3.4. Obtención de la precipitación de diseño para las diferentes localidades

A continuación, en la Tabla 6 se presenta la expresión matemática del ajuste realizado para la función de distribución de probabilidad de Gumbel, los coeficientes de determinación y los resultados de la aplicación del test de Kolmogorov-Smirnov, para cada una de las estaciones de la Región de Valparaíso utilizadas en el proyecto.

Tabla 6. Ajuste de la función de Gumbel, para precipitaciones anuales máximas.

Estaciones	Sitios asociados	Función de Gumbel ajustada (F(x))	R ²	K – S (acepta Ho)	
				Dt	Dc
Palquico	Santa Julia; Las Palmas	$e^{-e^{-0,009*(x-202,19)}}$	0,981	0,222	0,092
Longotoma	Santa María de Pullally	$e^{-e^{-0,008*(x-208,34)}}$	0,967	0,284	0,094
Laguna de Zapallar	El Leoncito	$e^{-e^{-0,008*(x-183,32)}}$	0,986	0,209	0,081
Lago Peñuelas	Reserva Nacional Lago Peñuelas	$e^{-e^{-0,004*(x-546,89)}}$	0,989	0,208	0,072

Luego de aplicar los ajustes correspondientes con respecto a Gumbel, fue posible determinar las precipitaciones de diseño (Ecuación 10) para cada uno de los sitios donde se implementó el SCALL. La Tabla 7 da cuenta de ello.

Tabla 7. Precipitación de diseño para cada sector y estación considerada.

Sitio	Estación cercana	Distancia Aprox. (Km)	Precipitación de diseño $P(x \leq X) = 0,1$ (mm)
Las Palmas	Palquico	6,5	86,64
Santa Julia	Palquico	8	86,64
Santa María de Pullally	Longotoma	8,4	103,72
El Leoncito	Laguna de Zapallar	9	110,55
R. N. Lago Peñuelas	Lago Peñuelas	8	344,29

3.4. Construcción de los sistemas de captación de aguas lluvias

3.4.1. Replanteo en terreno

Luego de seleccionar los sitios en cuestión, fue necesario realizar en terreno un trabajo de replanteo de las obras, con el objetivo de asegurar una correcta construcción de las mismas y verificar si los detalles de construcción se enmarcaban con los aspectos específicos que el terreno proveía.

Por lo tanto, es en el terreno donde se determinó el lugar de emplazamiento de las obras de captación y de acumulación, considerando las pendientes adecuadas, las distancias necesarias, los obstáculos del terreno y todo lo esencial para seleccionar de manera definitiva el espacio idóneo donde implementar el SCALL.

Asimismo, se debe procurar la ubicación más ventajosa de acuerdo con el uso del agua, evitando por ejemplo, la necesidad de utilizar una bomba que otorgue presión hídrica. En este caso, dado que el hidroacumulador tendrá la función de abastecer a través del riego a una pequeña plantación de maqui, es ideal utilizar

la gravedad para el transporte de ésta; por ello, conviene ubicarlo en una zona elevada respecto a la plantación y, con el área de captación óptima que permita llenar el hidroacumulador durante los meses de invierno.

3.4.2. Etapas de construcción de los SCALL

A continuación, se da cuenta a través de imágenes ilustradas y una breve descripción, de las etapas que estuvieron presentes al momento de implementar los SCALL en la Región de Valparaíso.

3.4.2.1. Preparación del terreno

Como preparación de terreno se deben realizar labores de limpieza, remoción de tierra, aplanamiento y formación del talud para el empotramiento de la geomembrana e instalación del hidroacumulador.

- **Limpieza:** luego de seleccionar el lugar idóneo para emplazar el SCALL, es necesario limpiar/despejar de cualquier vegetación existente el lugar en cuestión, considerando por supuesto el menor impacto posible; es por ello que se procura en principio, que sea una zona mayoritariamente descubierta de vegetación (Figura 24).
- **Remoción de tierra y aplanamiento:** en este punto, se considera el movimiento de tierra con pala y/o retroexcavadora, dependiendo de los volúmenes de tierra a movilizar, la disponibilidad de mano de obra en cada sector y la accesibilidad a cada sitio. El área de captación que se requiere para lograr llenar el hidroacumulador debe contar con al menos 3 ó 5% de pendiente, haciendo posible de esta manera el escurrimiento del agua. En este punto, la empresa constructora "IMPLUVIA", quien estuvo a cargo de la construcción de los SCALL, recomienda estandarizar las pendientes entre 10 y 20% para el área de captación (Figura 25).
- **Formación de talud para geomembrana e hidroacumulador:** a fin de contener el agua capturada por la geomembrana, se conforma un talud aguas abajo, el cual cumple, al igual que la cortina de una represa, el rol de detención de un volumen de agua, para posteriormente conducirla al desagüe. La construcción de este talud, se realiza a partir de la misma tierra removida en un comienzo (Figura 26). Posteriormente, se da paso a la excavación donde se instala el hidroacumulador, excavación que otorga un diferencial de altura, y permite de esta manera alcanzar los niveles de presión que permitirán el llenado del hidroacumulador (Figura 27).



Figura 24. Demarcación y limpieza del sitio de emplazamiento del SCALL en el sector de Las Palmas.



Figura 25. Remoción de tierra y aplanamiento del sitio en Las Palmas.

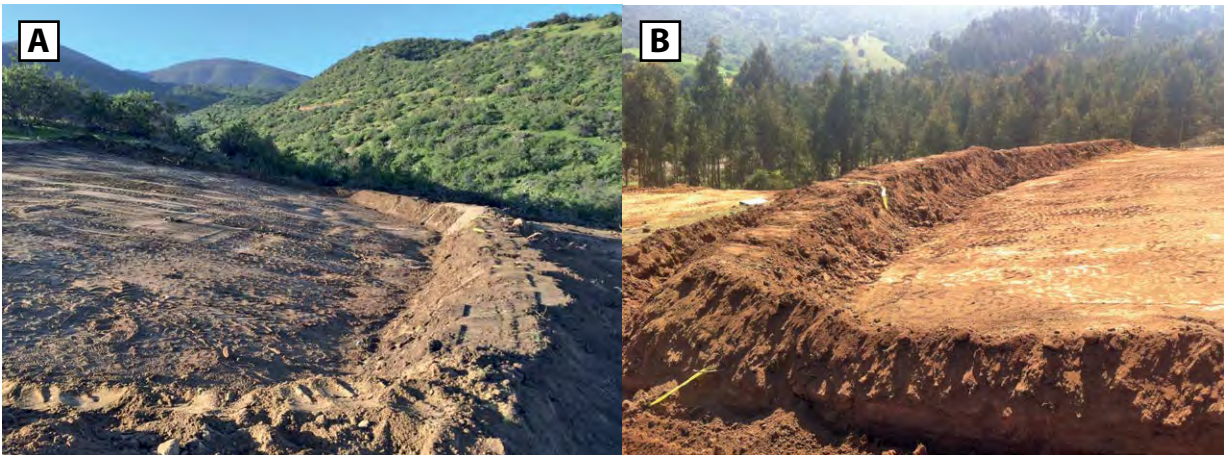


Figura 26. Conformación de talud en zona de captación en Las Palmas (A) y El Leoncito (B).

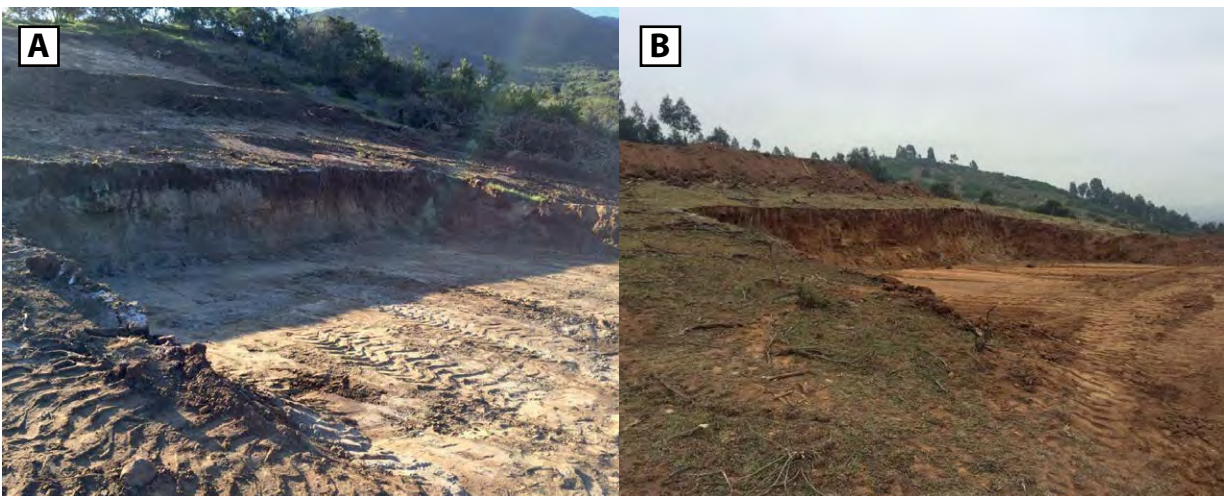


Figura 27. Excavación y formación de talud para ubicar el hidroacumulador en la zona de Las Palmas (A) y de El Leoncito (B).

3.4.2.2. Soporte de la geomembrana en el área de captación

A modo de determinar la mejor opción de soporte para la geomembrana, con respecto a la superficie donde será instalada, se determinó el excavar y conformar canaletas perimetrales (Figura 28). Estas permitieron enterrar parte de la geomembrana que cubre el área de captación de aguas lluvias, a una profundidad de unos 40 cm, con el fin de otorgarle una mayor sujeción al terreno.



Figura 28. Excavación de canaletas para sujeción de la geomembrana en la Reserva Nacional Lago Peñuelas (A) y en El Leoncito (B).

3.4.2.3. Instalación de la geomembrana, hidroacumulador y sistema de conducción

Una vez conformada la canaleta, se procedió a desplegar la geomembrana y enterrarla a unos 40 cm en la sección de las canaletas. Lo anterior, se representa en las Figuras 29 y 30.



Figura 29. Despliegue de geomembrana sobre el área de captación en Las Palmas.



Figura 30. Geomembrana enterradas en las canaletas en Las Palmas.

Posteriormente, se instala el hidroacumulador, el cual recibirá el caudal proveniente de la zona alta (Figura 31). Luego se conectan las cañerías que conducen las aguas desde la zona de captación hacia el hidroacumulador; y por último, se deja establecida la conducción desde el hidroacumulador al sistema de riego que abastecerá la plantación de maqui (Figuras 32, 33 y 34).



Figura 31. Instalación de hidroacumulador en RN Lago Peñuelas.

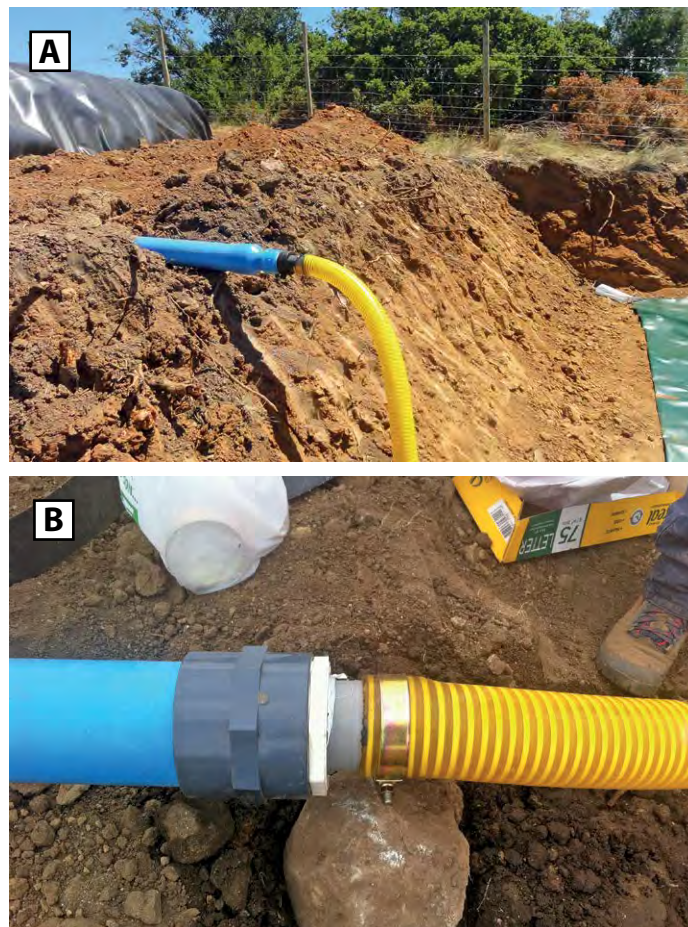


Figura 32. Conexión desde el área de captación al hidroacumulador en RN Lago Peñuelas (A) y en Las Palmas (B).

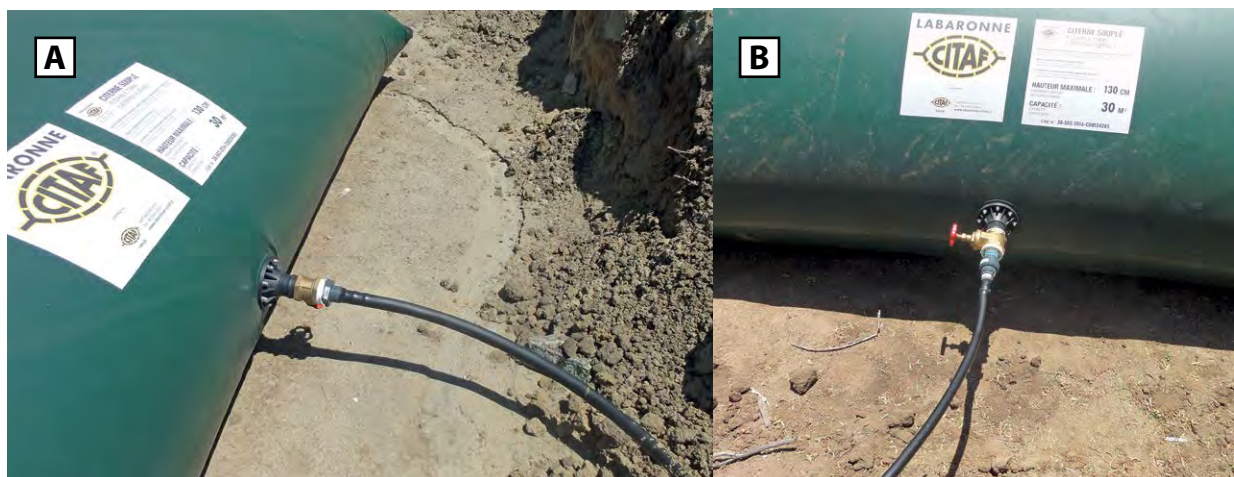


Figura 33. Conexión para salida del hidroacumulador hacia el sistema de riego en Las Palmas (A) y Santa Julia (B).



Figura 34. Vista del hidroacumulador en Las Palmas con el sistema conectado para la entrada de agua lluvia captada y su salida hacia el sistema de riego.

3.4.2.4. Prueba del sistema

Luego de instalar el sistema en todas las unidades demostrativas, se realizaron pruebas para comprobar su buen funcionamiento. Para ello, se vertió agua provista por camiones aljibes sobre el área de acumulación y se verificó la conducción y almacenamiento en los hidroacumuladores.

De esta manera fue posible comprobar el correcto funcionamiento de los SCALL y observar además, algún síntoma y/o señal de desperfecto técnico que pudiera estar presente en el sistema de captación de aguas lluvias (Figura 35 y Figura 36).



Figura 35. Camión aljibe depositando agua sobre la geomembrana en zona de captación de Las Palmas.



Figura 36. Probando la respuesta del resumidero en Las Palmas.

