



Estrategia de riego para mitigar el estrés hídrico en olivos cultivados en Taltal, Desierto de Atacama

Editor: Francisco Tapia C.
Autores: Francisco Tapia C., Francisco Meza A.
Pedro Hernández P., Rubén Alfaro P., Carlos Muñoz M.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

Boletín INIA / N° 392

ISSN 0717-4829





Estrategia de riego para mitigar el estrés hídrico en olivos cultivados en Taltal, Desierto de Atacama

Editor:

Francisco Tapia Contreras

Autores:

Francisco Tapia Contreras

Francisco Meza Álvarez

Pedro Hernández Pérez

Rubén Alfaro Pizarro

Carlos Muñoz Morales

INIA INTIHUASI

La Serena, Chile, 2019

BOLETÍN INIA N° 392

ISSN 0717 - 4829



La presente publicación reúne y sistematiza un conjunto de información técnica desarrollada por INIA Intihuasi en marco del proyecto "Producción olivícola sustentable de la pequeña agricultura mediante gestión de agua de riego generada por sistemas atrapanieblas en el desierto costero de Antofagasta (PYT-2016-0765)", en ejecución a partir del año 2016 con el apoyo financiero del Gobierno Regional de Antofagasta a través de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA).

Editor:

Francisco Tapia Contreras, Ingeniero Agrónomo, M.Sc. INIA Intihuasi.

Autores:

Francisco Tapia Contreras, Ingeniero Agrónomo, M.Sc. INIA Intihuasi.

Francisco Meza Álvarez, Ingeniero Agrónomo, M.Sc. INIA Intihuasi.

Pedro Hernández Pérez, Ingeniero Agrónomo, M.B.A. Asesor externo.

Rubén Alfaro Pizarro, Ingeniero de Ejecución Agrícola. INIA Intihuasi.

Carlos Muñoz Morales, Técnico Agrícola. INIA Intihuasi.

Comité revisor INIA:

Antonio Ibacache González, Ingeniero Agrónomo M.Sc. INIA Intihuasi.

Edgardo Díaz Velásquez, Ingeniero Agrónomo Mg. INIA Intihuasi.

Érica González V., Técnico en Biblioteca. INIA Intihuasi.

Gabriel Selles Van Schouwen, Ingeniero Agrónomo Dr. INIA La Platina.

Juan Hirzel Campos, Ingeniero Agrónomo Ph.D. INIA Quilamapu.

René Pacheco Rojo, Ingeniero Comercial M.B.A. INIA Intihuasi.

Director Responsable:

Edgardo Díaz Velásquez, Ingeniero Agrónomo, Mg.

Director Regional INIA Intihuasi

Boletín INIA N°392

Cita Bibliográfica correcta:

Tapia C., F., F. Meza A., P. Hernández P., R. Alfaro P. y C. Muñoz M. 2019. Estrategia de riego para mitigar el estrés hídrico en olivos cultivados en Taltal, Desierto de Atacama. 83 p. Boletín INIA N°392, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, La Serena, Chile.

© 2019. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Centro Regional de Investigación Intihuasi. Colina San Joaquín s/n, La Serena. Teléfono: (51)2223290 - Anexo 2117, Región de Coquimbo.

ISSN 0717 - 4829

Autorizada la reproducción total o parcial citando la fuente y/o autores.

Fotografías: Francisco Tapia Contreras y Pedro Hernández Pérez

Diseño y diagramación: Jorge Berrios V., Diseñador Gráfico

Impresión: Salesianos Impresores S.A.

Cantidad de ejemplares: 500

La Serena, Chile, enero 2019.

Índice de contenidos

Agradecimientos	5
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	7
Capítulo 2. ATRAPANIEBLAS:	
Una nueva fuente de agua de riego	9
2.1. Historia de la captura de agua de niebla	10
2.1.1 Historia en Chile y el mundo	10
2.1.2 Historia de los atrapanieblas en Taltal	13
2.2. Estrategia de selección de sitio de instalación de Atrapanieblas	15
2.2.1 El fenómeno de la niebla	15
2.2.2 Determinación de la capacidad de aporte de agua de la niebla en cerro Los Perales	16
2.2.3 Producción agua de niebla	17
2.2.4. Efecto de latitud y época del año sobre la captura de agua de niebla	19
2.2.5. Caracterización microclimática cerro Los Perales	21
2.3. Diseño, montaje y mantenimiento de los atrapanieblas	25
2.3.1. Diseño del atrapanieblas	25
2.3.2. Montaje	29
2.3.3. Mantenimiento	34
Capítulo 3. CLIMATOLOGÍA	39
3.1. Clima Desértico	39
3.1.1. Clima Desértico Subtropical Marino	40
3.1.2. Agroclima Caldera	40
3.2. Antecedentes agroclimáticos locales	41
3.3. Microclima Taltal	41
Capítulo 4. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE SUELOS Y AGUA	47
4.1. Caracterización química de los suelos	48
4.2. Caracterización de las aguas disponibles en Taltal como potencial fuente de riego	50
4.3. Análisis de resultados	52
4.4. Recomendaciones de manejo	53

Capítulo 5. VARIEDADES DE OLIVO Y SU COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO	55
5.1. Variedades.....	55
5.1.1. Arbequina.....	55
5.1.2. Picual.....	56
5.1.3. Leccino.....	57
5.1.4. Sevillana.....	57
5.2. Fenología.....	58
5.3. Estado nutricional del cultivo.....	60
5.4. Variedades sobresalientes.....	61
Capítulo 6. ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO DE RIEGO	63
6.1. Situación inicial de riego.....	63
6.2. Determinación de las demandas hídricas del cultivo.....	65
6.3. Propuesta de riego suplementario en condiciones deficitarias.....	68
Capítulo 7: ANÁLISIS ECONÓMICO DEL USO DE AGUA DE ATRAPANIEBLAS	71
7.1. Análisis comparativos del agua de riego para olivos en Taltal.....	72
7.2. Productividad del agua.....	75
Capítulo 8. CONCLUSIONES	79
Capítulo 9. LITERATURA CONSULTADA	81

Agradecimientos

A los agricultores de las agrupaciones La Cachina, Los Loros y El Hueso, por su empeño en transformar la aridez del desierto en una nueva actividad productiva para la zona.

A las diferentes instituciones de fomento y desarrollo del Gobierno y en particular al CORE de Antofagasta y a la Fundación de Innovación Agraria, FIA, por su permanente interés mostrado durante las diferentes etapas de desarrollo del proyecto realizado y su atención en potenciar los logros alcanzados para desarrollar la actividad agrícola de la zona.

Al equipo humano de INDAP Antofagasta, Municipalidad de Taltal y PRODESAL Taltal, con los cuales se interactuó en beneficio de lograr una mayor sustentabilidad en la producción olivícola de la comuna mediante la incorporación de esta nueva estrategia de riego desarrollada para las condiciones particulares de los agricultores pioneros de Taltal.

Capítulo 1.

Introducción

Francisco Tapia C.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

e-mail: fatapiac@inia.cl

Con el 70% de la superficie de nuestro planeta cubierta por agua, este recurso se erige como el elemento más frecuente de la tierra. Sin embargo, del total, apenas el 3% corresponde a agua dulce y sólo el 0,6% es apta para el consumo humano.

En Chile, el agua es un recurso escaso, especialmente en regiones de clima desértico, dónde su disponibilidad es crítica, no sólo para el desarrollo de actividades productivas que sustentan sus enclaves humanos, sino que incluso amenaza el abastecimiento diario para las personas.

Pero hasta en esa condición de aridez, situación permanente en el norte del país, existen posibilidades de obtener agua dulce, aprovechando los fenómenos meteorológicos que por la orografía se manifiestan a lo largo de la cordillera de la costa y en particular en la Región de Antofagasta, donde en gran parte de los días del año se desarrollan eventos de nieblas en torno a las serranías.

En esa zona es posible extraer este recurso directamente de la “camanchaca”, como en aquella zona es llamada la niebla, técnica que no es nueva en la naturaleza, donde diversas especies como cactáceas principalmente, han adaptado sus estructuras morfológicas para captar el agua desde la atmósfera, ni tampoco para las antiguas culturas que habitaban la costa chilena, quienes desarrollaron técnicas para coleccionar agua y usarlas para sus propósitos.

Es evidente que la escasez hídrica impacta negativamente en la agricultura, y su ausencia perjudica algunas funciones que ésta conlleva: producción de agroalimentos, biodiversidad, aporte paisajístico, entre otras. Pero, el sector también se adapta, tal como lo hicieron nuestros antepasados, y el olivo aparece como una de las pocas especies que puede sobrevivir a condiciones extremas de déficit

hídrico, pues al ver incrementada su dotación de riego, mejora sustancialmente su producción, calidad y, por consiguiente, las posibilidades de alcanzar una perspectiva económica mayor.

Tenemos una experiencia exitosa y actual en Taltal, donde el Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Intihuasi, construyó atrapanieblas de “alto rendimiento”, gracias a estructuras metálicas y mallas que logran “cosechas” de agua durante gran parte del año.

De esta manera, nuestra institución, con acción clave en las regiones áridas y semi áridas del país, genera valor y sustentabilidad al recurso hídrico y a un cultivo de baja demanda hídrica y de alto valor alimenticio, como es el olivo, hoy parte fundamental de la estructura productiva de los incipientes agricultores de la comuna de Taltal en la Región de Antofagasta.

Capítulo 2.

Atrapanieblas: una nueva fuente de agua de riego

Pedro Hernández P.,

Ingeniero Agrónomo, M.B.A.

e-mail: phernandezperez@gmail.com

Francisco Tapia C.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

e-mail: fatapiac@inia.cl

La captación de agua proveniente de la niebla se viene realizando desde miles de años, ayudados por el relieve de zonas principalmente enfrentando a grandes masas de agua y por especies vegetales que desarrollaron estructuras para favorecer la descarga de agua de estas masas nubosas.

Hoy en día, se ve como una necesidad vital de contar con agua dulce en zonas donde las fuentes de agua escasean, generándose un interés por el desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento hídrico, siendo una de ellas la captura de agua proveniente de la niebla, es así como en los últimos decenios se han desarrollado diferentes estructuras llamadas atrapanieblas, siendo las más eficientes las que utilizan mallas como filtro de las nubes, ubicadas a nivel de suelo en cordones montañosos en su mayoría cercanos a la costa, donde la fuerza del viento arrastra las masas nubosas, facilitando la descarga de agua en estas estructuras. Los llamados atrapanieblas, además de ser eficientes en la captura de agua, deben ser resistentes a las condiciones ambientales, principalmente a las ráfagas de viento que pueden derribar estas estructuras y a los efectos de la radiación ultravioleta que provoca deterioro en diversos tipos de malla utilizados como parte fundamental en los atrapanieblas.