3.5. Materiales utilizados

Los materiales utilizados en cada obra y sus respectivos comentarios son presentados en la Tabla 8.

Tabla 8. Materiales utilizados en los sitios experimentales.

Ítem	Material	Observaciones
Zona de captación	Geomembrana de HDPE, grosor 1mm, ancho 7,01 metros.	-
	Cal Agrícola	Utilizada para demarcación de la zona de captación
Desagüe zona de captación	Tubería PVC – 4"	En Las Palmas y Santa Julia
	Set Stub-end conformado HDPE, brida de conexión, Codo HDPE 3" y tubería de PVC de 3 pulgadas (*)	Santa María de Pullally, El Leoncito y Lago Peñuelas
	Malla harnero galvanizada del número 6 (filtro)	Instalada para filtración de agua lluvia capturada
	Alambre galvanizado (filtro)	Fijación de malla/filtro
Conexión Captación - Hidroacumulador	Reducción larga 110x90 mm	Instalada para facilitar conexión y desconexión de la manguera desde tubería de desagüe
	Terminal HE 90 x 3"	-
	Manguera espiralada - 3"	-
	Unión Roscar cola larga polietileno – 3"	-
	Buje reducción HI x HE 3" X 2"	-
	Unión americana a soldar 63 mm	Instalada para facilitar conexiones de la manguera desde el hidroacumulador
	Codo 90 soldar – 63 mm	-
Extensión rebosadero de hidroacumulador	Terminal soldar-HI – 63x2"	-
	Tubería PVC 2"	-
	Pegamento Vinilit	-
	Lubricante de PVC	-
	Terminal espiga HE – 2"	Conecta manguera a codo rebosadero incluido en el hidroacumulador
	Manguera de polietileno – 2"	Aproximadamente 10 m en cada proyecto

Fuente: Patricio Sepúlveda, Impluvia.

3.6. Costos asociados a la construcción de los SCALL

La Tabla 9 da a conocer los costos involucrados en la construcción de cada sitio experimental con respecto a los Sistemas de Captación de Aguas Lluvias.

Tabla 9. Resumen de costos de los SCALL en los distintos sitios.

Sitio	Costo geomembrana	Movimiento de tierra	Instalación	Hidroacumuladores 30 m ³	Total
Las Palmas	\$1.322.400	\$3.773.490	\$1.899.240	\$1.892.100	\$8.887.230
Santa Julia	\$1.322.400	\$3.773.490	\$1.899.240	\$1.892.100	\$8.887.230
Santa María de Pullally	\$1.007.000	\$3.144.575	\$1.582.700	\$1.892.100	\$7.626.375
El Leoncito	\$931.000	\$3.144.575	\$1.582.700	\$1.892.100	\$7.550.375
R. N. Lago Peñuelas	\$285.000	\$1.347.675	\$678.300	\$1.892.100	\$4.203.075
	\$4.867.800	\$15.183.805	\$7.642.180	\$9.460.500	\$37.154.285

Fuente: Patricio Sepúlveda, Impluvia.

El costo de la impermeabilización de la zona de captación (por metro cuadrado) depende principalmente del espesor de la geomembrana utilizada, las cuales van normalmente desde 0,5 a 2,5 mm. En este caso se utilizó un espesor de 1 mm, medida mínima predefinida en la etapa de diseño de los SCALL, el cual, por supuesto, puede variar dependiendo de las condiciones climáticas y de suelo, siendo de esta manera, mayor o menor el espesor a utilizar (comunicación personal Patricio Sepúlveda, Impluvia). Otra variable que favorece o desfavorece los costos del impermeabilizador, es la superficie a utilizar, la cual dependerá directamente de la precipitación existente del lugar y/o del volumen de agua a almacenar. Así es el caso por ejemplo, en la Región del Maule, Talca, donde la superficie de geomembrana es considerablemente menor (88,2 m²) a diferencia de la zona de Las Palmas (390 m²) donde las precipitaciones y/o montos de lluvias son inferiores en comparación a Talca, y necesitan una superficie impermeabilizada mucho más grande para captar esas aguas lluvias.

Considerando las dimensiones de las distintas superficies de captación, fue necesaria la utilización de un retroexcavadora para efectuar las labores de limpieza del terreno, excavación, compactación y formación de talud para la instalación del estanque. Dado que existen costos asociados al transporte de la maquinaria, es relevante que estos servicios sean contratados en zonas cercanas al lugar donde se construirán obras de estas características para abaratar los costos. Es importante también, que la maquinaria cuente con las herramientas apropiadas, en particular un balde aguilón cuyo ancho permita la construcción de zanjas con un ancho y profundidad lo más eficiente posible, considerando que la geomembrana estará enterrada en ella (Ver punto 3.4.2.2).

Finalmente, los hidroacumuladores son quizás el mejor método de almacenamiento de agua en este minuto, ya que, ofrece la mejor relación precio/volumen y, su disponibilidad en el mercado está siendo cada vez mayor. Si bien, los estanques utilizados en estos cinco proyectos son importados, su relación precio-calidad es bastante competitiva comparándola con los productos de fabricación nacional (comunicación personal Patricio Sepúlveda, Impluvia).

3.7. Estaciones meteorológicas

Las estaciones instaladas en cada uno de los sitios seleccionados permiten el registro de varias variables. Todas las estaciones incluyen una consola y un conjunto integrado de sensores, que son pluviógrafo de cazoleta, sensores de temperatura y humedad relativa, veleta, anemómetro y panel solar.

- Consola: permite la comunicación inalámbrica con todos los sensores instalados y muestra la información en tiempo real de cada uno de ellos. Tiene un alcance de 300 metros, por lo que se debe instalar la estación en ese rango de distancia. Funciona con un transformador de 9 volt, el que debe estar siempre conectado a la red eléctrica. En caso de interrupción del suministro eléctrico, la consola también funciona con 3 baterías tipo C.

- Pluviógrafo: medidor de lluvia caída a través de cazoleta, la cual viene configurada por defecto para registrar precipitaciones cada 0,01 pulgadas, pero se puede configurar la unidad de medida a milímetros. El pluviógrafo envía los registros de lluvia a la consola donde se muestra la cantidad de agua caída por minuto, hora, día, mes y año. Además la ventaja de este equipo es que presenta un filtro en la parte media del embudo colector de agua para evitar que se tape con hojas.
- Sensores de temperatura y humedad relativa: registra las temperaturas máximas y mínimas diarias además de la humedad relativa del ambiente, lo que se muestra en la pantalla de la consola.
- Veleta y anemómetro: sensores para medir la dirección y velocidad del viento respectivamente. Esta información se visualiza en la pantalla de la consola, indicando la dirección exacta del viento y la velocidad en km/h.
- Panel solar: la estación posee un panel solar, el cual permite recargar una batería que hace funcionar el sistema inalámbrico de la estación.
- Instalación de la estación: la estación debe ser instalada a una altura cercana a 1,50 metros desde el suelo, en un área despejada de árboles o cualquier otra cosa que haga interferencia en la estación al recibir el agua caída producto de las precipitaciones. Dicho radio debe ser de aproximadamente 10 metros y cuidando de que la consola quede como máximo a una distancia de 300 metros de la estación para recibir la señal de los sensores.

Finalmente, a estas estaciones se les hizo una modificación en el sistema que almacena los datos, donde se instalaron Raspberri pi con una ampliación de la memoria, lo que permite que el equipo guarde datos por un periodo que puede llegar hasta el año completo de registro, sin tener problemas de memoria.

En la figura 37 izquierda se muestra una estación instalada en terreno y a la derecha se muestra el proceso de calibración del registrador de precipitación del equipo antes de ser instalada en terreno.



Figura 37. Izquierda: estación meteorológica ubicada en Las Palmas; Derecha: calibración de una estación en la Universidad de Talca

4.- ESTABLECIMIENTO DE LAS PLANTACIONES DE MAQUI EN LA REGIÓN DE VALPARAÍSO

4.1. Descripción de los sitios

A continuación se describirán los cinco sitios escogidos, dentro de las comunas de Petorca, Papudo, Puchuncaví y Valparaíso cuya ubicación se ve en la Figura 21.

4.1.1. Localidad de Las Palmas

La zona de Las Palmas (coordenadas UTM, X= 299078, Y= 6436629) es bastante árida, dado que sus precipitaciones anuales suelen ser escasas (255 mm promedio al año) y concentradas durante el invierno, según indica la estación meteorológica Palquico (Gráfico 4). En cuanto a suelos, el predio tiene bastante pendiente y está ubicado en un piedmont. Según la ortofoto de la región de Valparaíso, corresponde a la serie de suelo Encón. Es un suelo sedimentario, estratificado, de origen coluvial, profundo; de textura superficial franco arenosa y de textura arenosa en profundidad. En la siguiente figura se observa el terreno antes de iniciadas las obras.



Figura 38. Fotografía del paisaje en la zona de Las Palmas.

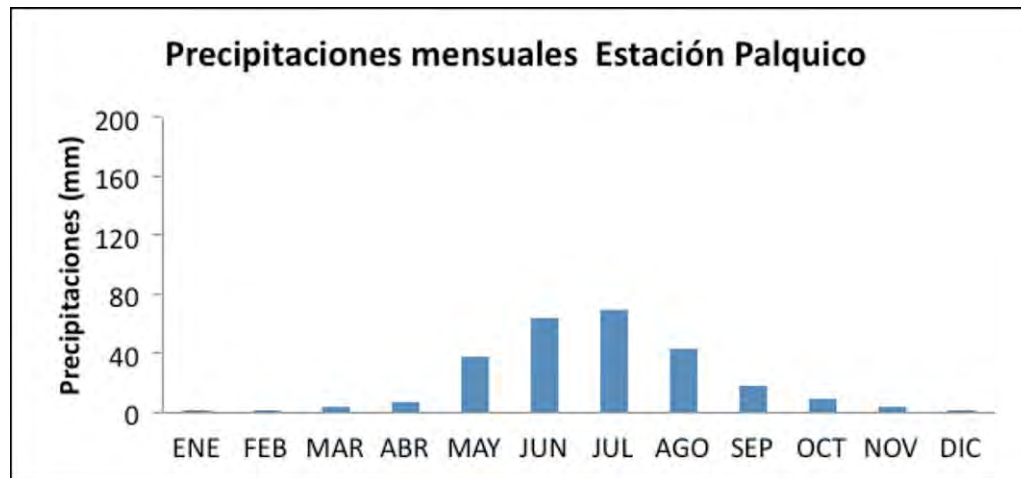


Gráfico 4. Precipitaciones mensuales promedio en la Estación meteorológica Palquico, cercana a la zona de Petorca. **Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Aguas (DGA).

4.1.2. Localidad de Santa Julia

Al igual que el predio anterior, Santa Julia también está ubicado en Petorca (coordenadas UTM, X= 304755, Y= 6423530) y tiene las mismas características pluviales presentadas en el Gráfico 4. En cuanto a los suelos, este predio tiene poca pendiente, su uso es activamente agrícola y pertenece también a la serie de suelos Encón. En la siguiente figura se observa el terreno antes de iniciadas las obras.



Figura 39. Fotografía del paisaje en la zona de Santa Julia.

4.1.3. Predio Santa María de Pullally

El predio Santa María de Pullally está ubicado en la comuna de Papudo (coordenadas UTM, X= 274178, Y= 6405624). Este sitio presenta escasas precipitaciones (275 mm promedio al año), concentradas durante el invierno, como se muestra en el Gráfico 5 correspondiente a la estación meteorológica de Longotoma. En cuanto a suelos, corresponde a zona de lomajes y dunas costeras estabilizadas, de textura arenosa, con muy poca retención de agua. En la siguiente figura se observa el terreno antes de iniciadas las obras.



Figura 40. Fotografía del paisaje en la zona de Santa María de Pullally.

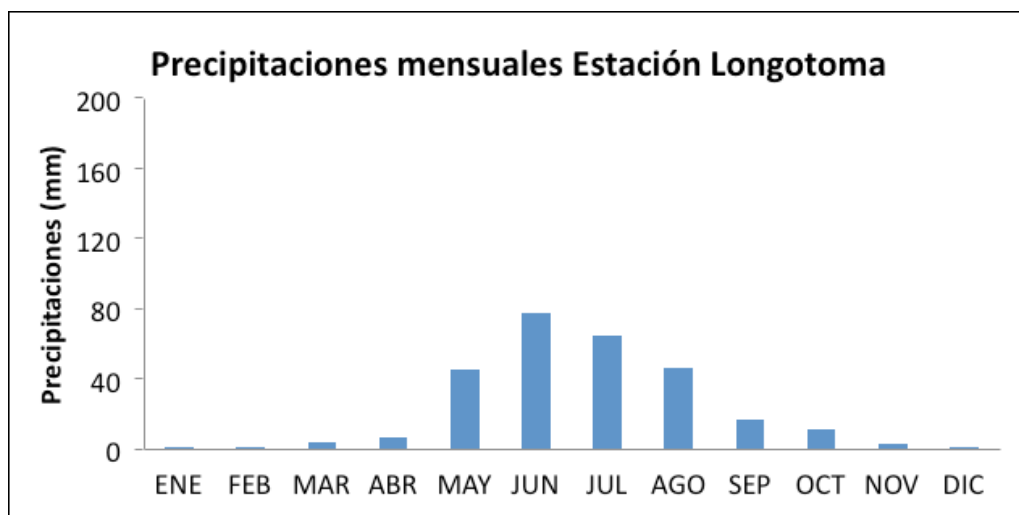


Gráfico 5. Precipitaciones mensuales promedio en la Estación meteorológica Longotoma, cercana a la zona de Papudo. **Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Aguas (DGA).

4.1.4. Predio el Leoncito

El predio El Leoncito, ubicado en la comuna de Puchuncaví (coordenadas UTM, X= 274949, Y= 6382718), presenta condiciones pluviométricas áridas (301 mm promedio anual), con sus precipitaciones concentradas en invierno, según indica la estación meteorológica Laguna de Zapallar (Gráfico 6). Se encuentra en una zona de piedmont en lomajes costeros, correspondiente a suelos más antiguos, más evolucionados, con mayor arcilla en su textura y por lo tanto con mayor capacidad de retención de agua. En la siguiente figura se observa el terreno antes de iniciadas las obras.



Figura 41. Fotografía del paisaje en la zona de El Leoncito.

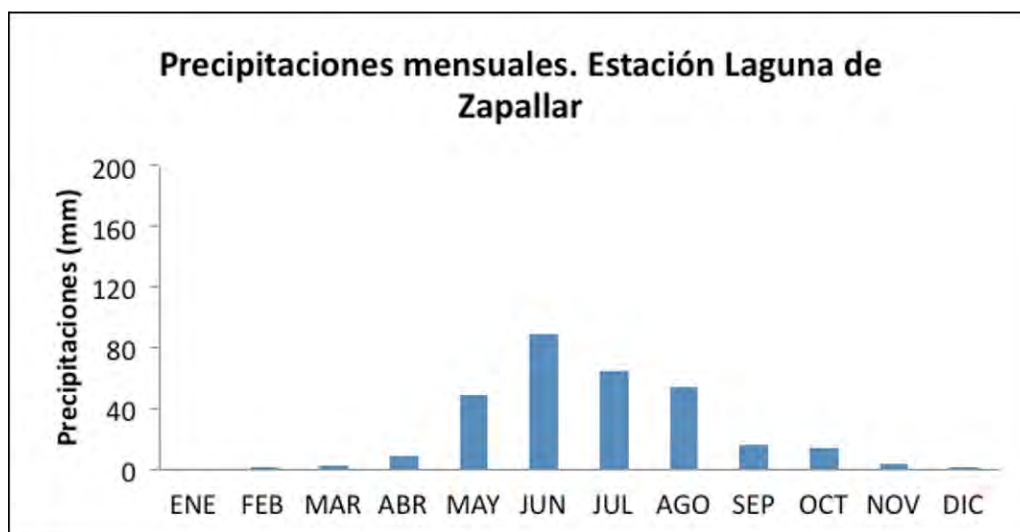


Gráfico 6. Precipitaciones mensuales promedio en la Estación meteorológica Laguna de Zapallar, cercana a la zona de El Leoncito. **Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Aguas (DGA).