El presente capítulo presenta la historia y como se fue gestando la tecnología para la instalación de un moderno sistema "atrapanieblas".

2.1. Historia de la captura de agua de niebla

El proceso de transformar una situación natural de captura de agua de niebla hasta tecnificar las estructuras denominadas hoy como “Atrapanieblas”, no es reciente, cuya historia se presenta en el presente capítulo.

2.1.1. Historia en Chile y el mundo

En el desierto costero de Chile, los “camanchacos” o “changos” era un pueblo originario que capturaba y utilizaba el agua de niebla para la bebida, para ello utilizaban plantas que naturalmente acumulan agua en sus tallos que conducían hacia el suelo, donde ellos colocaban piedras planas (lajas) ligeramente inclinadas contra una piedra ahuecada, en lugares donde pasa la neblina o “camanchaca” para captar el agua condensada.

Otros indicios datan del siglo XVI, en la isla El Hierro del archipiélago de las Islas Canarias, España; los cronistas cuentan que había un árbol, “El Garoe”, que abastecía a la población autóctona con el agua que recolectaba de la niebla. En la **Figura 2.1**, se aprecia una reproducción de la faena de colecta de agua desde el árbol.



Figura 2.1. Colecta de agua desde el árbol “El Garoe”, por nativos de las islas Canarias.

La historia moderna de la captura de agua de niebla, se inicia a fines de la década de 1950, en Antofagasta, con las experiencias del profesor Carlos Espinosa de la Universidad Católica del Norte (UCN), quien realizó mediciones de niebla en distintos cerros de la Región de Antofagasta, construyendo el primer artefacto desarrollado para la captación de agua de niebla en Chile y el mundo, denominado “Atrapanieblas Macrodiamante” (**Figura 2.2**), este artefacto significó entre otras cosas, la obtención de una patente de invención, la cual posteriormente fue cedida junto con el artefacto, por parte de su inventor a la UNESCO, con la intención de que la organización fomentase investigaciones posteriores en distintos países.



Figura 2.2. "Atrapanieblas Macrodiamante" creada por el profesor Carlos Espinosa de la actual Universidad Católica del Norte a finales de la década de 1950.

En la década de 1980, se desarrolla una nueva estructura de atrapanieblas, de forma rectangular denominada "Atrapanieblas bidimensional" siendo esta la estructura más utilizada en la actualidad, que se compone principalmente de un par de pilares sujetos con unos tensores, entre los cuales va dispuesta una malla, la cual recolecta las gotitas de niebla que pasan a través de ella, conducidas por el viento, luego por gravedad estas gotas caen a una canaleta y de allí son conducidas a un estanque acumulador (**Figura 2.3**). Este elemento captador artificial, es ubicado en forma perpendicular a la dirección del viento predominante, aumentando de esta manera la eficiencia en la obtención de agua.



Figura 2.3. Esquema de "Atrapanieblas bidimensional" y sus componentes principales.

En el año 1987 se inicia la mayor experiencia realizada hasta hoy, en la captura de agua de niebla, tanto a nivel nacional como mundial. Iniciativa financiada por el Centro Internacional de Investigaciones de Canadá (CIID), en el cual participaron las Universidades de Chile (UCH), Pontificia Universidad Católica de Santiago de Chile (PUC), la Corporación Nacional Forestal y el Gobierno Regional de Coquimbo, construyéndose 100 atrapanieblas en la comunidad de “Chungungo”, Región de Coquimbo. El objetivo del proyecto fue dotar de agua potable a 90 familias del pueblo de Chungungo, situado en la vertiente occidente del cordón cordillerano costero de la región. Este proyecto entregó en promedio 7.200 litros diarios de agua, durante un período de 10 años. En la década del 2000, paradójicamente coincidiendo con la peor sequía que afectó a la zona norte de Chile, este sistema dejó de operar, lo que se atribuyó a la falta de financiamiento para su mantención y de modernización de la infraestructura.

Después de esta iniciativa, siguen apareciendo comunidades que construyen sus atrapanieblas para uso doméstico, para la bebida de su ganado o para forestar. Esto ha ocurrido no tan sólo en Chile sino en muchas partes del mundo y en los cinco continentes como se destaca en la **Figura 2.4**, donde se muestran los sitios con potencial de cosecha de agua de niebla en el mundo. De esta forma, se activaron numerosos proyectos, comenzando por la formación de la ONG canadiense FogQuest, que ha hecho una veintena de proyectos en países vulnerables y otros lugares donde se busca conjugar la innovación con el emprendimiento.

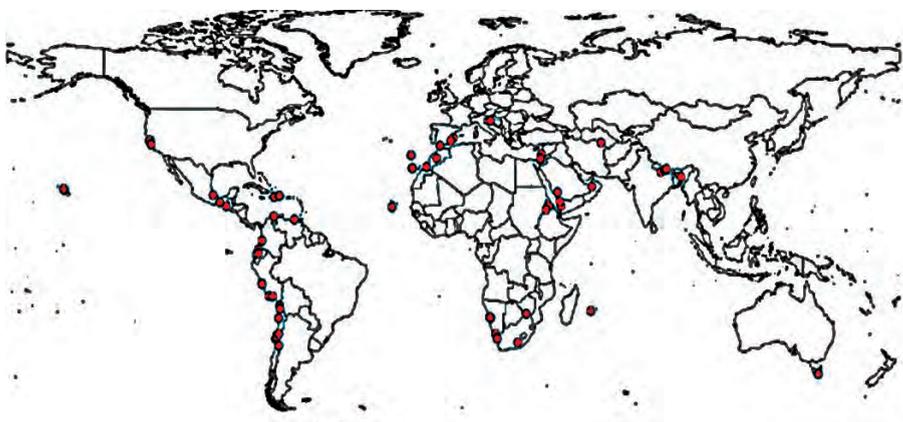


Figura 2.4. Potenciales áreas de captura de niebla en el mundo.
Fuente: Domen *et al.* 2013.

En la actualidad, se está potenciando el uso del agua captada por los sistemas atrapanieblas, asociándose a emprendimientos, donde el agua es parte de una cadena productiva de alto valor agregado, desarrollándose productos comerciales como: agua de niebla “Alisos”; la cerveza “Atrapanieblas”, el “Fog Vodka” y también relacionados con sistemas agrícolas productivos hídricamente sustentables como “Dry and Fog Farming”, existiendo adeptos en California (EUA) y en la Región del Maule en Chile.

2.1.2. Historia de los atrapanieblas en Taltal

Los estudios de la captura de agua de niebla en Taltal se inician en 1992, donde se definen las características microclimáticas, topográficas y de relieve favorables para la ocurrencia y captura de nieblas. Estos estudios concluyeron en la existencia de cinco sectores de alto potencial de captura de agua de niebla. Estos son: Cerro Los Perales, Quebrada Tipias, Cerro Breas, el sector El Hueso y, la más interesante, La Sierra del Loro.

Teniendo como base, el estudio precedente, en el año 2001, se instalan dos atrapanieblas en el Cerro Los Perales de Taltal, con una superficie de captura total de 150 m², cuya área de captura estaba formada por malla del tipo cortavientos (“raschel”) de 35% de sombra (**Figura 2.5**). Esta experiencia fue apoyada a través de profesionales del Servicio País, el Fondo de Protección Ambiental de la Comisión Nacional del Medio Ambiente del Gobierno de Chile y liderada por el profesor Roberto Espejo de la Universidad Católica del Norte. El agua era



Figura 2.5. Sistemas atrapanieblas instalados en la cumbre del cerro Los Perales en el año 2001.

captada en el Cerro Los Perales, a mil metros de altura aproximadamente y llevada a los predios de los agricultores por medio de un sistema de ductos, para el riego de huertas y olivos. Esta iniciativa dejó de funcionar en el año 2002, por problemas en el acceso a la cumbre, lo que impidió un mantenimiento oportuno de las estructuras.

Actualmente a través del proyecto "Producción olivícola sustentable de la pequeña agricultura mediante gestión de agua de riego generada por sistemas atrapanieblas en el desierto costero de Antofagasta", financiado por el Fondo de Innovación para la Competitividad de la Región de Antofagasta y la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), iniciativa liderada por INIA con la colaboración de la Municipalidad de Taltal y las organizaciones de productores de los sectores La Cachina y Los Loros, se instaló un atrapanieblas piloto, que cuenta con la moderna tecnología de construcción y de seguimiento meteorológico disponible a la fecha, el cual comienza a operar en julio de 2017, instalada en el cerro Los Perales a 920 m.s.n.m en las coordenadas 70° 25' 18.4"- 25° 25' 28.8"; el cual ha tenido una producción entre el 15 de julio de 2017 y el 15 de abril de 2018 de 49.400 L de agua, los cuales son conducidos para el riego de olivos en una parcela de las organizaciones participantes de la iniciativa (**Figura 2.6**).



Figura 2.6. Agricultores en visita al atrapanieblas en Cerro Los Perales de Taltal.

2.2. Estrategia de selección de sitio de instalación de atrapanieblas

La posibilidad de capturar exitosamente el agua proveniente de la niebla radica en varios aspectos generales, tales como el entendimiento del fenómeno de la niebla, la ocurrencia y desplazamiento de esta; existencia de serranías de altura suficiente para la intercepción de la niebla. Sobre este último punto es importante determinar la altura de máxima captura en un período determinado o durante todo el año, la que no siempre corresponde a las cumbres de las serranías, sino que tiene que ver con las temperaturas y topografía y orientación de las montañas.

2.2.1. El fenómeno de la niebla

La niebla es un fenómeno geofísico y geográfico que se da en casi todos los ámbitos del mundo. En el territorio nacional, la niebla es frecuente en la costa y altas montañas andinas. Se define como una masa de aire compuesta por minúsculas gotas de agua (1 a 40 micrones), las que por ser tan livianas no caen al suelo, sino que se mantienen suspendidas a merced del viento.

La niebla costera, representada en la **Figura 2.7**, en general se desarrolla producto de un descenso de masas de aire de la alta atmósfera hacia la superficie de la tierra, a medida que desciende se va calentando hasta chocar con la superficie fría del mar; este hecho acentuado por la corriente de Humboldt provoca una capa de inversión térmica, en general por debajo de los 1.000 metros de altitud.



Figura 2.7. Esquema del fenómeno de desarrollo de la niebla en zonas costeras y precipitación orográfica de la llovizna en montañas de la cordillera de la costa. Fuente: Manual “En el Desierto” (2016/2017). Centro del Desierto de Atacama.

Por otro lado, el enfriamiento de las masas de aire cargadas de humedad proveniente de la evaporación de la superficie del océano, las cuales son generadas lejos del continente, origina una nube estratocúmulo que se presentan generalmente entre los 500 y 1.000 metros de altitud y que al enfrentar el continente se denomina "niebla advectiva".

El proceso de enfriamiento de la niebla se acentúa cuando el aire sobrecargado de humedad empujado por el viento proveniente del océano es obligado a subir en presencia de cerros altos. Este fenómeno produce mayores precipitaciones en la parte alta de ellos (precipitaciones de tipo orográficas), en forma de abundante llovizna que gotea o escurre desde ramas y hojas de árboles y arbustos; esto explica la presencia de vegetación en las partes altas de los cerros como es el caso del Parque Nacional Fray Jorge en la Región de Coquimbo.

2.2.2. Determinación de la capacidad de aporte de agua de la niebla en cerro Los Perales

Para determinar el potencial de cosecha de agua de niebla de un lugar, es necesario medir su producción, como a su vez conocer las condiciones meteorológicas que facilitan la presencia de este fenómeno climático (Frecuencia de la niebla, contenido de agua líquida, velocidad de viento, altura de la capa de inversión térmica), como también, es indispensable conocer las condiciones orográficas que presenta (Altura de los cerros) y la distancia del lugar al mar.

Para la medición de la producción de agua de niebla se utiliza el instrumento Standard Fog Collector (SFC) o neblinómetro esquemáticamente presentado en la **Figura 2.8**, el cual corresponde a una doble malla de 35% de sombreadamiento, de superficie de 1 m², con un colector en la parte inferior. Esta se ubica sobre pedestales a dos metros de altura sobre el suelo. Este instrumento se coloca

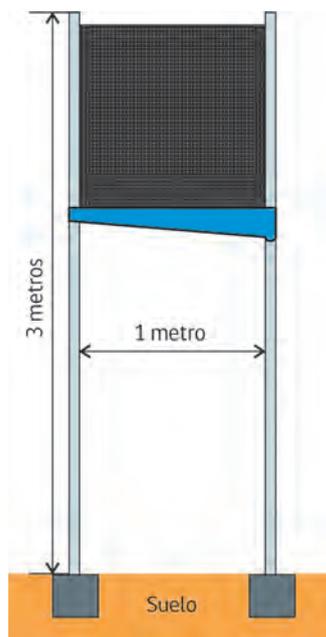


Figura 2.8. Dimensiones de la estructura de neblinómetro o SFC, utilizado en la determinación de sitios de máxima captura de agua para atrapanieblas.

perpendicular a la dirección del viento predominante. El agua recolectada de la niebla (y la lluvia) se dirige desde la bandeja de recolección a un medidor con registrador de datos para medir la cantidad y frecuencia de la precipitación; este instrumento se acompaña de una micro estación meteorológica (**Figura 2.9**) instalada en el mismo sitio del SFC, la cual permite medir temperatura atmosférica, humedad relativa del aire, precipitación, presión atmosférica, dirección y velocidad del viento; con el objeto de establecer las condiciones que propician la producción de niebla.



Figura 2.9. Micro estación meteorológica adosada al neblinómetro, que permite caracterizar las condiciones micrometeorológicas del lugar en forma constante.

Considerando información desarrollada en el año 2001 por la Universidad Católica del Norte, se definió al Cerro Los Perales para desarrollar el estudio altitudinal que permita definir el punto de máxima captura de agua de niebla, para ello se instalaron cuatro neblinómetros, los cuales comenzaron a operar en febrero de 2017.

2.2.3. Producción agua de niebla

La instalación de los neblinómetros se realizó en cuatro niveles de altitud, considerando conformaciones geográficas existentes que permitieran el libre flujo de las corrientes de aire. Estos neblinómetros, construidos en metal, fueron anclados al suelo mediante tensores para evitar su caída debido a rachas de vientos que ocurren en ciertos períodos del año. Junto a ellos se instaló un tambor cerrado, de volumen conocido, el cual acumula el agua captada por la malla y en forma mensual se realizaron medidas del volumen capturado en el período precedente.

En el **Cuadro 2.1**, se indica la ubicación geográfica de cada uno de los neblinómetros instalados.

Cuadro 2.1. Identificación y localización de los neblinómetros instalados en el cerro Los Perales.

Identificación	Altura	Coordenadas	
	(m.s.n.m)	Oeste	Sur
N1	1.043	70° 25' 32.6"	25° 25' 11.0"
N2	920	70° 25' 18.4"	25° 25' 28.8"
N3	880	70° 25' 12.9"	25° 25' 37.7"
N4	558	70° 26' 11.4"	25° 25' 40.6"

Las mediciones realizadas en los SFC, entre febrero y agosto de 2017 (**Cuadro 2.2**), aportaron antecedentes suficientes para definir el sitio de máxima captura de agua, la que se ubicó a 920 metros de altitud. El promedio diario de captura en ese sector alcanzó a 1,2 litros por metro cuadrado diario (Cuadro 2.2).

Cuadro 2.2. Registro de captura media de agua (L/m²/día) en neblinómetros ubicados a cuatro alturas diferentes en cerro Perales entre febrero y agosto de 2017.

Mes	Identificación neblinómetro			
	N1	N2	N3	N4
Febrero	0,3	0,7	0,2	0
Marzo	0,3	0,8	0,2	0
Abril	0,2	0,6	0,3	0,1
Mayo	2,7	2,0	1,5	1,4
Junio	0,5	1,6	1	0,3
Julio	0,5	1,2	0,9	0,5
Agosto	0,7	1,2	0,6	0,6
Registro medio	0,7	1,2	0,6	0,4

Luego de la determinación del sitio de máxima captura, donde se instaló posteriormente la nueva estructura de atrapanieblas, se continúa registrando la captura en los neblinómetros, pero solo en los dos niveles donde se logra la mayor captura de agua, de manera de caracterizar el mayor tiempo posible y lograr información de mayor representatividad en el tiempo.

El período de máxima captura correspondió al mes de mayo, donde la estación de mayor registro correspondió a la de mayor altitud, estación N1, alcanzando

2,7 litros por metro cuadrado día. En el resto de los meses en que se tiene registro, la estación N2, ubicada en el segundo nivel (920 m), fue la que logró las mayores capturas medias mensuales.

En la **Figura 2.10**, se presentan los resultados de captura mensual de los neblinómetros N1 y N2, ubicados a 1.043 y 920 metros de altura en el cerro Los Perales. En él se aprecia que en los 15 meses de registro consecutivo, el neblinómetro N2, en promedio fue el que logra una mayor captura mensual, alcanzando a superar 2 L/m²/día en los meses de mayo y octubre, que fueron los meses de máxima captura del período estudiado. Los meses de menor captura corresponden a febrero y marzo, donde esta es inferior a 0,8 litro por metro cuadrado día.

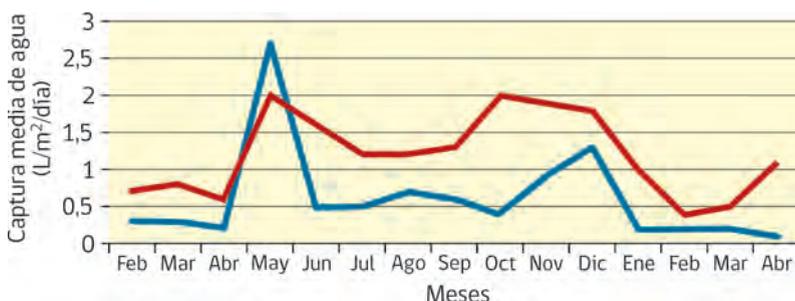


Figura 2.10. Curva de captura de neblinómetros N1 y N2 durante el período de febrero de 2017 y abril de 2018, ubicados en cerro Los Perales de Taltal.

2.2.4. Efecto de latitud y época del año sobre la captura de agua de niebla

La información que se considera para el análisis, proviene de la estación N2. Es así como es posible establecer una distribución mensual de la captura de agua de niebla, la cual puede agruparse estacionalmente, presentando la mayor cosecha en los meses de primavera con el 35%, seguida por otoño e invierno y finalmente con la menor captura de agua durante el verano con el 14% (**Figura 2.11**).

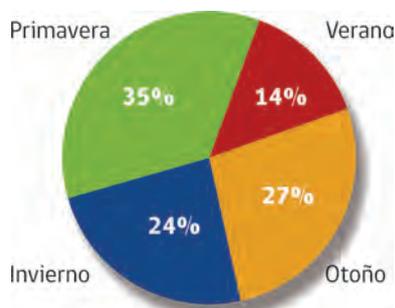


Figura 2.11. Porcentaje estacional de captura de agua en neblinómetro N2, situado en cerro Los Perales de Taltal, determinado en el período comprendido desde febrero de 2017 a enero de 2018.

Las razones que explican la mejor captura en torno a los 900 m.s.n.m en el cerro Los Perales, se debe a la altura de la capa de inversión térmica del norte del país, la cual impone un techo y un piso al desarrollo vertical de los estratos nubosos, que para Taltal están entre los 700 y 950 m.s.n.m, representado en la **Figura 2.12**.

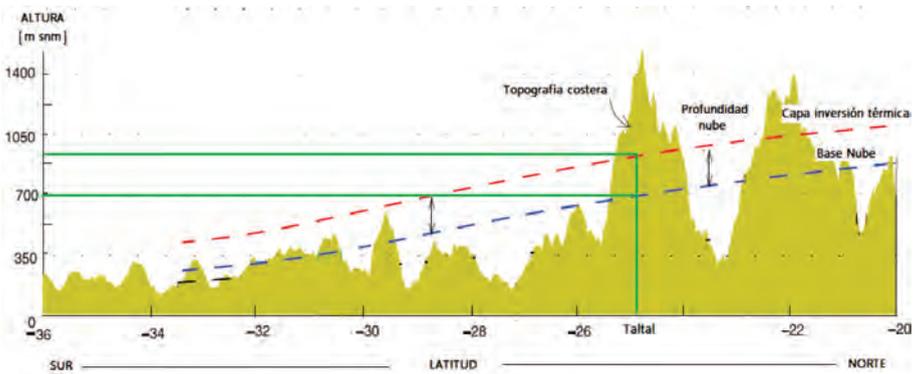


Figura 2.12. Desarrollo de la capa de inversión térmica en la costa chilena según latitud. Fuente: Garreaud, et al. 2008.