4.1.5. Reserva Nacional Lago Peñuelas

El sitio seleccionado dentro de la Reserva Nacional Lago Peñuelas, está ubicado en el sector Loma Larga (coordenadas UTM, X= 269597, Y= 6324928), en la comuna de Valparaíso. Presenta condiciones pluviométricas más húmedas que los sitios anteriores, con una media anual de 689 mm según indica la estación meteorológica Lago Peñuelas (Gráfico 7). Corresponde a suelos altamente compactados en una zona de lomajes, perteneciente a la serie de Lo Vásquez. En la siguiente figura se observa el terreno antes de iniciadas las obras.



Figura 42. Fotografía del paisaje en la zona de Lago Peñuelas.



Gráfico 7. Precipitaciones mensuales promedio en la Estación meteorológica Lago Peñuelas, cercana a la zona de Valparaíso. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Aguas (DGA).

4.2. Descripción de suelos

A pesar de que el maqui es una especie rústica y no tiene mayores requerimientos de suelo, se realizaron análisis de nutrientes en los distintos sitios seleccionados. Dichos análisis mostraron que las texturas se encontraban en un rango entre moderadamente finas a moderadamente gruesas y todos ellos presentaron distintos niveles de fertilidad, para lo cual se prepararon dosis de fertilizantes especiales para cada sector. Los nutrientes necesarios para cada sitio, fueron incorporados en las casillas al momento de la plantación, con el objetivo de asegurar el establecimiento de las plantas.

Las proporciones de arcilla, limo y arena y la clasificación de texturas se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Textura de los suelos de los sitios del proyecto en base a análisis de laboratorio.

Sitio	Textura	% Arcilla	% Limo	% Arena
Las Palmas	Franca	20,7	28,0	51,3
Santa Julia	Franco arenosa	8,7	14,0	77,3
Santa María de Pullally	Arenosa	2,7	4,0	93,3
El Leoncito	Franco arcillo arenosa	22,7	26,0	51,3
RN Lago Peñuelas	Franco arenosa	18,7	24,0	57,3

Fuente: Informe Laboratorio de Servicios de Analítica de Suelos, Pontificia Universidad Católica de Chile.

En relación al pH en general los sitios se encuentran entre ligeramente ácido a neutro, salvo el sitio de Peñuelas que es de una acidez mayor. Ningún sitio presenta problemas de salinidad, estando sus conductividades eléctricas muy bajas. Los niveles de materia orgánica están entre 1 y 2%, lo que son valores habituales en estos suelos. Respecto de los nutrientes se encontraron bajos suministros de fósforo (P) en el suelo en los sitios de Peñuelas y Puchuncaví, Bajos de potasio (K) en Petorca, Peñuelas, Santa Julia y Puchuncaví. En Petorca adicionalmente el zinc (Zn) se encontraba deficiente y en todos los sitios había bajo suministro de boro (B) y azufre (S).

Teniendo estos antecedentes se adquirieron los fertilizantes que contenían estos nutrientes y se hizo una dosis para cada sitio, de acuerdo a sus necesidades. Las características químicas de los suelos de cada sitio se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Características químicas de los suelos, según resultados de análisis de cada sitio. Se indica con negrita aquel valor que se encuentra fuera del rango adecuado.

Análisis	Unidad	Rangos Adecuados	Las Palmas	Santa Julia	Santa María de Pullally	El Leoncito	Lago Peñuelas
Propiedades Químicas							
pH susp	-	-	6,66	7,43	6,46	5,53	5,47
CE susp	mS/cm	< 0,5	0,03	0,06	0,03	0,06	0,07
M.O.	%	-	1,5	1,1	1,9	1,8	2,6
Disponibles							
N	mg/kg	*	15	8	22	23	24
P Olsen	mg/kg	20 - 40	20	27	31	6	4
K	mg/kg	150 - 300	92	132	199	69	116
Cu	mg/kg	0,6 - 11	7	1,6	0,7	12,7	2,6
Fe	mg/kg	> 4,5	21,6	10,8	34,8	42,4	45
Mn	mg/kg	> 1,0	8,3	7,2	5,7	50,2	43,8
Zn	mg/kg	> 1,0	0,6	1,1	1,1	1,3	1,7
B	mg/kg	1,0 - 1,5	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2
S	mg/kg	> 9	0,16	0,15	0,18	1,32	0,15
Intercambiables							
Ca	meq/100gr	> 4,1	9,3	5,3	4,9	5,2	3,6
Mg	meq/100gr	> 0,5	2,2	1	0,6	2,6	0,8
K	meq/100gr	> 0,27	0,2	0,3	0,5	0,2	0,3
Na	meq/100gr	< 0,5	0,08	0,07	0,09	0,14	0,08

4.3. Descripción de las plantas

Al momento de seleccionar plantas, se recomienda que estas sean mayoritariamente femeninas, para asegurar la producción de frutos, y al menos un 10% sean individuos masculinos para polinizar a los individuos femeninos. Al mismo tiempo, las plantas provenientes de estacas presentan una mayor rapidez en la producción de frutos, ya que normalmente se encuentran en etapa de madurez sexual en la planta de origen.

En cuanto a la procedencia, se recomienda seleccionar plantas de origen cercano al lugar de plantación, ya que presentan mayor adaptación a las condiciones climáticas en las que se desarrollarán. Es por este motivo que se les invita a los productores a coleccionar esquejes (patillas) de plantas aledañas al lugar donde instalarán la plantación, marcando durante la temporada de producción a aquellas plantas femeninas que se encuentran produciendo frutos, para luego cosechar esquejes en el otoño.

Debido a que el proyecto tiene una duración de 1 año, no fue posible propagar plantas a partir de esquejes, y hubo que seleccionarlas de distintos viveros en las Regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador Bernardo O'Higgins, hasta completar la cantidad necesaria. Las plantas fueron mantenidas en el vivero de CONAF en La Ligua hasta su trasplante a los ensayos (Figura 43).



Figura 43. Plantas reunidas en el Vivero de CONAF La Ligua.

Las plantas fueron medidas inicialmente para monitorear el crecimiento y desarrollo a futuro. Se midieron la altura y el diámetro a la altura del cuello (DAC) del brote principal, y se realizó un conteo de ramas y presencia de flores o frutos.

Por otro lado, se midió la partición de biomasa en peso seco de raíces, ramas, tallos y hojas, además del área foliar de las plantas. Con estos datos se establecieron relaciones alométricas entre los distintos órganos de crecimiento, entre los que destacan los resultados presentados en los Gráficos 8 al 12.

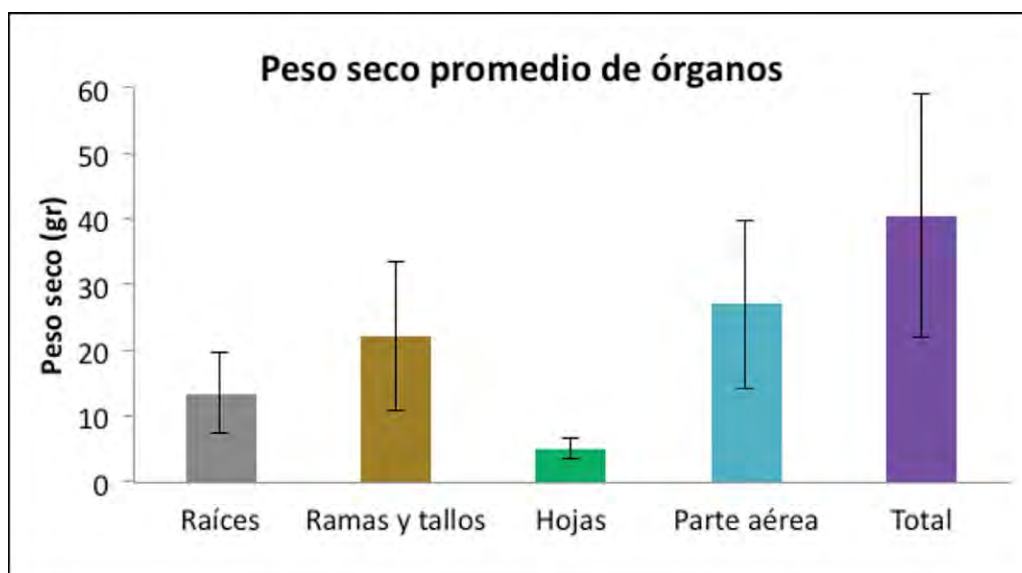


Gráfico 8. Peso seco promedio de raíces, ramas y tallos, y hojas, así como de la parte aérea (suma de ramas, tallos y hojas) y del total (suma de raíces, ramas, tallos y hojas), para un $n = 11$ plantas.

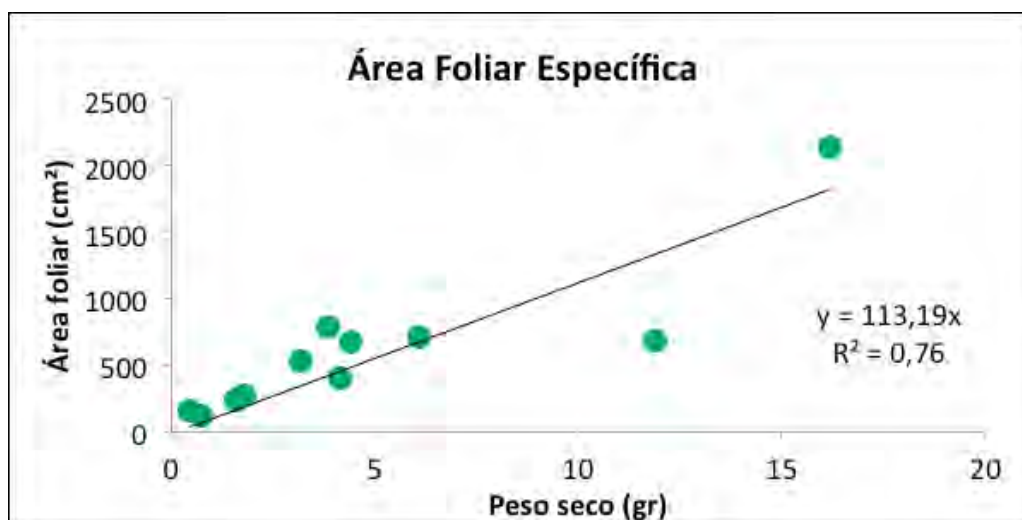


Gráfico 9. Área foliar específica (SLA, por su nombre en inglés) en cm^2/gr , representada por la pendiente de la recta entre área foliar y peso seco.

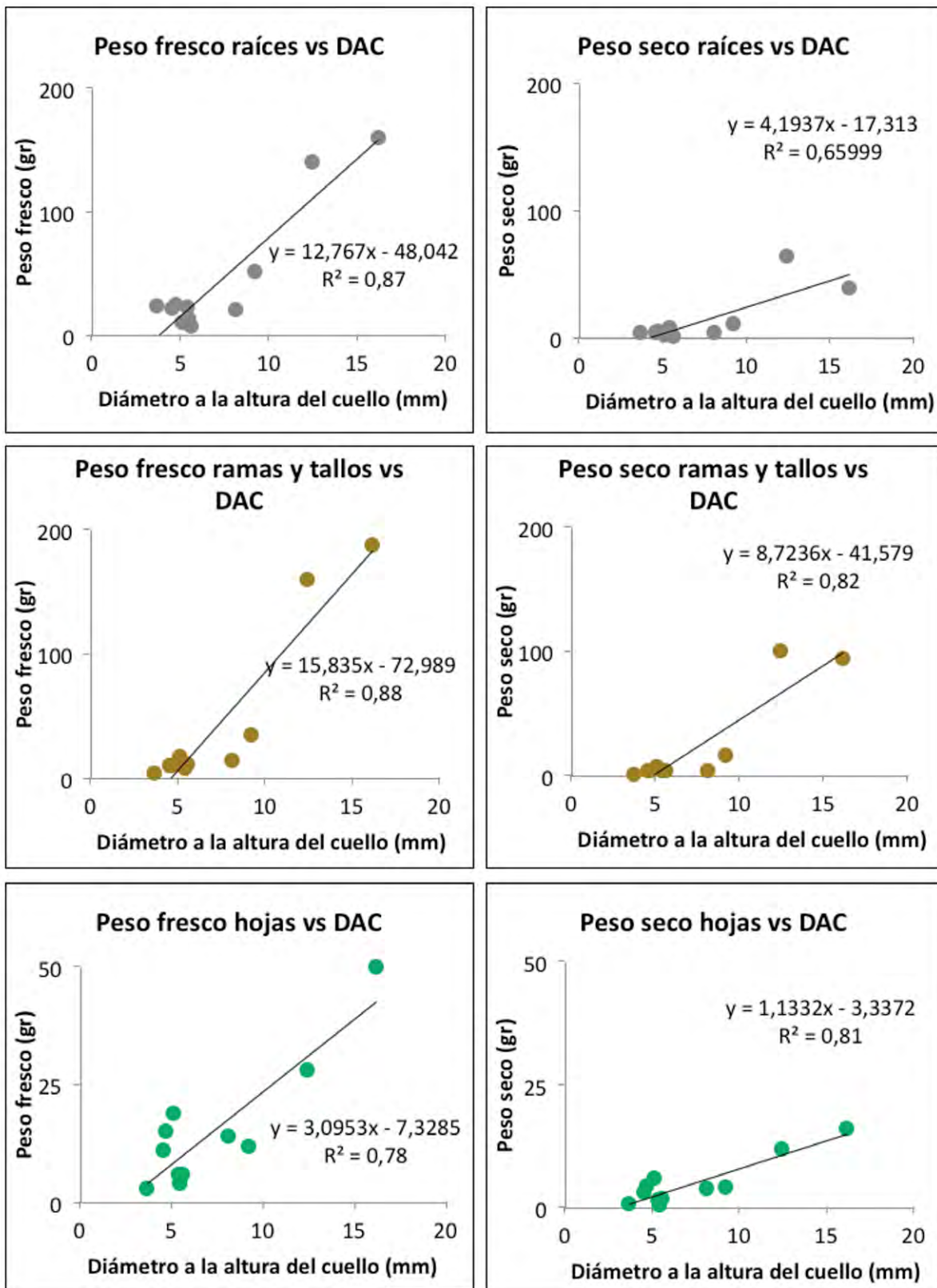


Gráfico 10. Relación entre el peso fresco y el peso seco de raíces, ramas y tallos, y hojas con el diámetro a la altura del cuello (DAC) de las plantas.