Diversos estudios y mediciones empíricas realizadas entre los años 1995 y 2018 entre las Regiones de Tarapacá y Coquimbo, presentan variados niveles de captura, los cuales no son comparables entre sí, por no existir una metodología común de instalación de los registradores, sin embargo, representan la posibilidad cierta de generar agua de uso humano o agropecuario mediante el empleo de estas tecnologías que se proponen en el presente proyecto. En el **Cuadro 2.3**, se presenta el resultado de siete estaciones de monitoréo.

Cuadro 2.3. Registro de captura de agua mediante uso de neblinómetros en siete zonas del norte chileno.

Lugar	Comuna	Región	Altitud	Años de estudio	Captura media anual de agua (L/m ² /día)
Alto Patache	Iquique	Tarapacá	850	1997-2001	7,8
Cerro Guatalaya	Iquique	Tarapacá	1.050	1997-2001	0,9
Cerro Moreno	Antofagasta	Antofagasta	1.150	1999-2001	8,3
Paposo	Taltal	Antofagasta	750	1999-2001	3,3
Cerro Los Perales	Taltal	Antofagasta	920	2017-2018	1,2
Falda Verde	Chañaral	Atacama	600	1998-2000	1,4
El Tofo	La Higuera	Coquimbo	760	1987-1995	3,0

De la información entregada por el Cuadro 2.3, se puede destacar que los datos obtenidos del sector Cerro Los Perales de Taltal, donde la ubicación fue definida entre cuatro estaciones como la de mayor captura para la zona, la que alcanza 1,2 L/m²/día, lo que representa el segundo más bajo de los datos allí presentados, contrastando fuertemente con lo registrado en Cerro Moreno y Alto Patache, acercándose bastante a lo existente en áreas cercanas como Paposo (50 km al norte) y Falda Verde, (135 km al sur). Esto indica un acercamiento a la potencialidad de capturas máximas existentes en la zona sur de la Región de Antofagasta y Norte de la Región de Atacama.

2.2.5. Caracterización microclimática cerro Los Perales

Esto corresponde a un estudio de seguimiento de las condiciones meteorológicas obtenidas desde una microestación meteorológica instalada en el punto de monitoreo N2 en julio de 2017, con registros ininterrumpidamente cada media hora, hasta abril de 2018. La información que de esto se obtiene permite caracterizar las condiciones en que se produce la captura de niebla, desde los parámetros relevantes como temperaturas, humedad atmosférica, velocidad y dirección del viento y las precipitaciones.

Las temperaturas registradas durante el período de estudio se presentan en la **Figura 2.13**, indicándose las medias máximas y medias mínimas.

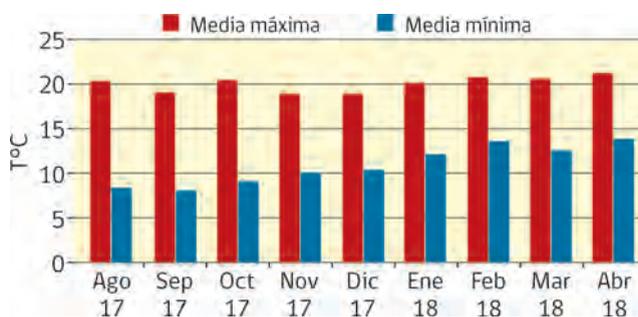


Figura 2.13. Temperaturas medias máximas y mínimas registradas en Cerro Los Perales a 920 metros de altura (N2) en el período de agosto de 2017 y abril de 2018.

La humedad relativa, es un indicador de la existencia de niebla, toda vez que la masa atmosférica presenta un 100% de humedad relativa. En relación a esto, el promedio registrado en el período analizado es de 66% HR, en cuanto a su

variación mensual, en la **Figura 2.14**, se observa, que los mayores valores de humedad relativa del aire, se producen en los meses de noviembre y diciembre, los que se sitúan por sobre el 70%. Contrariamente, los menores valores registrados se producen en los meses de julio y agosto, no superando el 60% de humedad relativa del aire.

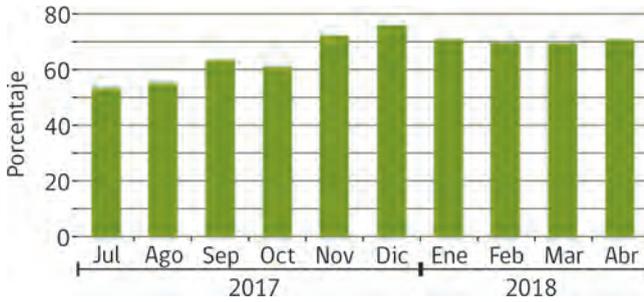


Figura 2.14. Humedad relativa del aire media mensual registrada a 920 metros de altura (N2) del cerro Los Perales en el periodo comprendido desde julio de 2017 y abril de 2018.

La situación que sucede durante las 24 horas no es muy diferente en cuanto a valores de la humedad relativa del aire registrada mes a mes, encontrándose una curva en forma de onda, presentando los máximos contenidos de humedad relativa del aire en torno a las 6:00 horas de la mañana donde alcanza 75% de HR y cae hasta alcanzar 57% de HR entre las 16:00 horas, luego comienza a subir lentamente para después de las 0:00 horas se incrementa aceleradamente (**Figura 2.15**).

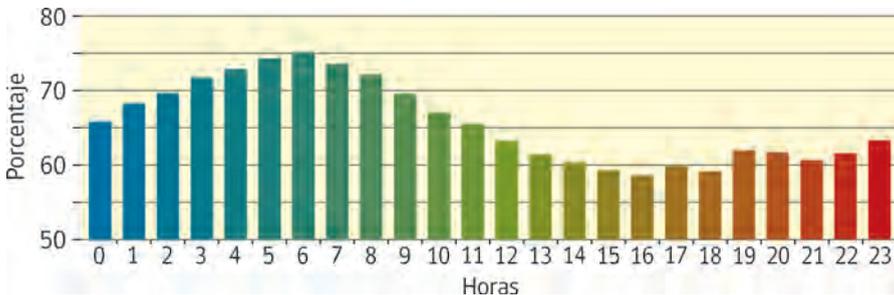


Figura 2.15. Variación horaria de la humedad relativa diaria del aire registrada, promedio entre junio 2017 y abril 2018, a 920 metros de altura (N2) del Cerro Los Perales.

Para definir la orientación e instalación de la estructura atrapaniebla, es clave conocer la dirección dominante de los vientos, especialmente aquellos que contienen el mayor contenido de humedad, siendo necesario para esto analizar información de humedad relativa del aire en forma horaria y la dirección de los vientos. En la **Figura 2.16**, se muestra la orientación de los vientos dominantes en un 30% sur y en 25% norte.

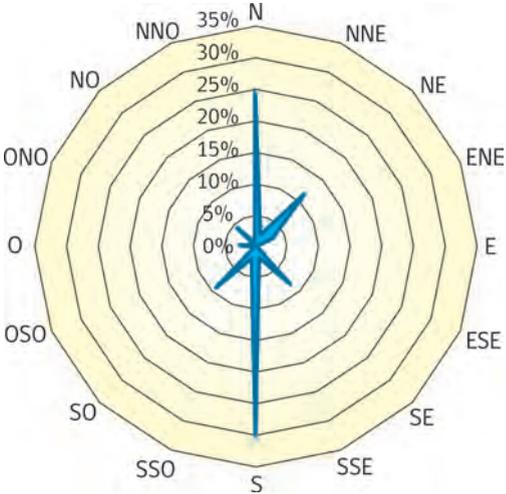


Figura 2.16. Dirección del viento a 920 metros de altura (N2) del Cerro Los Perales en el período comprendido desde julio de 2017 y abril de 2018.

En la **Figura 2.17**, se muestra la interacción de la dirección del viento con humedad 99%, lo que se relaciona con la ocurrencia del fenómeno de la niebla. Esto permite apreciar dos orientaciones relevantes, que son Norte y Nor Este con 30 y 22% de ocurrencia y la dirección Sur con el 18% de ocurrencia. Esta información permite tomar decisiones para la instalación de la estructura atrapanieblas de manera de lograr una mayor intercepción de los vientos húmedos, que para este caso son perpendicular a la orientación Nor Nor Este.

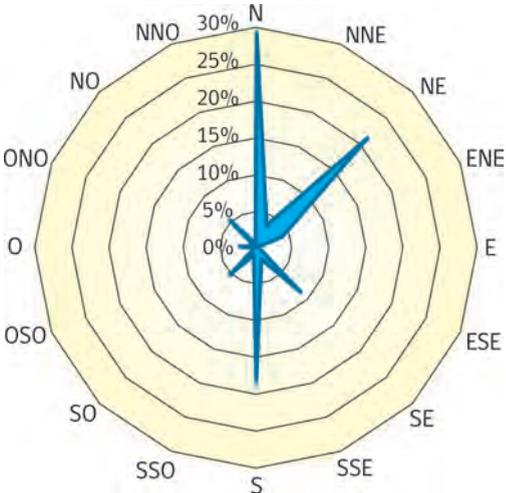


Figura 2.17. Dirección del viento con 99% de humedad relativa registrada a 920 metros de altura (N2) del Cerro Los Perales en el período comprendido desde julio de 2017 y abril de 2018.

La evolución de la orientación de vientos durante el día se presenta en la **Figura 2.18**, analizándose las dos orientaciones



Figura 2.18. Dirección dominante del viento por hora registrada a 920 metros de altura (N2) del Cerro Los Perales en el período comprendido desde julio de 2017 y abril de 2018.

predominantes que son Norte y Sur. Los vientos dominantes durante las primeras horas del día se originan desde el Norte, decayendo a eso de las 8:00 horas de la mañana, pasando a dominar vientos Sur, que se incrementan hasta alcanzar su máximo a las 19:00 horas.

Los datos obtenidos desde la micro estación meteorológica respecto de ráfagas de viento, permite tomar medidas de seguridad en cuanto a la construcción de las estructuras atrapanieblas y minimizar riesgos de desplome por efecto del viento. En la **Figura 2.19**, se indica la velocidad del viento media mensual y las ráfagas ocurridas mensualmente durante el periodo estudiado.