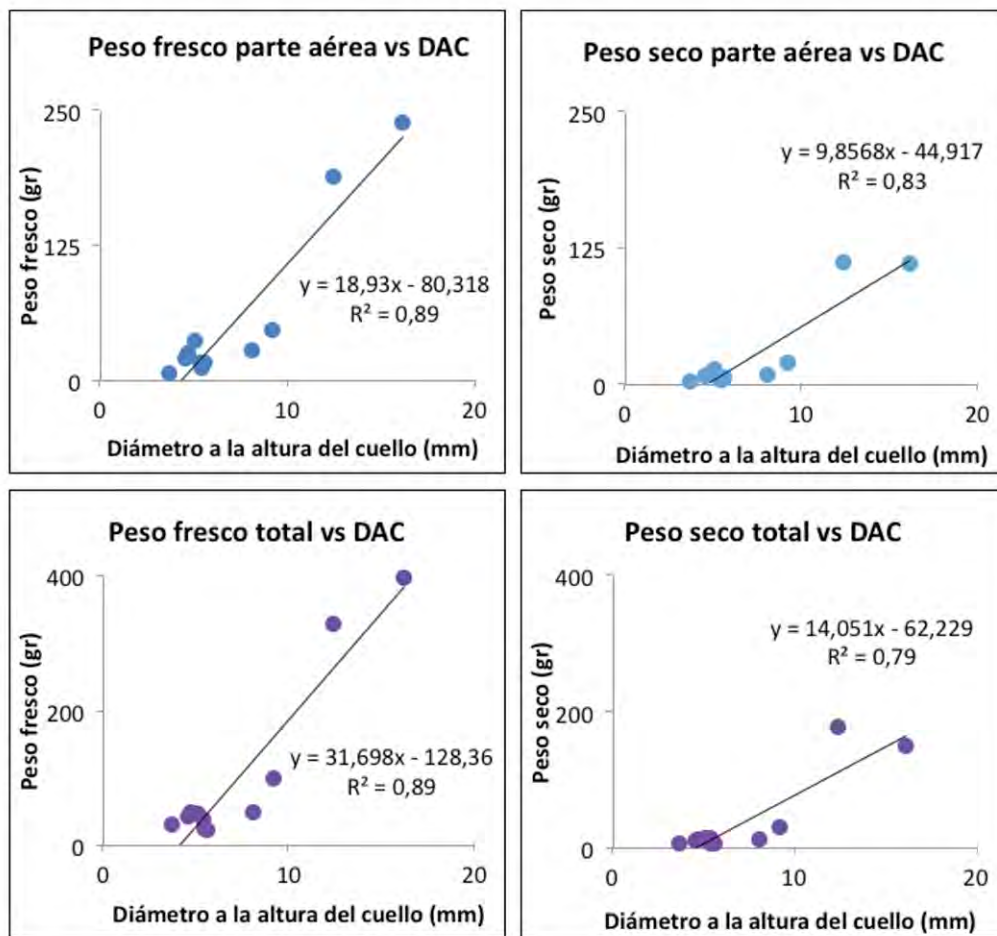


Gráfico 11. Relación entre el peso fresco y el peso seco de la parte aérea (ramas, tallos y hojas) y del total de la planta (raíces, ramas, tallos y hojas) con el diámetro a la altura del cuello (DAC) de las plantas.

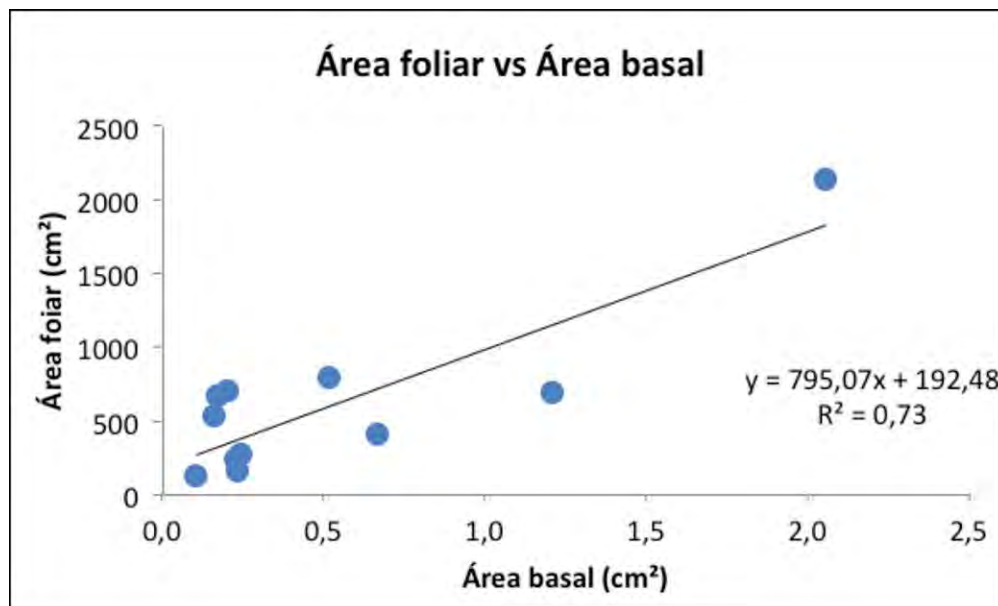


Gráfico 12. Relación entre el área foliar y el área basal de las plantas de maqui analizadas.

Dado el origen de las plantas, provenientes de diferentes viveros y con distintos tamaños y contenedores, la biomasa total y por compartimentos representa una alta variabilidad (Gráfico 8), sin embargo, las relaciones alométricas presentadas en los Gráficos 10 al 12 son bastante altas. Estas relaciones permiten estimar biomasa a partir del DAC, y nos permitirán en el futuro, estimar la cantidad de biomasa a partir de esta fácil medición de terreno.

El Área Foliar Específica (superficie foliar por unidad de peso seco, Gráfico 9) es de 113,19 cm²/gr. Este valor puede variar según el estado fenológico de las plantas pero es un valor inicial contra el cual contrastar futuras mediciones.

4.4. Diseño de la plantación

A partir de las condiciones de los distintos sitios y de los conocimientos actuales en cuanto al cultivo del maqui, se definió realizar una plantación con un distanciamiento de 2 metros entre hileras y 2 metros sobre la hilera. Además, cada ensayo consta de 6 subparcelas de 16 plantas cada una, más una zona de amortiguación en los bordes, lo que completa un total de 140 plantas por sitio. Por otra parte, los ensayos están diseñados para probar dos tipos de riego (riego tipo A y B), con tres repeticiones (Figura 44). Las Figuras 45 y 46 muestran el proyecto ya establecido en terreno.

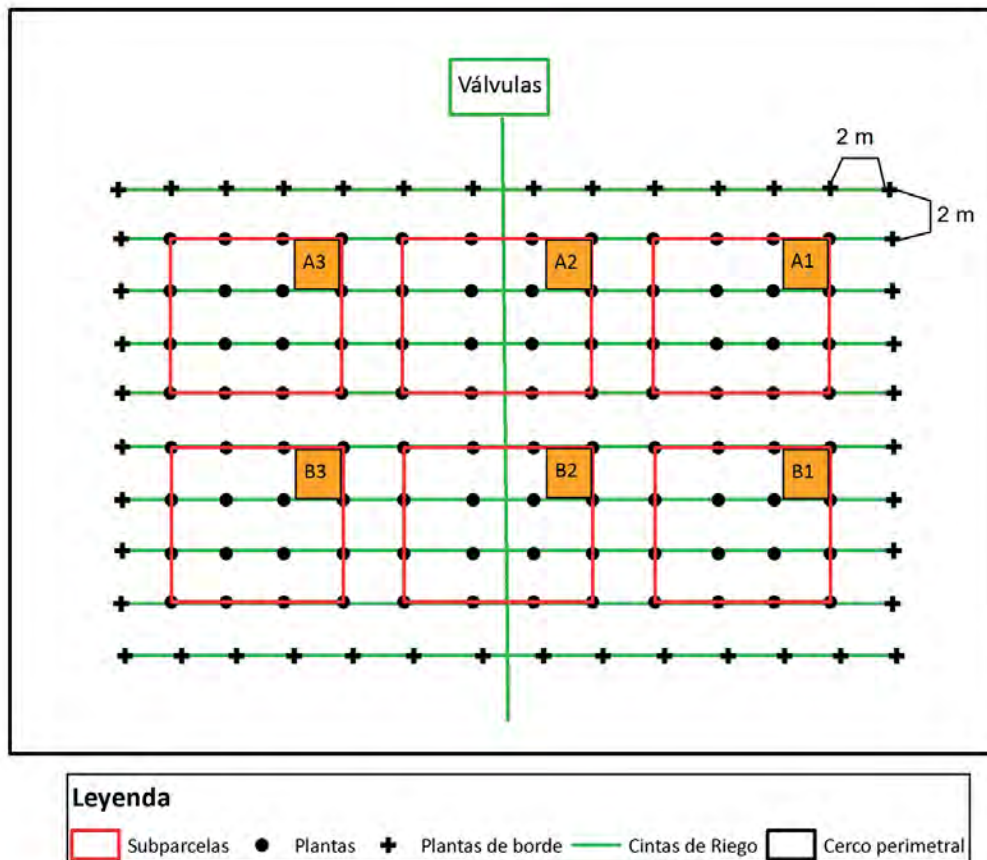


Figura 44. Esquema de la plantación donde se distinguen las plantas de borde de las plantas interiores. Se indican también las subparcelas rotuladas, la disposición de las cintas de riego y el cierre perimetral.

Fuente: elaboración propia.



Figura 45. Marco de plantación de 2 x 2 metros entre y sobre hilera.



Figura 46. Ejemplo de señalización de las subparcelas.

4.5. Descripción de las plantaciones

La plantación se realizó en casillas de 30 x 30 x 40 cm de profundidad, en las cuales se removió y descompactó el suelo, agregando fertilizante al momento de la plantación de manera de complementar los déficits nutricionales presentes en cada sitio. Se agregó un mulch orgánico usando material vegetal encontrado en cada sitio, para mantener la humedad en el suelo, como se observa en la Figura 47.



Figura 47. Mulch orgánico de material proveniente del mismo sitio.

Todas las plantas cuentan con protectores individuales de polipropileno para evitar la herbivoría por parte de conejos y roedores en general, como se ve en la Figura 47. El diseño triangular del protector otorga estabilidad y resistencia frente a vientos y lluvias fuertes. Cuentan con tratamiento anti UV que aumenta la vida útil del protector, protege a la planta de la radiación solar e incluso acelera el desarrollo. Actúan como invernadero y generan un microclima interno que disipa heladas y retiene humedad. Por otra parte, su material es 100% reciclable.

La plantación cuenta con un cierre perimetral compuesto de polines impregnados y reja de triple hebra. Se agregó al cierre perimetral una malla Raschel que actúa como barrera para el ingreso de animales y como cortaviento, sobre todo en los sectores costeros donde se produce brisa marina. La Figura 48 muestra el cierre perimetral.



Figura 48. Cierre perimetral con malla Raschel sobre reja de triple hebra. Se observa un faldón que cubre el perímetro para prevenir la entrada de animales.

4.6. Riego

Se instaló un sistema de riego por goteo, con goteros autocompensados que liberan 2 litros de agua por hora, ubicados a 30 cm de distancia sobre la hilera. Cada planta recibe el aporte de aproximadamente 6 goteros. Dado que en el primer año se busca potenciar el establecimiento de la plantación, se recubrió la cinta de riego con una planza que canaliza los goteros intermedios directamente hacia las plantas, para no tener pérdidas, como se observa en la Figura 49. Luego de establecidas, se pueden retirar las planzas para fomentar la exploración de raíces más allá de la zona directa de plantación.



Figura 49. Cinta de riego en funcionamiento. Se observa el goteo directo en la zona de plantación y la canalización con planza proveniente de las zonas intermedias.

El sistema de riego escogido funciona con solo un metro de columna de agua, lo cual es una muy baja presión. Esto permite conseguir la presión necesaria para el funcionamiento del riego, con una menor distancia lineal (y vertical) entre la zona de captación y la plantación. En todos los sitios se obtuvo la presión necesaria, excepto en Santa Julia, donde se instaló una bomba auxiliar que funciona con energía solar.

Se determinó la evapotranspiración de referencia (ET₀) de acuerdo a datos promedio de los sitios, para tener idea de una demanda hídrica potencial. Y bajo el supuesto de que el maqui podría tener un coeficiente de cultivo (KC) igual a 0,6 durante sus primeros años, se calculó la evapotranspiración mensual del cultivo (ETC) (Gráfico 13).

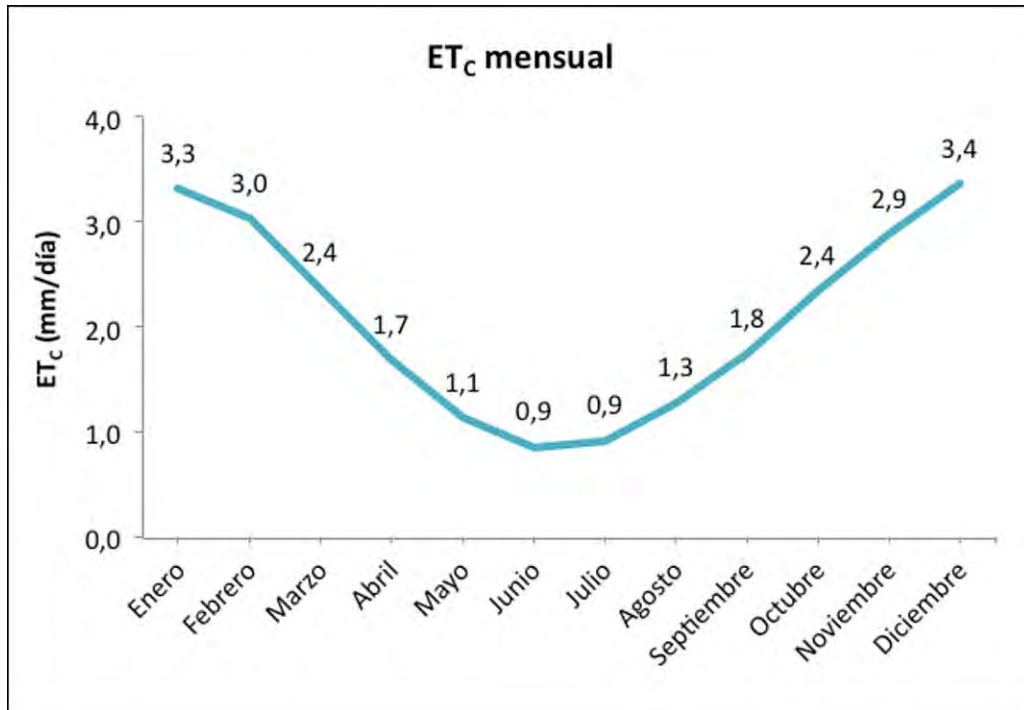


Gráfico 13. Evapotranspiración de cultivo (ETC) para cada mes, según datos de ET₀ calculados para el área de estudio.

Por otro lado, considerando una cobertura del 25% de la superficie (para una plantación ya desarrollada), un marco de plantación de 4 m² por planta y que cada planta recibe el aporte de 6,1 goteros que emiten 2 litros/hora, se calculó el tiempo de riego necesario para suplir el requerimiento hídrico de cada mes.

Con esta información se realizó la programación del riego para los meses más secos (de septiembre a marzo), con el objetivo de asegurar su sobrevivencia y controlar la distribución de agua exclusivamente para los meses secos. Para esto, se consideró que los controladores instalados ("Galcon 11000 EZ") permiten el encendido automático de las válvulas en periodos de 1, 2, 5, 10, 15, 30 y 45 min y 1, 2 y 4 días, y frecuencias de 1, 3, 6 y 12 horas y 1, 2, 3, 4, y 7 días, por lo que se buscó la mejor combinación que se ajuste a las necesidades de los sitios.

Tomando en cuenta que el máximo volumen de agua a distribuir corresponde a los 30.000 litros que acumula el estanque y que se debe regar durante 7 meses, se programó el riego en periodos de 15 minutos cada 3 días, con lo cual se distribuyen 29.890 litros de agua (99,6%). El porcentaje de reposición hídrica respecto del ETC calculado para cada mes, junto a los cálculos mencionados anteriormente sobre ET₀, ETC y tiempo de riego se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. ET_0 , ET_c y tiempo de riego acordes a las características de los sitios y la plantación, y reposición hídrica mensual considerando riegos de 15 minutos cada 3 días, según la programación realizada.

Mes	ET_0 (mm/día)	ET_c (mm/día)	Tiempo de riego (min/día)	Reposición hídrica (%) del ET_c con riegos de 15 minutos cada 3 días
Enero	5,54	3,32	18,0	27,4%
Febrero	5,06	3,04	16,8	29,9%
Marzo	3,96	2,37	13,2	38,5%
Abril	2,81	1,69	9,0	54,1%
Mayo	1,90	1,14	6,0	80,0%
Junio	1,43	0,86	4,8	105,3%
Julio	1,53	0,92	4,8	100,0%
Agosto	2,14	1,28	7,2	71,4%
Septiembre	2,92	1,75	9,6	51,3%
Octubre	3,91	2,35	13,2	38,5%
Noviembre	4,82	2,89	16,2	31,3%
Diciembre	5,60	3,36	18,6	27,0%

Fuente. Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 12, a partir de abril y hasta agosto el porcentaje de reposición hídrica es mayor. Se considera no regar durante esos meses y permitir de esta manera que el estanque pueda acumular todo el volumen de agua que precipite durante otoño e invierno. Sin embargo, también es posible apreciar que entre septiembre a marzo el porcentaje de reposición hídrica es bajo, pues se trata de un riego deficitario.

De todos modos, cabe mencionar que producto de que la primera programación se realizó en diciembre de 2016 con los estanques en su máxima capacidad, el primer período de riego será de 30 minutos cada 4 días (Figura 50), lo cual es muy positivo para el establecimiento de las plantas.



Figura 50. Controladores de válvulas instaladas en terreno y detalle de la pantalla, programada para regar durante 30 minutos cada 4 días, en esta primera etapa.

5.- RESULTADOS Y DESAFÍOS

5.1. Resultados y desafíos de los sistemas de captación de aguas lluvias

A continuación, se darán a conocer los resultados y desafíos que involucran a los sistemas de captación de aguas lluvias diseñados y construidos en la Región de Valparaíso.

5.1.1. Resultados de los sistemas de captación de aguas lluvias

Dentro de los resultados que respectan a los SCALL a raíz del proyecto: *Establecimiento con fines productivos de Aristotelia chilensis (maqui) en zonas rurales de la Región de Valparaíso a través de la utilización de sistemas de captación de aguas lluvias (SCALL)*, se pueden mencionar los siguientes:

El diseño hidrológico planteado para la determinación de las variables de estado del SCALL, a saber, la precipitación de diseño y el área de captación, fue eficiente en términos de establecer singularidades territoriales y marcar diferencias para los distintos lugares en que las obras fueron emplazadas. Lo anterior permite recomendar esta metodología de captación de aguas lluvias para su implementación en cualquier territorio de la Región de Valparaíso. Asimismo, su aprovechamiento podrá estar orientado a distintos usos del agua, tales como el doméstico, el agrícola o el productivo.

En relación al área de captación, la cobertura de la misma con geomembrana resultó ser eficiente desde el punto de vista constructivo y desde el punto de vista de la captación y conducción de agua. Lo primero se vio ratificado porque fue factible encontrar personal especializado en la utilización y sellado de la geomembrana; lo segundo se ratificó, porque en lluvias pequeñas y concentradas, como las que ocurren en la Región de Valparaíso, fue posible captar volúmenes pluviales que llenaron los hidroacumuladores a proporciones mayores a los dos tercios de su capacidad, lo que habla de un coeficiente de escorrentía por sobre 0,85.

Una innovación que se realizó en este estudio en relación a la instalación de la geomembrana, fue la construcción de un camellón de tierra y una canaleta, para, en primer lugar, levantar el nivel de la geomembrana desde el piso y, en segundo lugar, empotrar la geomembrana en el herido, para posteriormente cubrirla con tierra. En otros lugares, la elevación del nivel de la geomembrana, con el fin de conducir el agua hacia la zona de acumulación, se había hecho con polines de madera que eran cubiertos por la geomembrana, lo que involucra mayores costos. La innovación que se comenta, permite reducir los costos y asegurar una conducción eficiente del agua, en base a los objetivos predefinidos.

La utilización de los hidroacumuladores en base a estanques flexibles de PVC, fue altamente útil, dado que el traslado de los estanques en su condición inicial, se puede realizar a un muy bajo costo y en la maleta de un automóvil. A esto se suma, que la instalación del estanque flexible es técnicamente fácil de realizar. Además, este tipo de estanques genera una muy buena conservación del agua, porque no permite la entrada de luz y con ello impide el desarrollo de agentes patógenos que pueden proliferar al interior de la cisterna. Una restricción que se manifestaba para estos estanques, era la potencial subida de temperatura que los mismos provocan al agua durante el día por efecto de la insolación; sin embargo, se pudo verificar que la mayor temperatura del agua se encontraba en la parte superior del estanque, en tanto que en la parte baja del mismo esa temperatura bajaba notablemente. Este hecho permite asegurar que es posible regar cualquier plantación, derivado de que la temperatura es la adecuada para realizar esa tarea. Por lo anterior, se valida la opción del hidroacumulador de PVC o tanque flexible, como una alternativa eficiente para la acumulación de aguas lluvias.

El sistema logró probar su efectividad, cuando mediante camiones aljibes se le pudo entregar agua en la zona de captación, o bien cuando se verificó la presencia de chubascos en los meses de noviembre y diciembre. Así, se logró determinar que el sistema funcionó favorablemente en estas tareas y eso permite augurar un adecuado abastecimiento de agua para las plantaciones de maqui ya instauradas en los cinco puntos de estudio.

5.1.2. Desafíos de los sistemas de captación de aguas lluvias

Dentro de los desafíos pendientes asociados a los SCALL y su utilización para la Región de Valparaíso, se pueden mencionar los siguientes:

Sería interesante establecer un análisis mayor acerca de la posibilidad de reemplazo total de los camiones aljibes por sistemas de captación de aguas lluvias, ya que estos últimos requieren de una fuerte inversión al inicio del proceso, para posteriormente ser prácticamente autónomos en su funcionamiento. Esto es altamente deseable, a raíz de los ingentes esfuerzos económicos que debe realizar el Estado de Chile, para proveer de agua potable a sectores rurales. Por tanto, este es un desafío de relevancia que se puede intentar abordar con los sistemas de captación de aguas lluvias en la Región de Valparaíso.

Un segundo desafío que puede establecerse con los SCALL en la Región de Valparaíso, tiene relación con la posibilidad de aumentar la oferta de agua en términos espaciales y temporales para el combate de incendios forestales. Así y como es sabido, este flagelo afecta de manera importante a esta Región, la que corresponde a una zona árida y semiárida, en que las precipitaciones no son abundantes. Por tanto, los sistemas de captación de aguas lluvias podrían incrementar la oferta de agua, de tal forma que se reduzca el desplazamiento de los helicópteros y del personal de tierra en la búsqueda de agua para sofocar tales incendios. Este desafío involucra juntar aspectos de ingeniería hidrológica con elementos de la ingeniería de combate de incendios, pero es un desafío con un alto potencial de rentabilidad social, económica y ambiental, dadas las implicancias que poseen los incendios forestales en esta región del país.

Un último desafío que podría plantearse para la Región de Valparaíso y que dice relación con los SCALL, es la posibilidad de analizar su implementación en áreas urbanas, es decir, intentar conducir y acumular las aguas lluvias que circulan en las ciudades con tres objetivos muy bien definidos: el primero es disminuir los caudales circulantes en zonas urbanas y con ello reducir estos caudales sobre las obras civiles y la población humana. El segundo es acumular estas aguas lluvias en el periodo invernal y utilizarlas para el riego de áreas verdes en el periodo estival. El último, es propiciar la acumulación de estas precipitaciones pluviales en áreas verdes o en terrenos baldíos, con el objetivo de propiciar la infiltración del agua a los acuíferos desde zonas urbanas. Todo lo anterior define un conjunto sinérgico de actuaciones, que pueden favorablemente contribuir a objetivos sociales y ambientales y disminuir el riego de áreas verde urbanas con agua potable de calidad, entre otros beneficios.

5.2. Resultados y desafíos del maqui

5.2.1. Resultados de las plantaciones de maqui

Al culminar el proyecto, luego de un año de ejecución, se obtiene como principal resultado el adecuado establecimiento de las plantaciones de maqui en todos los sitios seleccionados, considerando una reposición muy baja de plantas muertas (cerca al 10% de la población, debido a las condiciones hídricas del suelo al momento de la plantación).

Después de transcurrida la primera temporada de crecimiento, se ha observado un aumento en la cantidad de ramas y hojas, e incluso en el desarrollo de flores y frutos en las plantas más grandes de cada sitio. Esto último indica que toda la infraestructura asociada a las plantaciones, como el cierre perimetral, los protectores individuales y el sistema de riego, han cumplido sus objetivos.

Otro resultado de gran importancia para el proyecto corresponde a haber logrado mantener motivados e involucrados a los propietarios y beneficiarios, dado que ahora ellos son los responsables de mantener en funcionamiento el SCALL y la plantación. Confiamos plenamente en el compromiso que han demostrado y el trabajo que cada uno de ellos hará para obtener los mejores productos de esta experiencia, así como también esperamos poder continuar desarrollando investigaciones y nuevas reflexiones en torno al cultivo y manejo del maqui, que permitan aumentar el conocimiento y perfeccionamiento de esta especie en Chile.

5.2.2. Desafíos de las plantaciones de maqui

La creciente demanda nacional e internacional por el fruto de maqui implica que se hace necesario ahondar en investigaciones conducentes a mejorar las técnicas de propagación, manejo, cosecha y almacenamiento de frutos. Todo indica que la especie pasará prontamente de ser una especie cosechada desde poblaciones naturales, a una especie agronómica, manejada con todas las técnicas actuales, que incluyen selección genética, clonación, y probablemente en un corto plazo, programas de mejoramiento genético.

La amplia distribución geográfica de la especie y las variaciones ecotípicas encontradas por algunos autores, ofrecen la promisoriosa posibilidad de encontrar genotipos adaptados a variadas condiciones ambientales. Esto podría determinar que la especie pueda ser cultivada en un amplio rango climático, siempre que las selecciones genéticas orientadas al cultivo agrícola se hayan basado desde un comienzo en un amplio rango de sitios y por lo tanto en una población genéticamente amplia y variada.

Estudiar la fenología y fisiología de la especie, así como la arquitectura de su copa y las relaciones de estos factores con la productividad son probablemente líneas de investigación más importantes a desarrollar en los próximos años, para complementar los estudios agronómicos futuros que estarán orientados, probablemente, a técnicas de establecimiento, poda, fertilización, riego y sus efectos sobre la calidad y cantidad de frutos.

Es importante fomentar nuevos e innovadores usos que se le puedan dar al maqui, ya sea en alimentación, cosmética, farmacéutica, ingeniería u otra área, con el propósito de continuar expandiendo su mercado nacional y hacer de Chile el principal productor y exportador a nivel internacional.

Por último, se debe destacar la importancia de proteger las formaciones naturales, de manera que su uso para producción de frutos no las deteriore, ya que serán la fuente principal de nuevos genotipos, en la medida que las futuras investigaciones lo requieran.

6.- AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a todas las personas e instituciones que prestaron su ayuda desinteresada para la concreción de los objetivos de este proyecto. En especial al Gobierno Regional de Valparaíso por haber creído en nuestra propuesta científico técnica.

A la Corporación Nacional Forestal Región de Valparaíso y muy particularmente en la persona de los ingenieros Freddy Correa, Mario Gálvez, Renato Castro, Fernando Hurtado y Rosana Castillo, así como a los guardaparques de la Reserva Nacional Lago Peñuelas, especialmente a su administrador Sr. Aldo Valdivia.

A la Delegación Presidencial de Recursos Hídricos del Ministerio del Interior, en especial al Sr. Reinaldo Ruiz, Sra. Carolina Morales y Sr. Marcelo Herrera.

A los propietarios que facilitaron su terreno para la instalación de los ensayos y mostraron un alto compromiso con los objetivos del proyecto, Sra. Berta Oyanedel, Sr. Juan Oyanedel, Sr. Hernán Hidalgo, Sr. Ignacio Alliende y al Sr. Héctor Moltedo.

7.- BIBLIOGRAFÍA

- Alonso JR. 2012. Maqui (*Aristotelia chilensis*): un nutraceutico chileno de relevancia medicinal. (Maqui (*Aristotelia chilensis*): a Chilean nutraceutical of medicinal relevance). Rev Farmacol Chile 5(2): 95-100
- Araneda, J. 2006. Germinación de semillas de *Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz, Azara serrata Ruiz et Pavón y Colliguaja intergermina bajo distintas condiciones de temperatura. Tesis para optar al Título de Ingeniero Forestal, Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Silvicultura, Concepción.
- Araneda, X., Quilamán, E., Martínez, M., & Morales, D. 2014. Elaboración y evaluación de jugo de maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz) por arrastre de vapor. Scientia Agropecuaria, 149-156
- Articulação Semiarido Brasileiro. 2015. En línea. Disponible en http://www.asabrasil.org.br/sobre-nos/ap1mc#categoria_img
- Avello, M., Valdivia, R., Sanzana, R., Mondaca, M. A., Mennickent, S., Aeschlimann, V., Bittner, M., Becerra, J. 2009. Extractos antioxidantes y antimicrobianos de *Aristotelia chilensis* y *Ugni molinae* y sus aplicaciones como preservantes en productos cosméticos. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas, 8(6), 479-486
- Ballén S., J.A., Galarza G., M.A., and Ortiz M. 2006. Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia para Vivienda Urbana. VI SEREA - Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua
- Benedetti, S., & Pavez, C. 2012. Antecedentes nutricionales y potencialidades de usos de frutos de Peumo, *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser, Espino, *Acacia caven* (Mol.) Mol., y Maqui, *Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz. Santiago: Instituto Forestal.
- Bonometti, C. 2000. Aspectos reproductivos en flores de maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz). Tesis Lic. Agr., Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Valdivia.
- Cárdenas, C. 1998. Aspectos de la morfología floral, producción de néctar y fructificación en *Berberis darwini* Hook., *Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz, y *Ugni molinae* Turcz. Tesis para optar al grado de Licenciado en Agronomía. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Agronomía, Valdivia.
- Coode, M. J. 1985. *Aristotelia* and *Vallea*, Closely related in Elaeocarpaceae. Kew Bulletin, 40(3), 479-507.
- Damascos, M. A., & Prado, C. H. 2001. Leaf phenology and its associated traits in the wintergreen species *Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz (Elaeocarpaceae). Revista Chilena de Historia Natural(74), 805-815.
- Damascos, M. A., Prado, C. H., Ladio, A. A., Arribere, M. A., & Guevara, S. R. 2005. Consequences of the elimination of old leaves upon spring phenological events and the new leaves nutrient concentration in a wintergreen woody species in the Southern hemisphere. Plant Ecology, 181, 1-8.
- Doll, H., Vogel, G., Ibarra, P., Jeldres, I., Razmilic, J., San Martín, G., Vizcarra, M., Muñoz, M., Sáenz, M. & Donoso, M. 1999. Estudio de domesticación de especies nativas ornamentales de potencial uso industrial. Seminario domesticación de diferentes especies nativas ornamentales y medicinales, Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Agrarias, Talca, Chile.
- Doll, U., Mosqueira, D., Mosqueira, J., González, B., Vogel, H. 2016. Pruning maqui (*Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz) to optimize fruit production. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jarmap.2016.12.001>
- Donoso, C. 2006. Las especies de los bosques templados de Chile y Argentina, Autoecología. Valdivia: Marisa Cuneo Ediciones.
- Escribano-Bailón, M. T., Alcalde-Eon, C., Muñoz, O., Rivas-Gonzalo, J., & Santos-Buelga, C. 2006. Anthocyanins in Berries of Maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz). Phytochemical Analysis, 17(1), 8-14.
- Farías, M. 2009. Determinación de los mecanismos involucrados en la actividad analgésica de las hojas de *Aristotelia chilensis* en un modelo de dolor térmico agudo. Memoria para optar al título de Químico Farmacéutico, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas.
- Fernández, M.P. 1998. Plantas Medicinales. Productos Forestales No Madereros. Serie Forestal N°10 FAO. Roma.
- Fonseca, O. s/f. De la gestión tradicional a la gestión integral del agua de lluvia en el Norte de Morelos: el caso de Villa Nicolás Zapata. Instituto mexicano de tecnología del agua. En línea. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/93639/3_CHidra_2013_4dic.pdf
- Forcone, A., & Kutschker, A. 2006. Floración de las especies de interés apícola en el noreste de Chubut, Argentina. Rev. Mus. Argentino Clenc. Nat. n.s., 8(2), 151-157.
- Fredes, C., & Montenegro, G. 2011. Maqui: el "superfruto" chileno. Agronomía y Forestal(43), 19-21.
- Fredes, C., Montenegro, G., Zoffoli, J. P., Gómez, M., & Robert, P. 2012. Polyphenol content and antioxidant activity of maqui (*Aristotelia chilensis* Molina Stuntz) during fruit development and maturation in Central Chile. Chilean Journal of Agricultural Research, 72(4), 582-589.