En relación al promedio mensual de la velocidad del viento (Figura 2.19) en general, se observa un incremento sostenido de la velocidad del viento desde julio a febrero, presentando una media de 2,1 m/s, siendo febrero el mes más ventoso alcanzando una media de 2,5 m/s. Las velocidades extremas, denominadas rachas se presentan en el mes de diciembre con una velocidad de 13,8 m/s equivalente a 49,7 km/hora.

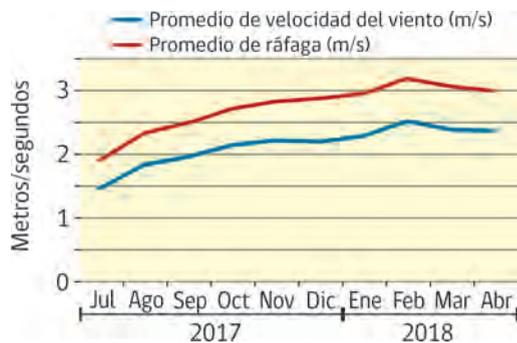


Figura 2.19. Velocidad media y ráfagas medias mensuales (m/s) del viento registrado a 920 metros de altura (N2) del Cerro Los Perales en el período comprendido desde julio de 2017 y abril de 2018.

Como se ha indicado en puntos anteriores, la orografía es un factor relevante en cuanto a la ocurrencia de precipitaciones. Para determinar la presencia de lluvias en las alturas del cerro Los Perales, se hicieron registros pluviométricos, cuyos valores se presentan en la **Figura 2.20**.

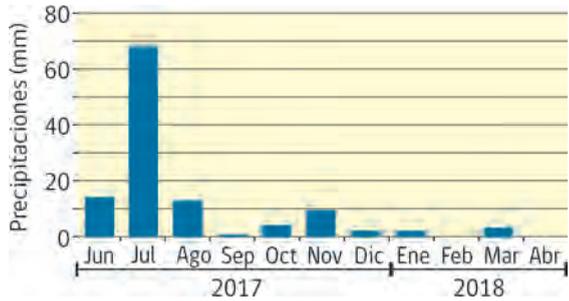


Figura 2.20. Precipitaciones mensuales registradas a 920 metros de altura (N2) del cerro Los Perales en el período comprendido desde junio de 2017 y abril de 2018.

Los registros de precipitaciones se inician en el mes de junio y culminan en abril del año siguiente, acumulando en el período 116,7 mm. La distribución mensual se concentra en los meses de julio, junio, agosto y noviembre principalmente, con registros de 67,8, 14,1, 12,9 y 9,6 mm por mes respectivamente. En los meses de febrero y abril no se registran precipitaciones y en el resto de los meses éstas no superan los 4,3 mm por mes. Esto indica que, a 920 metros de altura, distante a 6,5 km del océano Pacífico, en pleno desierto de Atacama, se producen lluvias orográficas, que según la cantidad registrada en el período indicado, corresponden a 1.167 m³ por hectárea.

2.3. Diseño, montaje y mantenimiento de los atrapanieblas

2.3.1. Diseño del atrapanieblas

El atrapanieblas es una estructura vertical, compuesta básicamente de postes, cables, anclajes que sustentan una malla que es la que capta la niebla y una canaleta ubicada en la parte inferior de la estructura, que es la que recibe el agua desde la malla y la conduce mediante tuberías hasta un estanque acumulador. La estructura que a continuación se detalla, fue desarrollada por la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica de Chile mediante el proyecto apoyado por CORFO "La Niebla, una fuente alternativa de recursos hídricos en zonas semi áridas, con sistemas de captación altamente eficiente y usos no tradicionales". Esta estructura, como se indica en la **Figura 2.21**, tiene dimensiones de 9 x 20,5 metros, con una superficie de captura de 150 m².

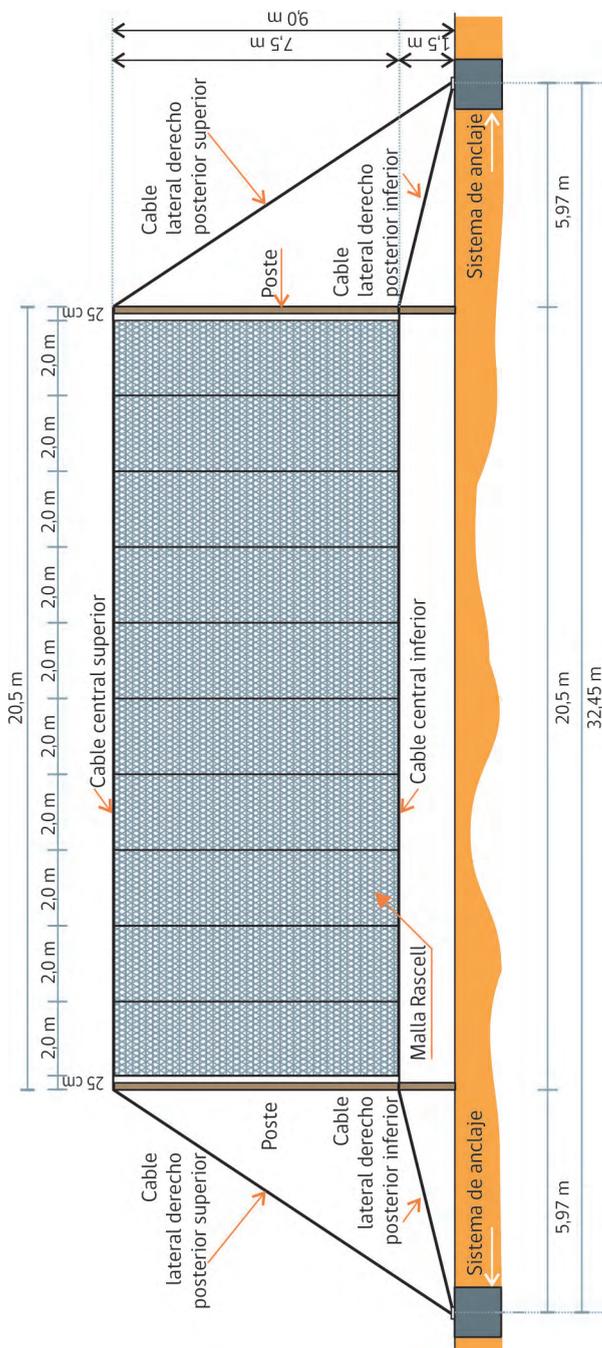
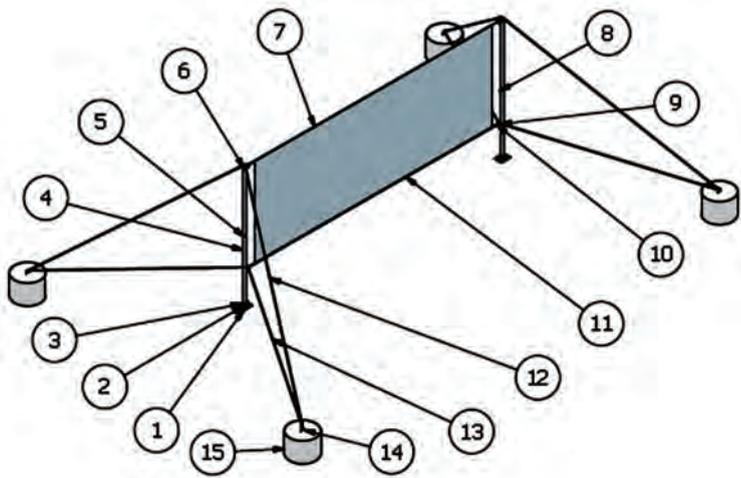


Figura 2.21. Estructura de sistema atrapanieblas moderno, dimensiones y componentes básicos.

Esta estructura la componen más de 15 piezas que se distribuyen en toda la extensión del atrapaniebla, cuyas especificaciones y ubicación se presentan en la Figura 2.22.

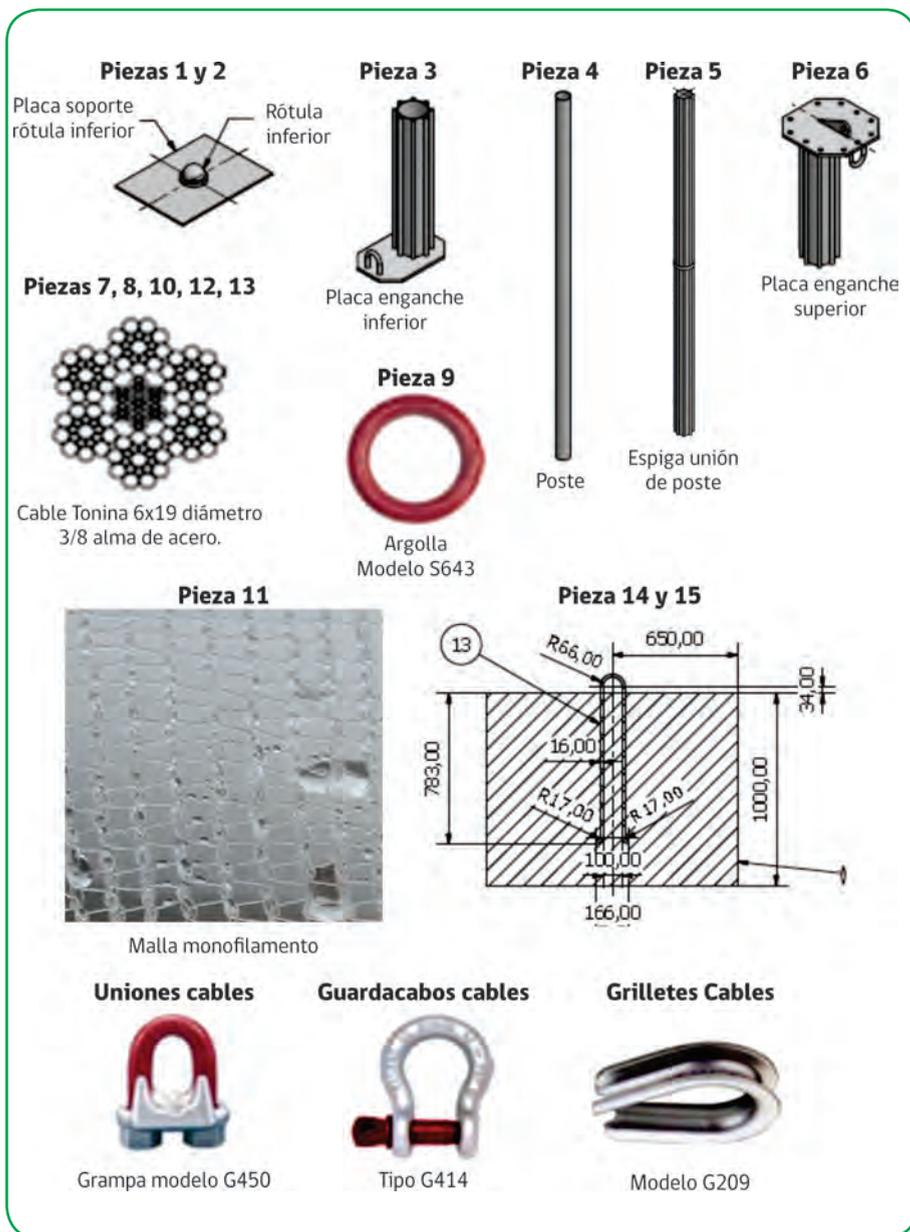


Nº Elemento	Cantidad	Nº Elemento	Cantidad
1 Soporte inferior rótula	2	8 Cable vertical	2
2 Soporte superior rótula	2	9 Placa de sujeción de malla	2
3 Placa para enganche inferior poste	2	10 Cable horizontal inferior	1
4 Poste	4	11 Malla raschel central	1
5 Espiga de unión de poste	2	12 Cable enganche superior	4
6 Placa para enganche superior poste	2	13 Cable enganche inferior	4
7 Cable horizontal superior	1	14 Barra anclaje	4
		15 Hormigón anclaje	4

Figura 2.22. Descripción de piezas, número de unidades requeridas en la conformación y su ubicación en la estructura atrapaniebla.