- Fredes, C., Montenegro, G., Zoffoli, J. P., Santander, F., & Robert, P. 2014a. Comparison of the total phenolic content, total anthocyanin content and antioxidant activity of polyphenol-rich fruits grown in Chile. *Ciencia e Investigación Agraria*, 41(1), 49-60.
- Fredes, C., Yousef, G., Robert, P., Grace, M., Lila, M. A., Gómez, M., Gebauer, M., Montenegro, G. 2014b. Anthocyanin profiling of wild maqui berries (*Aristotelia chilensis* [Mol.] Stuntz) from different geographical regions in Chile. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 94(13): 2639-2648.
- Fuentes, O., Céspedes, C., Sepúlveda, R. 2015. *Aristotelia chilensis*, rutin and quercetin amilorates acute vascular endothelial dysfunction in rat thoracic aorta exposed to oxidative stress. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas* 14(1). 11-20
- Fundación Chile. 17 de Agosto de 2012. Comunicado de Maqui. Recuperado el 19 de Diciembre de 2014, de Fundación Chile: <http://www.fundacionchile.com/bio>http://www.fundacionchile.com/archivos/Comunicado_Maquis_RevVL_FAM.docx
- Fundación para la Innovación Agraria (FIA). 2009. Resultados y lecciones en productos agroindustriales ricos en antioxidantes a base de berries nativos. Serie Experiencias de Innovación para el Emprendimiento Agrario. Santiago: Fundación para la Innovación Agraria – Ministerio de Agricultura.
- García, L., García, L. V., Rojo, D., Sánchez, E. 2001. Plantas con propiedades antioxidantes. *Revista Cubana de Investigación Biomédica*, 20(3), 231-235.
- Gironés-Vilaplana, A., Baenas, N., Villaño, Debora, Speisky, H., García-Viguera, C., & Moreno, D. 2014. Evaluation of Latin-American fruits rich in phytochemicals with biological effects. *Journal of Functional Foods*, 599-608.
- Gironés-Vilaplana, A., Calín-Sánchez, Á., Moreno, D., Carbonell-Barrachina, Á., García-Viguera, & Cristina. 2014. Novel maqui liquor using tradicional pacharán processing. *Food Chemistry*, 173, 1228-1235.
- Gironés-Vilaplana, A., Valentao, P., Moreno, D., Ferreres, F., García-Viguera, C., & Andrade, P. 2012. New Beverages of Lemon Juice Enriched with the Exotic Berries Maqui, Açai, and Blackthorn: Bioactive Components and in Vitro Biological Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 6571-6580.
- González, D. 2003. Los Productos Naturales No Maderables (PFNM): Estado del arte de la investigación y otros aspectos. Bogotá: Biocomercio Sostenible, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos "Alexander von Humboldt".
- González, B., H. Vogel, I. Razmilic, E. Wolfram. 2015: Antioxidant activity, polyphenol and anthocyanin content in different parts of maqui fruits (*Aristotelia chilensis*) during ripening and conservation treatments after harvest. *Industrial Crops and Products* 76: 18-165.
- Guerrero, J., Ciampi, L., Castilla, A., Medel, F., Schalchli, H., Hormazabal, E., Bensch, E., & Alberdi, M. 2010. Antioxidant capacity, Anthocyanins, and Total phenols of wild and cultivated berries in Chile. *Chilean journal of Agriculture Research*, 70(4), 537-544.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., & Fujita, M. 2013. Chapter 6: Extreme Temperature Responses, Oxidative Stress and Antioxidant Defense in Plants. En K. Vahdati, & C. Leslie (Edits.), *Abiotic Stress - Plant Responses and Applications in Agriculture*. Agriculture and Biological Sciences.
- INFOR. 2014. Boletín Productos forestales no madereros. Santiago, Chile.
- Jara, E., Hidalgo, J., Flores, C., Pérez, M., Yáñez, A., Hidalgo, A., Quiñones, L., Hancke, J. & Burgos, R. 2012. Estudio de un extracto estandarizado de maqui rico en delfinidinas en el mantenimiento del balance de glucosa. *Revista Farmacológica de Chile*, 5(2), 27-34.
- Leal, A. 2006. Concentración de Extracto Enzimático Obtenido de Hojas de Maqui (*Aristotelia chilensis* Mol.) para su Utilización en Quesería. Tesis para optar al título de Ingeniero en Alimentos, Universidad Austral de Chile.
- León-Lobos, P. M., & Kalin-Arroyo, M. T. 1994. Germinación de semillas de *Lithrea caustica* (Mol.) H. et A. (Anacardiaceae) dispersadas por *Pseudalopex spp.* (Canidae) en el bosque esclerófilo de Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural*, 67, 59-64.
- Mikkelsen, P.S.; Adeler, O.F; Albrechtsen, H.-J; Henze, M. 1999. Collected rainfall as a water source in danish households – what is the potential and what are the costs?, *Water Science and Technology*, Volume 39, Issue 5, 1999, Pages 49-56, ISSN 0273-1223, [http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00086-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00086-4).
- Miranda-Rottmann, S., Aspillaga, A., Pérez, D., Vasquez, L., Martinez, A., & Leighton, F. 2002. Juice and Phenolic Fractions of the Berry *Aristotelia chilensis* Inhibit LDL Oxidation in Vitro and Protect Human Endothelial Cells against Oxidative Stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 7542-7547.
- Mølgaard, P., Gitz Holler, J., Betül, A., Liberna, I., Bakkestrøm, R., Ploug Jebjerg, C., Jørgensen, L., Lauritzen, J., Guzman, A., Adersen, A. & Toft Simonsen, H. 2011. Antimicrobial evaluation of Huilliche plant medicine used to treat wounds. *Journal of Ethnopharmacology*, 138, 219-227.

- Montenegro, G. 2000. Chile, Nuestra flora útil. Santiago: P. Universidad Católica de Chile.
- Mora, A. 1999. Producción de néctar por flores de maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz) y entomofauna asociada a su polinización. Tesis para optar al grado de Licenciado en Agronomía. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Agronomía, Valdivia.
- Nakamura, S., Tanaka, J., Imada, T., Shimoda, H., & Tsubota, K. 2014. Delphinidin 3.5-O-diglucoside, a constituent of the maqui berry (*Aristotelia chilensis*) anthocyanin, restores tear secretion in a rat dry eye model. *Journal of Functional Foods*, 10, 346-354.
- ODEPA. 2015, November 20. Exportaciones de maqui chileno suben 168% y alcanzan los US\$4,4 millones entre enero y septiembre. *Economía y Negocios*. Retrieved from <http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=202505>
- Pizarro, R.; Urbina, F.; Vallejos, C.; Mendoza, R.; Guzmán, J.; Tapia, J.; Sangüesa, C.; Campos, D.; Pino, J.; Saens, R.; Tijero, T.; García, P.; Ibarra, J.; Abarza, A.; Garrido, R.; Ruiz, R.; Morales, C.; Avendaño, C. 2016. Diseño y Construcción de Sistemas de Captación de Aguas Lluvias (Scall): una experiencia de 3 años. ISBN: 978-956-329-070-7
- Pizarro, R.; Balocchi, F.; Vera, M.; Aguilera, A.; Morales, C.; Valdés, R.; Sangüesa, C.; Vallejos, C.; Fuentes, R.; Abarza, A. y Olivares, C. 2013. Influence of climate on peak flow behavior in central Chile. *Revista Ciencia y Tecnología del Agua*, 4(2): 5-19.
- Pizarro, R.; Sangüesa, C.; Flores, J. y Martínez, E. 2004. Diseño de obras para la conservación de aguas y suelos. ISBN 956-299-418-X. Talca, Chile.
- Pizarro, R.; Abarza, A. y Farías, C. 2001. Análisis comparativo de las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) en seis estaciones pluviográficas. *Memorias del XV Congreso chileno de ingeniería hidráulica: 15-25*. (Comité editorial).
- Quirion J-C, Kan C, Bick IRC, Husson H-P. 1987. Novel dimeric indole alkaloids from *Aristotelia australasica*. Structural determination and synthesis. *J Org Chem* 52: 4527-4530
- Repetto-Giavelli, F., Lohengrin, C., & Simonetti, J. 2007. Respuestas foliares de *Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz (Elaeocarpaceae) a la fragmentación del bosque maulino. *Revista Chilena de Historia Natural*, 80, 469-477.
- Reyes-Farías, Vásquez, k., Ovalle-Marín, A., Fuentes, F., Parra, C., Quitral, V., Jimenez, P. & García-Díaz, D. 2014. Chilean Native Fruits Extracts Inhibit Inflammation Linked to the Pathogenic Interaction Between Adipocytes and Macrophages. *Journal of Medicinal Food*. 1-8
- Riveros, M., & Smith-Ramírez, C. 1995. Patrones de floración y fructificación en bosques del sur de Chile. En J. J. Armesto, C. Villagrán, & M. K. Arroyo, *Ecología de los bosques nativos de Chile* (págs. 235-245). Santiago: Editorial Universitaria.
- Rodríguez, R., Matthei, O., & Quezada, M. 1983. Flora arbórea de Chile. Concepción, Chile: Editorial Universidad de Concepción.
- Rojo, L., Ribnicky, D., Logendra, S., Poulev, A., Rojas-Silva, P., Kuhn, P., Dorn, R., Grace, M., Lila, M., Raskin, I. 2012. In vitro and in vivo anti-diabetics effects of anthocyanins from Maqui Berry (*Aristotelia chilensis*). *Food Chemistry*, 131, 387-396.
- Rubilar, M., Jara, C., Poo, Y., Acevedo, F., Gutierrez, C., Sineiro, J. & Shene, C. 2015. Extracts of Maqui (*Aristotelia chilensis*) and Murta (*Ugni molinae* Turcz.): Source of Antioxidant Compounds and α -Amylase Inhibitors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*
- Ruiz, A., Hermosín-Gutiérrez, I., Mardones, C., Vergara, C., Herlitz, E., Vega, M., Dorau, C., Weintherhalter, P., von Baer, D. 2010. Polyphenols and Antioxidant Activity of Calafate (*Berberis microphylla*) Fruits and Other Native Berries from Southern Chile. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 6081-6089.
- Salinas, J., Soto, D., & Fuentes, V. 2012. 5. Antecedentes de mercado. En S. Benedetti (Ed.), *Información Tecnológica de Productos Forestales No Madereros del Bosque Nativo en Chile*. Monografía de Maqui *Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz.
- Salinas, A.; Rodríguez, R. y Morales, D. 2010. Manual de especificaciones técnicas básicas para la elaboración de estructuras de captación de agua lluvia (SCALL) en el sector agropecuario de Costa Rica y recomendaciones para su utilización. Nicoya: Universidad nacional, CEMEDE. 96 p.
- San Martín, J. 2003. Caracterización florístico-estructural de remanentes de bosques de *Nothofagus alpina*, Fagaceae, del área costera de Chile central. *Bosque*, 24(1), 71-85.
- Schmidt-Hebbel, H., Pennacchiotti, I., Masson, L., Mella, M. A., Cagalj, A., Vinagre, J., Zucarelli, M., Oliver, H., Jaña, W. 1992. Tabla de composición química de alimentos chilenos. Santiago: Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile.

- Schreckinger, M. E., Lotton, J., Lila, M. A., & Gonzalez de Mejía, E. 2010a. Berries from South America: A Comprehensive Review on Chemistry, Health Potential, and Commercialization. *Journal of Medicinal Food*, 13(2), 233-246.
- Schreckinger, M. E., Wang, J., Yousef, G., Lila, M. A., & Gonzalez de Mejia, E. 2010b. Antioxidant Capacity and in Vitro Inhibition of Adipogenesis and Inflammation by Phenolic Extracts of *Vaccinium floribundum* and *Aristotelia chilensis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 8966-8976.
- Soto, D., Rojas, P., & Salinas, J. 2014. Productos Forestales No Madereros. Boletín N°20. Instituto Forestal, Santiago.
- Speisky, H., López-Alarcón, C., Gómez, M., Fuentes, J., & Sandoval-Acuña, C. 2012. First Web-Based Databased on Total Phenolics and Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) of Fruits Produced and Consumed within the Souths Andes Region of South America. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 8851-8859.
- Tanaka, J., Kadekaru, T., Ogawa, K., Hitoe, S., Shimoda, H., & Hara, H. 2013. Maqui berry (*Aristotelia chilensis*) and the constituent delphinidin glycoside inhibit photoreceptor cell death induced by visible light. *Food Chemistry*, 139, 129-137.
- UNESCO, 2015. Manual de diseño y construcción de sistemas de aguas lluvias en zonas rurales de Chile. Roberto Pizarro, Alejandro Abarza, Carolina Morales, Ronald Calderón, Jaime Tapia, Pablo García, Miguel Córdova. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 36
- Urban, O. 1934. Botánica de las plantas endémicas de Chile. Concepción.
- Valdebenito, G., Campos, J., Larrain, O., Aguilera, M., Kahler, C., Ferrando, M., García, E. & Sotomayor, A. 2003. Información Tecnológica de Productos Forestales No Madereros del Bosque Nativo en Chile. Boletín Divulgativo: *Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz., Maqui, Maquei, Clon, Queldrón, Quelon. Proyecto CONAF-INFOR: Plataforma de Sistematización y Difusión de Información Tecnológica de Productos Forestales No Madereros PFNM del Bosque Nativo.
- Valdebenito R., G y Aguilera F., M. 2013. Información tecnológica de productos forestales no madereros del bosque nativo en Chile: Antecedentes Silvícolas *Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz. Instituto Forestal.
- Verdi, V. 2004. Evaluación del período de receptividad del estigma en maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz) y murta (*Ugni molinae* Turcz.). Tesis para optar al grado de Licenciado en Agronomía. Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- Vergara, D., Ávila, D., Escobar, E., Carrasco-Pozo, C., Sánchez, A. & Gotteland, M. 2015. The intake of maqui (*Aristotelia chilensis*) berry extract normalizes H2O2 and IL-6 concentrations in exhaled breath condensate from healthy smokers – an explorative study. *Nutrition Journal*.
- Vogel, H., Razmilic, I., San Martín, J., Doll, U., & González, B. 2005. Plantas Medicinales Chilenas. Experiencias de Domesticación y Cultivo de Boldo, Matico, Bailahuén, Canelo, Peumo y Maqui. Talca: Editorial Universidad de Talca.
- Vogel, I. Razmilic, J. San Martín, U. Doll y B. González, 2008: Plantas medicinales chilenas. Experiencias de domesticación y cultivo de Boldo, Matico, Bailahuén, Canelo, Peumo y Maqui. Talca: Editorial de la Universidad de Talca. 194 p.
- Vogel, H., P. Peñailillo, U. Doll, G. Contreras, G. Catenacci, B. González. 2014: Maqui (*Aristotelia chilensis*): Morpho-phenological characterization to design high-yielding cultivation techniques. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* 1: 123-133.
- Vogel, H., B. González, G. Catenacci, U. Doll, 2016: Domestication and sustainable production of wild crafted plants with special reference to the Chilean Maqui berry (*Aristotelia chilensis*). *JuliusKühn-Archiv* 453:50-52.
- Watson, R. & Schönlaue, F. 2015. Nutraceutical and antioxidant effects of a delphinidin-rich maqui berry extract Delphinol®: a review. *Minerva Cardioangiologica* 63. 1-12.
- Zevallos, P., & Matthei, O. 1992. Dendrologic characterization of the woody species in the Escuadrón farm. *Ciencia e Investigación Forestal*, 6, 195-257.

8.- AUTORÍA FOTOGRAFÍAS

M. Paulina Fernández: Figuras 15, 16 Derecha, 17 y 20

CTHA: Figuras 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 18, 19, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37 y 41

Ursula Doll: Figura 16 izquierda

Claudia Bonomelli: Figura 43

Claudio Guevara: Figuras 35, 45, 46, 47, 48 y 49

María Menéndez-Miguélez: Figuras 38, 39, 40 y 42

Cristian Barrera: Figura 50

9.- ANEXOS

ANEXO 1

FUNCIONES ESTADÍSTICAS PARA LA ESTACIÓN UBICADA EN RESERVA NACIONAL LAGO PEÑUELAS

En el presente anexo se muestran, a modo de ejemplo, los resultados obtenidos del análisis de la precipitación para la estación "Lago Peñuelas" con respecto a los diferentes ajustes estadísticos aplicados. Los datos de precipitación anual fueron ajustados a través de las funciones Gumbel, Goodrich, Log-normal y Pearson III.

9.1.1. Funciones de distribución de probabilidad

A continuación se definen las funciones de distribución de probabilidad Gumbel, Goodrich, Log-normal y Pearson III:

i. Distribución Gumbel:

$$P(x \leq X) = F(x) = e^{-e^{-d(x - \mu)}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

χ : representa el valor a asumir por la variable aleatoria
 e : constante de Neper.
 μ y d : parámetros definidos como sigue:

$$d = \frac{1}{0,779696 * S} \quad ; \quad \mu = \bar{x} - 0,450047 * S$$

ii. Distribución de Goodrich:

$$P(x \leq X) = F(X) = 1 - e^{-a(x-x_1)^{1/p}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Para $X_1 < X \leq \infty$

En tanto los parámetros se determinan a partir del siguiente sistema de ecuaciones:

$$\frac{m_3}{s^3} = P(p) \quad ; \quad a^{2p} = \frac{1}{s^2} [\Gamma(2p+1) - \Gamma^2(p+1)] \quad ; \quad X_1 = \bar{x} - \frac{\Gamma(p+1)}{a^p}$$

Donde:

m_3 : momento central de orden tres,
$$m_3 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^3}{n}$$

S^3 : desviación típica al cubo.

$P(p)$: función auxiliar de Goodrich.

S^2 : varianza muestral.

Γ : función Gamma.

\bar{x} : media muestral.

e : constante de Neper.

Finalmente, despejando la variable aleatoria x de la función de distribución de probabilidad de Goodrich, se obtiene lo siguiente:

$$x = x_1 + \frac{1}{a^p} [-\ln(1 - F(X))]^p$$

iii. Distribución Log-Normal:

$$F(x) = \frac{1}{2\pi x(\beta)} \int_0^x e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - a}{\beta} \right)^2} dx \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde los parámetros existentes que se basan en los logaritmos de la variable aleatoria, están definidos de la siguiente forma:

$$a = \sum_{i=1}^n \frac{\ln x_i}{n} \quad \beta = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(\ln x_i - a)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

x : representa el valor a asumir por la variable aleatoria.

a, β : parámetros.

e : constante de Neper.

En el mismo caso que la distribución normal, se asigna z como una variable estandarizada:

$$z = \frac{\ln x - a}{\beta}$$

Y la probabilidad se encuentra en la tabla Normal, donde el valor de la variable x es:

$$x = e^{\beta z + a} \quad (\text{Ecuación 3 modificada})$$

iv. Distribución Pearson Tipo III:

$$F(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \int_0^x e^{-\left(\frac{x-\delta}{\delta}\right)} \left(\frac{x-\delta}{\delta}\right)^{\beta-1} dx \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde los parámetros de la distribución pueden ser estimados en función del promedio (\bar{x}) y desviación estándar (S) de la muestra, por medio de las siguientes expresiones:

$$\alpha = \frac{S}{\sqrt{\beta}} \quad ; \quad \beta = \left(\frac{2}{\gamma}\right)^2 \quad ; \quad \delta = \bar{x} - \alpha\beta$$

Donde:

$$\gamma = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^3 / n}{S^3}, \gamma : \text{coeficiente de sesgo}$$

e : constante de Neper

α, β y δ : parámetros

S : desviación típica

\bar{x} : media aritmética

Asimismo, la variable estandarizada y se presenta a continuación:

$$y = \frac{x - \delta}{a}$$

Posteriormente, el ajuste, se realiza a través de la tabla chi-cuadrado, donde:

$$\begin{aligned} x^2 &= 2y \\ \mu &= 2\beta \end{aligned}$$

Por lo tanto, el valor que asume la variable aleatoria x a partir de lo anteriormente señalado, se define como:

$$x = ya + \delta \quad (\text{Ecuación 4 modificada})$$

Y la probabilidad es obtenida a través de los valores presentes en la tabla de percentiles de la distribución x^2 , con n grados de libertad.

9.1.2. Resultado del ajuste de las cuatro funciones revisadas para la Reserva Nacional Lago Peñuelas

A continuación se muestran las planillas de cálculo para el ajuste de las 4 funciones de distribución de probabilidad para los datos obtenidos de la estación Lago Peñuelas.

Tabla 9.1. Determinación de los valores de Gumbel para los datos de precipitación anual desde 1974 – 2014.

N°	Año	Pp anual	Pp ord	Weibull	Gumbel	Dc
1	1974	665,6	137,9	0,024	0,005	0,019
2	1975	539,3	275,5	0,048	0,047	0,001
3	1976	453,7	276	0,071	0,047	0,024
4	1977	1.028,3	347,6	0,095	0,103	0,008
5	1978	897	362,5	0,119	0,118	0,001
6	1979	571,2	386,5	0,143	0,144	0,002
7	1980	1.044,5	399,9	0,167	0,160	0,006
8	1981	630,5	401,8	0,190	0,162	0,028
9	1982	1.224,1	412,4	0,214	0,176	0,039
10	1983	620,4	447,7	0,238	0,222	0,016
11	1984	1.366,4	453,7	0,262	0,230	0,031
12	1985	401,8	504,5	0,286	0,304	0,018
13	1986	783,7	510	0,310	0,312	0,003
14	1987	1.305,0	515,7	0,333	0,321	0,013
15	1988	412,4	518,2	0,357	0,325	0,033
16	1989	399,9	525,9	0,381	0,336	0,045
17	1990	275,5	538,1	0,405	0,355	0,050
18	1991	830,1	539,3	0,429	0,356	0,072
19	1992	1.097,5	571,2	0,452	0,405	0,048
20	1993	518,2	606,8	0,476	0,458	0,018
21	1994	525,9	620,4	0,500	0,478	0,022
22	1995	447,7	630,5	0,524	0,492	0,032
23	1996	515,7	665,6	0,548	0,541	0,006
24	1997	1.303,5	676	0,571	0,556	0,016
25	1998	137,9	696,4	0,595	0,583	0,013
26	1999	606,8	751,5	0,619	0,650	0,031
27	2000	942,5	760,1	0,643	0,660	0,017
28	2001	868,1	763,5	0,667	0,664	0,003
29	2002	1.185,5	783,7	0,690	0,686	0,005
30	2003	510	830,1	0,714	0,732	0,018
31	2004	696,4	868,1	0,738	0,766	0,028
32	2005	760,1	897	0,762	0,789	0,027
33	2006	763,5	942,5	0,786	0,822	0,036
34	2007	276	1028,3	0,810	0,871	0,062
35	2008	751,5	1044,5	0,833	0,879	0,046
36	2009	504,5	1097,5	0,857	0,902	0,044
37	2010	362,5	1185,5	0,881	0,930	0,049
38	2011	386,5	1224,1	0,905	0,940	0,036
39	2012	676	1303,5	0,929	0,957	0,028
40	2013	347,6	1305,0	0,952	0,957	0,004
41	2014	538,1	1366,4	0,976	0,966	0,010

Tabla 9.2. Determinación de los valores de Goodrich para los datos de precipitación anual desde 1974 – 2014.

N°	Año	pp anual	pp ord	m3	Weibull F (ac)	GD	Dc
1	1974	665,6	137,9	-4040406,74	0,024	0,005	0,019
2	1975	539,3	275,5	-1700847,61	0,048	0,068	0,020
3	1976	453,7	276	-1694656,82	0,071	0,068	0,003
4	1977	1028,3	347,6	-954472,806	0,095	0,129	0,033
5	1978	897	362,5	-834240,095	0,119	0,143	0,024
6	1979	571,2	386,5	-662544,092	0,143	0,168	0,025
7	1980	1044,5	399,9	-577833,403	0,167	0,182	0,016
8	1981	630,5	401,8	-566441,25	0,190	0,184	0,006
9	1982	1224,1	412,4	-505623,005	0,214	0,196	0,018
10	1983	620,4	447,7	-334678,954	0,238	0,237	0,001
11	1984	1366,4	453,7	-310141,257	0,262	0,244	0,018
12	1985	401,8	504,5	-148515,12	0,286	0,307	0,021
13	1986	783,7	510	-135495,745	0,310	0,314	0,004
14	1987	1305	515,7	-122829,933	0,333	0,321	0,013
15	1988	412,4	518,2	-117533,463	0,357	0,324	0,033
16	1989	399,9	525,9	-102181,058	0,381	0,334	0,047
17	1990	275,5	538,1	-80693,5698	0,405	0,349	0,055
18	1991	830,1	539,3	-78759,6804	0,429	0,351	0,078
19	1992	1097,5	571,2	-37979,4528	0,452	0,392	0,060
20	1993	518,2	606,8	-12632,2728	0,476	0,438	0,038
21	1994	525,9	620,4	-7239,96664	0,500	0,456	0,044
22	1995	447,7	630,5	-4424,19091	0,524	0,469	0,055
23	1996	515,7	665,6	-242,646961	0,548	0,514	0,034
24	1997	1303,5	676	-33,4228632	0,571	0,527	0,045
25	1998	137,9	696,4	19,5721935	0,595	0,552	0,043
26	1999	606,8	751,5	6512,16963	0,619	0,617	0,002
27	2000	942,5	760,1	9485,36668	0,643	0,627	0,016
28	2001	868,1	763,5	10873,5519	0,667	0,631	0,036
29	2002	1185,5	783,7	21981,0701	0,690	0,654	0,037
30	2003	510	830,1	71311,1742	0,714	0,702	0,012
31	2004	696,4	868,1	144610,29	0,738	0,739	0,001
32	2005	760,1	897	225531,932	0,762	0,765	0,003
33	2006	763,5	942,5	406295,016	0,786	0,803	0,017
34	2007	276	1028,3	968757,929	0,810	0,862	0,052
35	2008	751,5	1044,5	1113404,86	0,833	0,872	0,038
36	2009	504,5	1097,5	1685834,63	0,857	0,899	0,042
37	2010	362,5	1185,5	3019472,76	0,881	0,935	0,054
38	2011	386,5	1224,1	3776776,17	0,905	0,947	0,042
39	2012	676	1303,5	5712004,85	0,929	0,966	0,037
40	2013	347,6	1305	5753807,13	0,952	0,966	0,014
41	2014	538,1	1366,4	7645166,59	0,976	0,976	0,000

Tabla 9.3. Determinación de los valores de Log – normal para los datos de precipitación anual desde 1974 – 2014.

N°	Año	pp anual	pp ord	Weibull F (ac)	ln	(ln-a)	z'	z	Log-normal	Dc
1	1974	665,6	137,9	0,0238	0,1202	0,0548	-3,1017	0,0010	0,0010	0,0228
2	1975	539,3	275,5	0,0476	0,1370	0,0159	-1,6692	0,0475	0,0475	0,0001
3	1976	453,7	276	0,0714	0,1371	0,0158	-1,6655	0,0479	0,0479	0,0235
4	1977	1028,3	347,6	0,0952	0,1427	0,0080	-1,1880	0,1174	0,1174	0,0222
5	1978	897	362,5	0,1190	0,1437	0,0069	-1,1012	0,1354	0,1354	0,0164
6	1979	571,2	386,5	0,1429	0,1453	0,0053	-0,9685	0,1664	0,1664	0,0235
7	1980	1044,5	399,9	0,1667	0,1461	0,0046	-0,8979	0,1846	0,1846	0,0179
8	1981	630,5	401,8	0,1905	0,1462	0,0045	-0,8881	0,1872	0,1872	0,0032
9	1982	1224,1	412,4	0,2143	0,1469	0,0040	-0,8342	0,2021	0,2021	0,0122
10	1983	620,4	447,7	0,2381	0,1489	0,0025	-0,6642	0,2533	0,2533	0,0152
11	1984	1366,4	453,7	0,2619	0,1492	0,0023	-0,6367	0,2622	0,2622	0,0003
12	1985	401,8	504,5	0,2857	0,1518	0,0010	-0,4170	0,3383	0,3383	0,0526
13	1986	783,7	510	0,3095	0,1521	0,0009	-0,3945	0,3466	0,3466	0,0371
14	1987	1305	515,7	0,3333	0,1523	0,0008	-0,3715	0,3551	0,3551	0,0218
15	1988	412,4	518,2	0,3571	0,1524	0,0007	-0,3615	0,3589	0,3589	0,0017
16	1989	399,9	525,9	0,3810	0,1528	0,0006	-0,3310	0,3703	0,3703	0,0106
17	1990	275,5	538,1	0,4048	0,1534	0,0005	-0,2835	0,3884	0,3884	0,0164
18	1991	830,1	539,3	0,4286	0,1534	0,0004	-0,2789	0,3902	0,3902	0,0384
19	1992	1097,5	571,2	0,4524	0,1548	0,0001	-0,1600	0,4365	0,4365	0,0159
20	1993	518,2	606,8	0,4762	0,1563	0,0000	-0,0348	0,4861	0,4861	0,0099
21	1994	525,9	620,4	0,5000	0,1568	0,0000	0,0111	0,5044	0,5044	0,0044
22	1995	447,7	630,5	0,5238	0,1572	0,0000	0,0445	0,5177	0,5177	0,0061
23	1996	515,7	665,6	0,5476	0,1586	0,0001	0,1566	0,5622	0,5622	0,0146
24	1997	1303,5	676	0,5714	0,1589	0,0002	0,1887	0,5748	0,5748	0,0034
25	1998	137,9	696,4	0,5952	0,1597	0,0004	0,2503	0,5988	0,5988	0,0036
26	1999	606,8	751,5	0,6190	0,1615	0,0009	0,4079	0,6583	0,6583	0,0393
27	2000	942,5	760,1	0,6429	0,1618	0,0011	0,4314	0,6669	0,6669	0,0241
28	2001	868,1	763,5	0,6667	0,1619	0,0011	0,4407	0,6703	0,6703	0,0036
29	2002	1185,5	783,7	0,6905	0,1625	0,0014	0,4947	0,6896	0,6896	0,0009
30	2003	510	830,1	0,7143	0,1639	0,0021	0,6138	0,7303	0,7303	0,0160
31	2004	696,4	868,1	0,7381	0,1650	0,0028	0,7064	0,7600	0,7600	0,0219
32	2005	760,1	897	0,7619	0,1658	0,0034	0,7742	0,7806	0,7806	0,0187
33	2006	763,5	942,5	0,7857	0,1670	0,0044	0,8766	0,8097	0,8097	0,0239
34	2007	276	1028,3	0,8095	0,1692	0,0064	1,0570	0,8547	0,8547	0,0452
35	2008	751,5	1044,5	0,8333	0,1695	0,0068	1,0893	0,8620	0,8620	0,0287
36	2009	504,5	1097,5	0,8571	0,1708	0,0081	1,1918	0,8833	0,8833	0,0262
37	2010	362,5	1185,5	0,8810	0,1726	0,0104	1,3514	0,9117	0,9117	0,0308
38	2011	386,5	1224,1	0,9048	0,1734	0,0114	1,4178	0,9219	0,9219	0,0171
39	2012	676	1303,5	0,9286	0,1749	0,0136	1,5479	0,9392	0,9392	0,0106
40	2013	347,6	1305	0,9524	0,1750	0,0137	1,5502	0,9395	0,9395	0,0129
41	2014	538,1	1366,4	0,9762	0,1761	0,0154	1,6454	0,9501	0,9501	0,0261

Tabla 9.4. Determinación de los valores de Pearson III para los datos de precipitación anual desde 1974 – 2014.