Las piezas definidas en la Figura 2.22, están conformadas por una serie de elementos menores, los cuales se indican en el **Cuadro 2.4**.

Cuadro 2.4. Elementos menores que conforman cada una de las piezas necesarias para el montaje de un sistema atrapanieblas.



2.3.2. Montaje

Definido el sitio en que se instala el atrapaniebla, se debe despejar una superficie 50 x 20 metros, en cuyos extremos van los sistemas de anclaje al suelo y en la línea central se ubican los puntos de apoyo de los postes (**Figura 2.23**). La orientación del rectángulo debe ser perpendicular en su máxima longitud a la dirección del viento húmedo predominante, definido en los puntos anteriores.

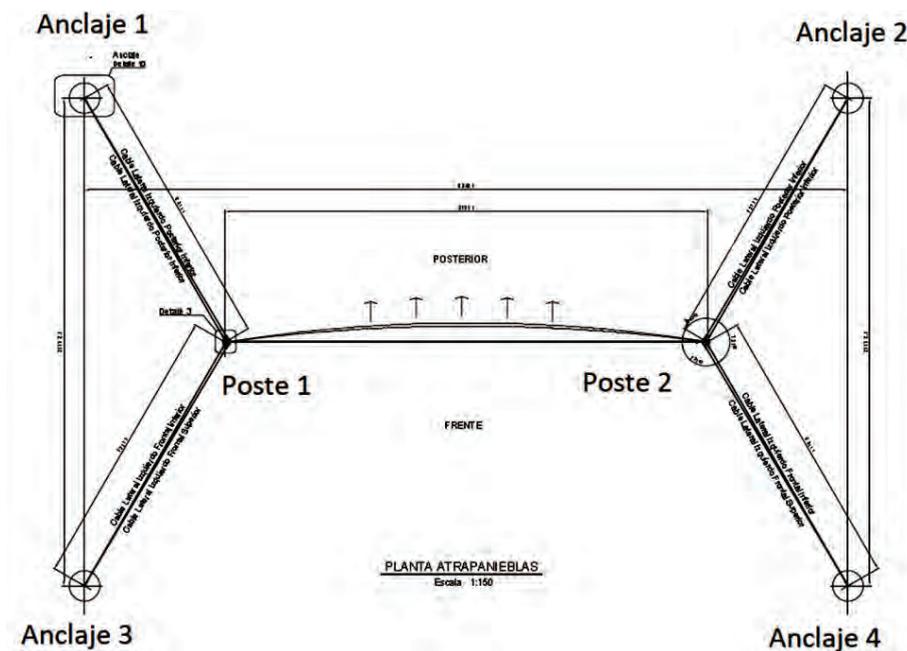


Figura 2.23. Esquema de distribución de los puntos de anclaje y postes de la estructura en la superficie del suelo.

El montaje considera varias etapas, la preformación de piezas se desarrolla en el taller, y el resto que corresponde al montaje propiamente tal, se lleva a cabo en terreno.

- a. **Sistemas de anclajes:** Corresponden a estructuras de hormigón y anclas metálicas que se ubican en un volumen de un m^3 excavado en el suelo (**Figura 2.24**). Éstas son cuatro y se sitúan en los puntos extremos del rectángulo.



Figura 2.24. Fundación y sistema de anclaje para los tensores del atrapanieblas.

- b. **Puntos de apoyo de postes:** corresponde a dos bases de hormigón donde se empotran las placas de soporte de la rótula (**Figura 2.25**). Esto corresponde a un volumen de $0,3 m^3$, ubicados en la base de los postes del atrapaniebla.



Figura 2.25. Fundación y estructura de apollo (rótula) de los mástiles del atrapanieblas.

- c. **Mástil o postes:** estas son dos unidades conformadas cada una por cuatro secciones, de las cuales dos corresponden a tubos galvanizados de cinco pulgadas de diámetro y de seis y tres metros cada uno. A éstos se acoplan en sus extremos las placas de enganches superior e inferior, y el último se apoya en la placa que soporta la rótula. Debido al peso que adquiere el mástil, se recomienda montarlo en el sitio, utilizando andamios normalizados (**Figura 2.26**).



Figura 2.26. Uso de andamios en la instalación de mástiles del atrapanieblas.

d. **Cuerdas tensoras:** Estas corresponden al cableado de acero que se utiliza para fijar los mástiles a los cuatro puntos de anclaje (**Figura 2.27**) y entre los postes mediante un rectángulo que permite mantener una estructura semi rígida, donde se instala posteriormente la malla atrapanieblas, pero con flexibilidad suficiente para desplazarse frente a ráfagas de viento sobre lo normal.



Figura 2.27. Tendido de cables de acero y amarre a sistema de anclajes.

e. **Armado e izamiento de mallas:** Las mallas provistas vienen en rollos de cuatro metros de ancho y 100 de largo, por lo cual estas deben adecuarse a las dimensiones de la estructura. La ubicación es vertical, por lo cual deben ser cortadas a un largo de 7,5 metros. Estas se unen por sus costados con broches (**Figura 2.28**) y longitudinalmente se enganchan mediante un cable elasticado al marco de cables de acero (**Figura 2.29**) previamente instalado.



Figura 2.28. Broches de unión entre mallas del atrapanieblas.



Figura 2.29. Fijación de la malla a cables tensores del sistema atrapanieblas.

El izamiento de las mallas se realiza una vez unidas entre sí a los soportes de cable de acero. Esta nueva estructura se monta en los pilares y se levanta por ambos postes, hasta alcanzar la altura de nueve metros (**Figura 2.30**). Posteriormente se fijan las cuerdas por los mástiles y finalmente en la base del rectángulo con broches de mayor resistencia (**Figura 2.31**).



Figura 2.30. Izamiento de malla en el atrapanieblas.



Figura 2.31. Broches de enganche de malla y cuerdas elásticas del sistema atrapanieblas.

- f. **Postura de canaleta receptora:** Instalada la estructura de la malla en la base, se pone una canaleta flexible abierta hacia la malla, que recibe el agua captada (**Figura 2.32**). Esta canaleta debe tener una pendiente mínima de 2%, para el escurrimiento del agua hacia un ducto cerrado que la lleva hasta los tanques de acumulación.



Figura 2.32. Instalación de canaleta receptora de agua capturada por las mallas del sistema atrapanieblas.



Figura 2.33. Atrapanieblas de moderna estructura instalado en Cerro Los Perales de Taltal.

2.3.3. Mantenimiento

Una vez instalado el sistema atrapanieblas, queda expuesto a las condiciones ambientales, donde la humedad, viento, partículas acarreadas por el viento y acciones de las aves, tienen un efecto de deterioro o de reducción de la eficiencia de captura conducción de agua.

Para que el atrapanieblas se encuentre funcionando a plena capacidad, se requiere considerar una serie de medidas que mitiguen o prevengan las acciones de deterioro a las que pueda ser afectada la estructura. Sin embargo, previo a ello, es necesario dar algunas indicaciones de la vida útil de cada una de las estructuras que constituyen el sistema atrapanieblas.

Duración de las principales estructuras del atrapanieblas

- a. **Fundaciones y sistemas de anclaje:** De acuerdo a los materiales empleados, tanto hormigón como estructuras de anclaje y tensión, tienen una duración mínima de 30 años.
- b. **Mástiles:** Dada las características del acero y su protección mediante galvanizado electrostáticamente, la duración mínima es de 30 años.
- c. **Mallas:** Estas están afectadas principalmente por la acción de la radiación ultra violeta, cuya protección está por las especificaciones de su manufactura, que puede ser de dos a ocho temporadas, dependiendo del tipo de protección UV utilizada.
- d. **Canaletas de recolección:** Estas son construidas en materiales mixtos, de PVC y tejido plástico de alta resistencia a la presión, pero sensibles a la acción del calor, teniendo una duración mínima de tres años.

La protección de la acción del viento promedio, está considerada en los sistemas de seguridad considerados en anclaje y amarre de cada una de sus partes, definido por el volumen de la fundación, sección y componentes metálicos de cables tensores (**Figura 2.34**).



Figura 2.34. Ajuste de cables tensores en la parte aérea mediante sistemas de escaleras mecano.

Para maximizar la duración de la estructura se debe establecer un programa de inspección, cuya frecuencia varía según la época del año, desde quincenal en períodos ventosos una vez al mes, revisando el estado general de las mallas, sistemas de anclajes y la conducción del agua desde las canaletas hasta los ductos de conducción, desde el atrapaniebla hasta estanques de acumulación. Específicamente, las labores de chequeo contempladas se presentan en el **Cuadro 2.5**, en base a ello, es necesario establecer un listado de chequeo de las principales labores de mantención del equipo atrapanieblas.

Cuadro 2.5. Programa de chequeo de mantención de la estructura atrapanieblas y frecuencia de inspección.

Estructura de inspección	Frecuencia	Observación	Labor a realizar
Cables tensores (Figura 2.34)	Quincenal a mensual	Pernos de sujeción y tensión de cables	Regular tensión en los 4 cables y revisión de aprete de pernos
Rótula (Figura 2.35)	Trimestral	Existencia de grasa limpia	Limpieza y aplicación de grasa
Malla (Figuras 2.36 y 2.37)	Quincenal a mensual	Ubicación de broches, presencia de roturas.	Reemplazar broches, realizar costuras de malla
Canaleta receptora (Figura 2.38)	Quincenal a mensual	Libre de polvo y ramillas	Limpieza y remoción de ramillas o aves muertas
Acueducto (Figuras 2.39 y 2.40)	Semestral	Flujo expedito, presencia de roturas o estrangulaciones	Reparación de conexiones, roturas o estrangulaciones Mantener abierta la tubería en ambos extremos. Uso de filtros a inicio del ducto.



Figura 2.35. Rótula en perfecto estado de mantención.



Figura 2.36. Daño por viento o fatiga de material por efecto de la radiación UV en uniones a tensores



Figura 2.37. Malla desconectada de broches, causado por ráfagas de viento sobre lo normal.

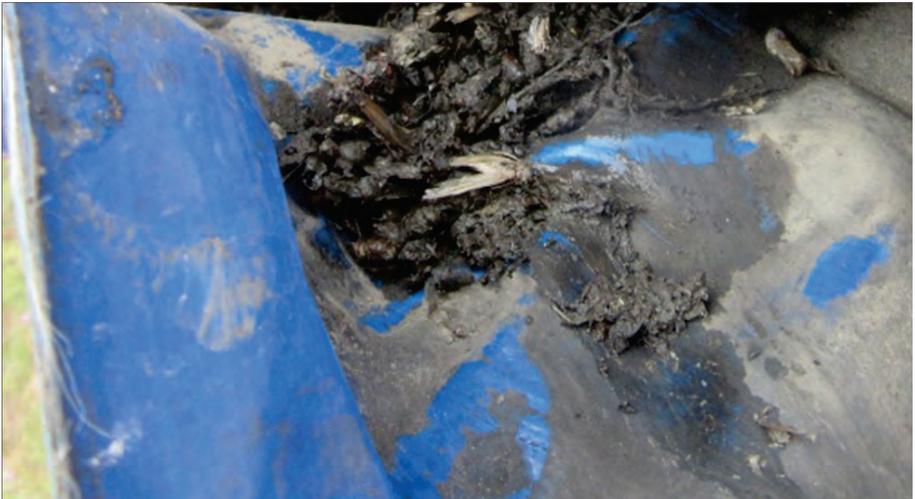


Figura 2.38. Canaleta receptora de agua con acumulación de sedimentos, hojas y ramillas depositadas por viento y aves.



Figura 2.39. Instalación de cartucho filtro de malla en cabecera de ducto de agua.



Figura 2.40. Ducto conductor de agua con estrangulaciones.



Figura 2.41. Rotura de ducto de conducción de agua desde atrapanieblas hacia estanques de acumulación. Aparición de vegetación junto a roturas.

Capítulo 3.

Climatología

Francisco Tapia C.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

e-mail: fatapiac@inia.cl

Rubén Alfaro P.

Ingeniero de Ejecución Agrícola

e-mail: ralfaro@inia.cl

La zona costera de la Región de Antofagasta se caracteriza por una estrecha zona de playas interrumpida por una abrupta cordillera de la costa que se extiende hasta una altura de 1.200 metros sobre el nivel del mar, lo que funciona como biombo climático entre los vientos húmedos provenientes del Océano Pacífico, que soplan hacia el este y vientos secos y fríos que soplan por la noche desde el este generados en el altiplano preandino. Al interactuar estas masas de aire en la cordillera de la costa y por efecto de la orografía, se produce la condensación y precipitación de la humedad contenida en las nubes provenientes del mar, generando un ambiente de altura abundante en especies vegetales herbáceas y arbustivas como consecuencia de la niebla que habitualmente se genera entre el anochecer y amanecer, mayormente en períodos de primavera y verano.

La ausencia de precipitaciones, de tipo lluvias, las elevadas temperaturas y alta evaporación registrada en la zona, definen al clima reinante como desértico tropical a subtropical marino, cuyas particularidades se definen en los siguientes subtítulos:

3.1. Clima Desértico

La comuna de Taltal, ubicada en la vertiente occidental de la cordillera de la costa, presenta un clima desértico, determinado principalmente por el régimen hídrico,

12 meses con temperaturas medias superiores a los 15°C. La presencia de lluvias son eventuales y muy escasas, las que suelen ocurrir en cualquier momento.

Los cultivos no son posibles sin riego, sin embargo, con la disponibilidad de agua de riego, es posible el cultivo de una amplia gama de especies.

Esta condición se extiende por la costa norte de Chile, entre los paralelos 17 y 30° de latitud sur.

3.1.1. Clima Desértico Subtropical Marino:

Se extiende en los valles bajos situados desde la frontera con el Perú, hasta el norte de la Región de Coquimbo, y en la costa desde un poco más al sur de Antofagasta hasta el sur de La Serena. La presencia de heladas es ligera a escasas. En invierno, el promedio de las temperaturas mínimas absolutas del mes más frío se encuentra entre -2,5 y 7°C. El promedio de las máximas diarias del mes más frío está entre 10 y 21°C. En verano, el promedio de las máximas medias de los seis meses más cálidos es superior a 21°C. El régimen hídrico es desértico absoluto todo el año.

3.1.2. Agroclima Caldera:

Se encuentra entre los paralelos 24 y 30° Sur. El régimen térmico se caracteriza por una temperatura media anual de 16,5°C, con una máxima media del mes más cálido (febrero) de 23,9°C y una mínima media del mes más frío (julio) de 9,9°C. El período libre de heladas es de 12 meses, aun cuando puede haber heladas excepcionales. Existe sólo un mes (julio) en que la temperatura es inferior a 10°C, el resto de los meses no presenta limitaciones al crecimiento de las plantas.

Las lluvias medias alcanzan a 26,9 mm, distribuidas principalmente entre los meses de mayo a agosto. Como la estación seca es de 12 meses, no es posible cultivar sin riego. Esta zona agroclimática presenta buena aptitud para la producción de hortalizas muy tempranas y muy tardías, tales como tomate, ají, pimentón, cucurbitáceas en general, porotos verdes y otras. También es apta para frutales subtropicales, como papayos, chirimoyos, lúcumos, cítricos y del tipo mediterráneos como olivos, pero no aptos para frutales con régimen de frío.

3.2. Antecedentes agroclimáticos locales

La localidad de Taltal, se encuentra en un punto límite entre el agroclima de Iquique, que se desarrolla por la franja costera desde el paralelo -24° hasta la localidad de Taltal. Por su parte, el agroclima Copiapó, que se extiende desde los -24° por la franja de la cordillera de la costa desde el norte de Taltal hasta el valle de Elqui, donde se interna hasta las cercanías de Vicuña, por lo cual el área de estudio estaría inserta en una conjunción de condiciones climáticas que entre sí no son muy dispares, pero presentan condiciones muy particulares que es interesante presentarlas como un microclima.

3.3. Microclima Taltal

Las características microclimáticas de la localidad de Taltal, es muy particular, al encontrarse al límite de dos denominaciones agroclimáticas, ellas están siendo evaluadas desde el mes de octubre de 2017 mediante un registro continuo por medio de una moderna estación agrometeorológica automática (EMA) denominada estación "La Cachina" siendo parte de la Red Agrometeorológica Nacional (RAN), ubicada a dos kilómetros desde el centro de Taltal, en el sector La Cachina, cuyas coordenadas geográficas son latitud: -25.433987 ; longitud: -70.453243 y elevación: 213 m.s.n.m. Corresponde a una estación meteorológica automática marca Campbell, modelo Datalogger CR1000, cuya información es entregada online en el sitio web www.agromet.inia.cl.

La información generada por la estación La Cachina, mediante sus diversos sensores, permite tener antecedentes de temperaturas, humedad relativa del aire, radiación solar incidente, pluviometría, velocidad y dirección del viento con registros horarios, los cuales se exponen en los siguientes epígrafes.

Temperaturas ($^{\circ}\text{C}$): Las temperaturas registradas en el período antes indicado, se presentan en la **Figura 3.1**, con una curva típica ascendente, logrando las mayores temperaturas en el mes de febrero, llegando a 25°C en las medias máximas y las mínimas medias para el mismo mes es de 17°C . A la fecha, el período cálido que favorece el desarrollo de la etapa productiva del olivo indica que a partir de

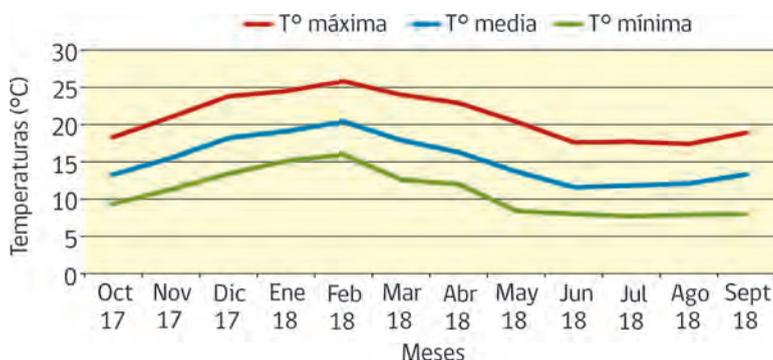


Figura 3.1. Temperaturas medias máximas, mínimas y medias registradas en la estación agrometeorológica “La Cachina” en el período octubre de 2017 a septiembre de 2018.

octubre hay temperaturas medias superiores a 12,5°, valor definido como punto crítico para el desarrollo de la fruta. Esto se mantiene hasta el mes de abril, con una pendiente decreciente, alcanzando los 16°C.

Días grado (DG): Es una medida que se relaciona con el desarrollo del fruto desde la cuaja de sus flores hasta la madurez y para su cálculo se basa en las temperaturas medias diarias. La temperatura umbral para el cálculo de los DG es 12,5°C que se realiza utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Días grado (Dg)} = (\sum \text{Temperatura media diaria } ^\circ\text{C} - 12,5^\circ\text{C}) \times \text{N}^\circ \text{ de días}$$

Los antecedentes generados (**Figura 3.2**) permiten caracterizar el comportamiento del período de desarrollo del fruto en función de la acumulación térmica aquí descrita, donde además intervienen factores de suelo, abastecimiento hídrico del cultivo, variedad y carga frutal. En función de lo anterior, en la localidad de Taltal se ha registrado una acumulación térmica para la madurez del fruto de 950 Dg en promedio, abarcando los meses desde noviembre a abril.