N°	Año	Pp anual	Pp ord	Weibull F (ac)	y1	x	F(X)1	Dc
1	1974	665,6	137,9	0,024	5,8109	137,9	0,0241	0,0003
2	1975	539,3	275,5	0,048	7,3338	275,5	0,0938	0,0462
3	1976	453,7	276	0,071	7,3393	276,0	0,0942	0,0228
4	1977	1028,3	347,6	0,095	8,1317	347,6	0,1562	0,0610
5	1978	897	362,5	0,119	8,2966	362,5	0,1713	0,0522
6	1979	571,2	386,5	0,143	8,5623	386,5	0,1969	0,0540
7	1980	1044,5	399,9	0,167	8,7106	399,9	0,2119	0,0452
8	1981	630,5	401,8	0,190	8,7316	401,8	0,2141	0,0236
9	1982	1224,1	412,4	0,214	8,8489	412,4	0,2263	0,0120
10	1983	620,4	447,7	0,238	9,2396	447,7	0,2690	0,0309
11	1984	1366,4	453,7	0,262	9,3060	453,7	0,2765	0,0146
12	1985	401,8	504,5	0,286	9,8682	504,5	0,3422	0,0565
13	1986	783,7	510	0,310	9,9291	510,0	0,3495	0,0400
14	1987	1305	515,7	0,333	9,9921	515,7	0,3571	0,0238
15	1988	412,4	518,2	0,357	10,0198	518,2	0,3605	0,0033
16	1989	399,9	525,9	0,381	10,1050	525,9	0,3708	0,0102
17	1990	275,5	538,1	0,405	10,2400	538,1	0,3872	0,0176
18	1991	830,1	539,3	0,429	10,2533	539,3	0,3888	0,0398
19	1992	1097,5	571,2	0,452	10,6064	571,2	0,4319	0,0205
20	1993	518,2	606,8	0,476	11,0004	606,8	0,4798	0,0036
21	1994	525,9	620,4	0,500	11,1509	620,4	0,4979	0,0021
22	1995	447,7	630,5	0,524	11,2627	630,5	0,5112	0,0126
23	1996	515,7	665,6	0,548	11,6511	665,6	0,5568	0,0091
24	1997	1303,5	676	0,571	11,7662	676,0	0,5699	0,0015
25	1998	137,9	696,4	0,595	11,9920	696,4	0,5953	0,0001
26	1999	606,8	751,5	0,619	12,6018	751,5	0,6601	0,0411
27	2000	942,5	760,1	0,643	12,6970	760,1	0,6697	0,0268
28	2001	868,1	763,5	0,667	12,7346	763,5	0,6734	0,0068
29	2002	1185,5	783,7	0,690	12,9582	783,7	0,6952	0,0047
30	2003	510	830,1	0,714	13,4717	830,1	0,7416	0,0273
31	2004	696,4	868,1	0,738	13,8922	868,1	0,7760	0,0379
32	2005	760,1	897	0,762	14,2121	897,0	0,7998	0,0379
33	2006	763,5	942,5	0,786	14,7156	942,5	0,8336	0,0479
34	2007	276	1028,3	0,810	15,6652	1028,3	0,8851	0,0756
35	2008	751,5	1044,5	0,833	15,8445	1044,5	0,8932	0,0599
36	2009	504,5	1097,5	0,857	16,4311	1097,5	0,9165	0,0594
37	2010	362,5	1185,5	0,881	17,4050	1185,5	0,9457	0,0647
38	2011	386,5	1224,1	0,905	17,8322	1224,1	0,9554	0,0506
39	2012	676	1303,5	0,929	18,7109	1303,5	0,9706	0,0421
40	2013	347,6	1305	0,952	18,7275	1305,0	0,9709	0,0185
41	2014	538,1	1366,4	0,976	19,4070	1366,4	0,9792	0,0030

En la siguiente tabla se muestra el resumen del ajuste y los valores obtenidos para el diseño de la obra.

Tabla 9.5. Resumen de los diferentes parámetros a utilizar para el ajuste de parámetros para las cuatro funciones.

Gumbel		Goodrich		Log - normal		Pearson III	
Promedio	687,11	Promedio	687,11	Promedio	687,11	Promedio	687,11
Desviación	311,56	Des. Est.	311,56	Des. Est	311,56	Des. Est	311,56
u	546,89	n	41	α	6,4250	γ	0,58
d	0,004	s³	30241934,61	β	0,4831	β	11,89
n	41	m₃	17541398,51	F(x)	0, 1	α	90,36
F(x)	0,1	P(p)	0,580	Xi	345,60	δ	-387,16
Xi	344,29	P (interp)	0,481			F(x)	0, 1
		p+1	1,481			Xi	283,74
		s²	97067,32				
		(2p+1)	0,996				
		(p+1)	0,886				
		α	1,22E-06				
		X1	86,1759				
		F(x)	0,1				
		Xi	315,99				

Tabla 9.6. Resumen de las pruebas de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov y R² para cuatro funciones.

FDP Ajustada	Dc	Dt	Ajuste K-S	R ²	Pp de diseño (mm)
Gumbel	0,0722	0,2076	Acepta Ho	0,9885	344,29
Goodrich	0,0776	0,2076	Acepta Ho	0,9854	315,99
Log- normal	0,0526	0,2076	Acepta Ho	0,9939	345,60
Pearson III	0,0756	0,2076	Acepta Ho	0,9840	283,74

ANEXO 2

ACTIVIDADES DE DIFUSIÓN

Las actividades realizadas en el ámbito de la difusión y transferencia del presente proyecto, tuvieron el propósito de difundir ante la comunidad y los profesionales de la región, las bondades de los sistemas de captación de aguas lluvias y de las plantaciones de maqui.

9.2.1.- Ceremonia de inauguración, Lanzamiento del proyecto

Se realizó el evento que dio inicio al proyecto el día jueves 14 de enero de 2016 en la sala de los Presidentes de la Cámara de Diputados, en el Congreso Nacional en Valparaíso. Cabe destacar el apoyo recibido del Centro de Extensión del Senado para la realización del evento en dependencias del congreso nacional. La ceremonia contó con la participación, como orador, del Senador Antonio Horvath, quien destacó la innovación tecnológica que representa el proyecto y que redundará en rescatar una especie nativa y hacerla productiva en territorios que han sufrido desertificación. También intervino el Director Ejecutivo del Centro de Extensión del Senado, Sr. Fernando Silva, quien expresó que para ellos es “un motivo de alegría organizar estas ceremonias, en donde se cruzan las investigaciones científicas con las percepciones de los senadores que son parte del poder legislativo del Estado”.

Como representantes del equipo técnico del proyecto habló la directora del proyecto, Dra. M. Paulina Fernández, quien además de agradecer al Gore Valparaíso el financiamiento del proyecto, destacó la relevancia del Maqui a nivel nacional y del potencial que tiene la región de Valparaíso para reproducirlo y crear una industria en torno a esta especie. Finalmente habló el Dr. Roberto Pizarro, director del Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental de la U. de Talca, entidad codesarrolladora, quien destacó la relevancia del proyecto en el sentido que permitió hacer una alianza para el desarrollo de los sistemas de captación de aguas lluvias para aplicarlo en plantaciones de una especie promisoriosa como lo es el maqui.

Asistieron al evento el Seremi de Agricultura de la Región de Valparaíso, Sr. Ricardo Astorga; el Director Regional de la Corporación Nacional Forestal, Sr. Héctor Correa, Directora Regional del Servicio Agrícola y Ganadero, Sra. Francisca Herrera, el alcalde de la comuna de Llay Llay, Sr. Mario Marillanca, y el coordinador regional del Delegado presidencial del recursos Hídricos, Sr. Marcelo Herrera. Además, asistieron algunos de los propietarios quienes facilitaron los terrenos para la construcción de las unidades demostrativas: Sr. Héctor Moiteo (El Leoncito), Sr. Juan Oyanedell (Las Palmas), Sr. Hernán Hidalgo (Santa Julia), Sr. Guardabosque de la Reserva Peñuelas. Además asistieron profesionales de Conaf de toda la región y de otras instituciones como Indap, municipalidades y prodesales, completando a 53 asistentes aprox.



Figura 9.1. Ceremonia de lanzamiento, de izquierda a derecha: Sr. Fernando Silva, Director Ejecutivo del Centro de Extensión del Senado; Dra. M. Paulina Fernández, Directora del proyecto (P. Universidad Católica de Chile); Senador Antonio Horvath, y Dr. Roberto Pizarro, director del CTHA de la U. de Talca.



Figura 9.2. Exposición del senador Antonio Horvath.



Figura 9.3. Registro de los asistentes.



Figura 9.4. Asistentes a la ceremonia del lanzamiento.

9.2.2.- Días de campo y difusión

En el marco del proyecto “Establecimiento de plantaciones con fines productivos de *Aristotelia chilensis* (Maqui) en zonas rurales de la Región de Valparaíso a través de la utilización de sistemas de captación de aguas lluvias (SCALL)”, se organizaron 2 días de campo con el objetivo de mostrar a la comunidad, los SCALL y las plantaciones de maqui desarrolladas por el proyecto. Ambos eventos se llevaron a cabo durante los días 10 y 11 de noviembre del año 2016, para distintos grupos de personas, y se visitaron las unidades demostrativas ubicadas en los sectores de Santa Julia, Papudo y Puchuncaví.

Cada unidad demostrativa consta de un SCALL y una plantación de maqui. Así, en cada lugar visitado, el Dr. Roberto Pizarro (Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental de la Universidad de Talca) expuso sobre el SCALL, mencionando que estos capturan el agua lluvia con la gran ventaja de que es un agua que no tiene dueño y puede ser almacenada para su uso posterior. Del mismo modo explicó que el tamaño de los SCALL depende de las características de la lluvia de cada lugar.

Luego, y una vez trasladados a la plantación de Maqui de la misma unidad demostrativa, la Dra. M. Paulina Fernández (de la Pontificia Universidad Católica de Chile y directora del proyecto) en conjunto con la Dra. Ursula Doll (de la Universidad de Talca), explicaron las características fisiológicas y silvícolas del Maqui, además del rol fundamental que está jugando hoy por hoy en temas económicos – tanto en nuestro país como en el extranjero– y el potencial que está abriendo la Región de Valparaíso en el cultivo de esta especie nativa.

En la actividad participaron propietarios y profesionales de distintas instituciones, como CONAF, INDAP, Prodesal, entre otros, sumando 52 asistentes entre los dos días. Los asistentes mostraron una buena participación e interés en estos temas, los cuales para muchos resultaron ser un área poco explorada. Durante la implementación de los SCALL y las plantaciones de maqui, los oradores compartieron algunas experiencias y anécdotas, y respondieron las dudas e inquietudes que se generaron entre los asistentes. Del mismo modo, se agradeció el apoyo de CONAF para la realización de esta actividad, especialmente en la convocatoria de los asistentes.



Figura 9.5. Asistentes día de campo N°1 en el SCALL instalado en Santa Julia.



Figura 9.6. Asistentes día de campo N°1 en la plantación de Maqui en Santa Julia

9.2.3.- Curso “Diseño de Sistemas de Captación de Aguas LLuvias (SCALL)”

El curso denominado “Diseño de Sistemas de Captación de Aguas LLuvias (SCALL)” tomó lugar en la Reserva Nacional Lago Peñuelas gracias a la buena gestión y disposición que tuvo la Corporación Nacional Forestal (CONAF), que facilitó su inmueble y todo lo necesario para poner en marcha la actividad el día 18 de noviembre de 2016.

El curso, que contó con una asistencia de 25 personas, se dio por iniciado con la exposición del Dr. Roberto Pizarro Tapia (Figura 8-7), quien enfatizó en la necesidad de conocer las características de la precipitación a la hora de diseñar un SCALL. Lo anterior se ejemplifica al considerar que para una misma capacidad de almacenaje del Hidroacumulador (por ejemplo 30 m³), el área de captación de las aguas lluvias para la Región de Valparaíso será más grande que para la Región del Maule, debido a que esta última presenta una precipitación mayor.

La Dra. Paulina Fernández, por su parte (Figura 8-8), expuso sobre el desarrollo que han tenido las plantaciones de Maqui en el marco del proyecto FIC-R de la Región de Valparaíso. En este plano, la académica de la PUC recalca felizmente la positiva respuesta que ha tenido la especie *Aristolelia chilensis* en suelos de la región, realzando a esta localidad, como una potencial candidata para desarrollar cultivos de esta especie nativa en el futuro.

Finalmente, se visitó la unidad demostrativa ubicada en la misma dependencia (Reserva Nacional Lago Peñuelas). En el lugar los asistentes pudieron observar in situ el Sistema de Captación de Aguas Lluvias (figura 8-9) y la plantación de Maqui (Figura 8-10), lo que, a su vez, permitió complementar didácticamente lo teórico expuesto por los académicos de la Pontificia Universidad Católica de Chile y la Universidad de Talca.



Figura 9.7. Exposición del Dr. Roberto Pizarro.



Figura 9.8. Exposición de la Dra. M. Paulina Fernández.



Figura 9.9. SCALL ubicado en la Reserva Nacional Lago Peñuelas.



Figura 9.10. Plantación de *Aristolelia chilensis* en Reserva Nacional Lago Peñuelas.

9.2.4.- Ceremonia de cierre del proyecto

Con fecha 7 de diciembre se realizó la ceremonia de cierre del proyecto en la Sala de Lectura de la Biblioteca del Congreso Nacional en Valparaíso, el que tuvo como objetivo dar a conocer los principales resultados y alcances del proyecto. El evento contó con la participación del Senador Director del Centro de Extensión del Senado, Sr. Antonio Horvath, quien se refirió a la importancia de hacer una buena gestión del agua. Posteriormente intervino la directora del proyecto Dra. Paulina Fernández y finalmente lo hizo el Dr. Roberto Pizarro.



Figura 9.11. De izquierda a derecha: Sr. Fernando Silva, Director Ejecutivo del Centro de Extensión del Senado, Dra. M. Paulina Fernández, Directora del Proyecto; Senador Sr. Antonio Horvath; Dr. Roberto Pizarro, Director alterno del proyecto.



Figura 9.12. Asistentes a la ceremonia de cierre del proyecto.



Figura 9.13. Integrantes del equipo de trabajo del proyecto junto al Senador Antonio Horvath, al finalizar la ceremonia de cierre.

SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS (SCALL) Y SU APLICACIÓN EN EL ESTABLECIMIENTO DE MAQUI

“Esta iniciativa ha sido financiada por el Fondo de Innovación
para la Competitividad del Gobierno Regional de Valparaíso año 2015”