La acumulación de días grado encontrados en Taltal, se relaciona con el período libre de heladas, que durante el crecimiento del fruto y hasta su cosecha, no existen temperaturas inferiores a los 12,5°C que pudieran afectar la calidad del fruto y ganancia de aceite de oliva.

Según estos antecedentes, en la localidad de Taltal se tiene un período cálido de 10 meses, lo que permite acumular 1.062 Dg, y evaluar el comportamiento



Figura 3.2. Días grado mensual base 12,5°C entre octubre de 2017 a septiembre de 2018, obtenido en la estación agrometeorológica “La Cachina” de Taltal.

de variedades precoces con las que se puede adelantar el período de cosecha (reducción del consumo hídrico) o más tardías, alargando el período de desarrollo de frutos con el consiguiente incremento en la acumulación de aceite.

Humedad Relativa del Aire (HR): La humedad relativa del aire registrada en la localidad de Taltal, está estrechamente relacionada con las cercanías del Océano Pacífico, que a pesar de encontrarse en pleno desierto, la humedad se encuentra por sobre el 50%. En la **Figura 3.3**, se presenta la evolución de la humedad relativa del aire.

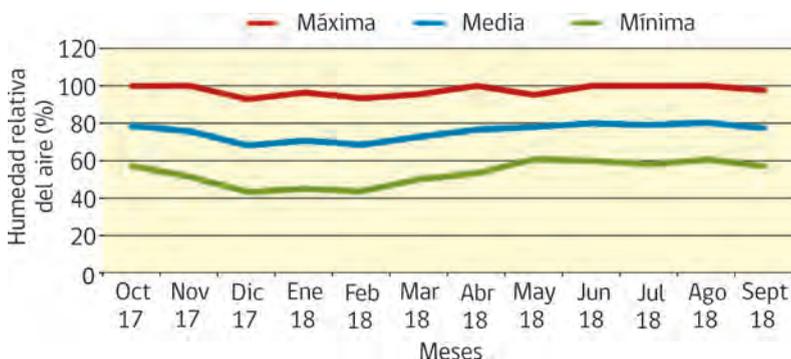


Figura 3.3. Humedad Relativa del Aire registrada entre octubre de 2017 a septiembre de 2018, obtenido en la estación agrometeorológica “La Cachina” de Taltal.

Velocidad del viento: Los registros de velocidad del viento, permiten tomar decisiones sobre la protección del cultivo frente a este elemento, pues intensidades elevadas generan un deterioro en la producción de olivas y deformación de la copa de los árboles.

En la **Figura 3.4**, se presenta la evolución mensual de la velocidad del viento en la localidad de Taltal.

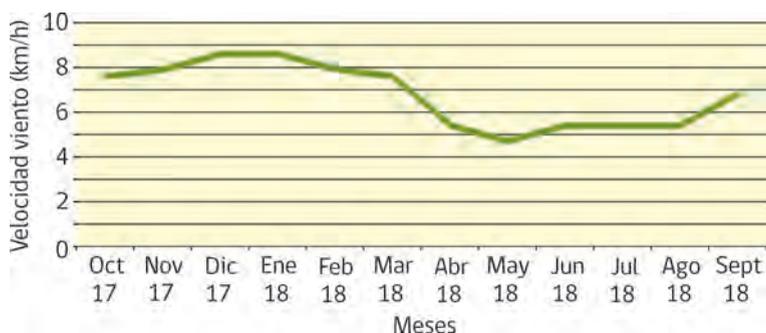


Figura 3.4. Velocidad del viento media mensual (km/h) registrada en la estación agrometeorológica "La Cachina", durante los meses de octubre de 2017 a septiembre de 2018.

La mayor intensidad del viento se registra en los meses de diciembre y enero, alcanzando una velocidad de 8,6 km/h.

La información presentada en los párrafos precedentes, más la radiación incidente, permite determinar la demanda atmosférica de humedad, antecedente útil para la determinación de los requerimientos hídricos del cultivo, información base para determinar la demanda de riego para el cultivo del olivo en la zona de Taltal.

Desde el punto de vista de manejo del riego del cultivo del olivo, en la **Figura 3.5**, se presenta la evapotranspiración potencial obtenida en el período de máxima demanda que se registra durante el ciclo agrícola.

Pluviometría: La zona costera de Taltal, ubicada frente al océano Pacífico y en la vertiente occidental de la cordillera de la costa, presenta condiciones apropiadas para la ocurrencia de lluvias orográficas, que a pesar de ser parte del desierto de Atacama, es común encontrar presencia de nubosidad baja, las que



Figura 3.5. Curva de evapotranspiración potencial diaria registrada entre octubre de 2017 a septiembre de 2018, obtenido en la estación agrometeorológica “La Cachina” de Taltal.

eventualmente descargan pequeñas cantidades de agua que debido a la evaporación diaria por lo general, no es significativa para sustentar la flora silvestre que eventualmente se desarrolla por efecto de los períodos cíclicos de lluvias causados por el fenómeno climático “El Niño”.

Desde el inicio de operación de la EMA La Cachina, se han registrado varios períodos de precipitaciones, no superando los 5 mm por evento y que en su mayoría alcanzan 0,1 a 0,3 mm por día, lo que indica que mayormente obedece a presencia de nieblas o “Camanchacas” de baja altura. En la **Figura 3.6**, se presentan las precipitaciones registradas mensualmente desde el inicio de operación de la estación agrometeorológica “La Cachina”.

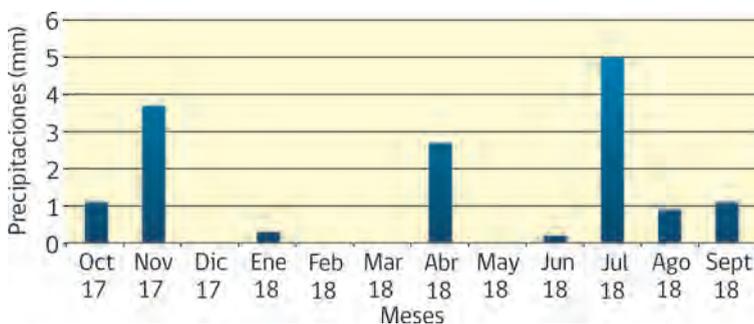


Figura 3.6. Precipitaciones mensuales registradas entre octubre de 2017 a septiembre de 2018, obtenido en la estación agrometeorológica “La Cachina” de Taltal.

Las precipitaciones totales acumuladas durante el período indicado en la Figura 3.6 es de 15 mm, lo que no tiene efecto para mitigar el déficit hídrico de los cultivos, sino por el contrario, al ocurrir eventos de menos de 15 mm, se produce una alteración de la distribución de las sales presentes en el suelo, afectando la nutrición del cultivo, llegando muchas veces a provocar intoxicaciones salinas en los árboles.

Capítulo 4.

Caracterización química de suelos y agua

Francisco Meza A.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

e-mail: fmeza@inia.cl

Francisco Tapia C.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

e-mail: fatapiac@inia.cl

En la comuna de Taltal, existen varias quebradas que terminan en formaciones de suelos en piedmont y en pendientes suaves, cuyas planicies determinan áreas que podrían ser utilizadas en agricultura. Se trata de las quebradas de El Hueso, La Cachina y Los Loros, las cuales suman unas 400 ha con potencial agrícola. Sin embargo, la principal limitante es la disponibilidad de agua y su calidad, seguido por la calidad de los suelos. Tanto el agua como los suelos ofrecen restricciones serias al desarrollo de cultivos debido principalmente al alto contenido de sales. No obstante lo anterior, lugareños iniciaron una serie de pruebas con diferentes especies vegetales y manejo de los suelos, realizándose luego plantaciones masivas de olivos que hoy tienen una antigüedad de diez años. Actualmente existen más de 15 mil árboles que producen sobre los 400 litros de aceite de oliva al año, donde se continúa en la búsqueda de nuevas fuentes de agua para mejorar el riego deficitario de las plantas, así como también, mejorar la calidad de los suelos. Para aprovechar el impulso y encontrar apoyo a este tipo de agricultura en la comuna de Taltal, los agricultores han postulado proyectos a diferentes fuentes de financiamiento para incorporar tecnologías que les permitan mejorar la productividad de los cultivos en esta zona árida del país.

Entre las tecnologías incorporadas, se puede destacar la implementación del riego de alta eficiencia, como el método de goteo, cuyo resultado ha sido satisfactorio para enfrentar la aridez de la zona y su baja disponibilidad de agua de riego. También destaca el interés por el conocimiento de cómo suministrar el riego, el uso de estanques de almacenamiento de agua, tuberías para la con-

ducción de agua y la adquisición de compost para el mejoramiento de los suelos, son algunos de los avances en esta materia. El propósito de la incorporación de esta tecnología es permitir que estos suelos sean más productivos, siguiendo la ruta de la producción amigable con el medio para la obtención de productos diferenciados, tanto por la zona productiva como por la estrategia de manejar el cultivo en condiciones de desierto.

Sin embargo, aún existe desconocimiento de las características químicas y físicas de los suelos y del agua que se utiliza para riego. Para aportar en estos aspectos, el presente proyecto junto con caracterizar sus recursos naturales de suelo y agua, evalúa la posibilidad de utilizar agua proveniente de la niebla, fenómeno típico de esta zona, que podría considerarse como una nueva fuente de agua de muy buenas características físico químicas, que al ser utilizadas como fuente de riego, permiten mejorar las características de los suelos existentes, aumentando las posibilidades del desarrollo del cultivo del olivo para la zona.

4.1. Caracterización química de los suelos

La zona de estudio corresponde a planicies que se descuelgan de cerros pertenecientes a la cordillera de la costa, los que tienen pendientes variables entre 3 y 15%. La vegetación natural surge en años lluviosos representado por un manto herbáceo estacional de corto período vegetativo.



Figura 4.1. Vista general de las planicies ubicadas en la base de las serranías de la cordillera de la costa de Antofagasta, donde se ubican los huertos de olivo de Taltal.

Son suelos heterogéneos en sus características minerales, con escasa presencia de materia orgánica, abundante pedregosidad, con pendientes suaves a moderadas. Corresponden a suelos estratificados producto de las avenidas generadas en años con presencia de lluvias, los que se suceden cada 20 a 30 años, con acarreo de material de las zonas altas e incluso desde sectores lejanos como la Pampa del desierto. Textualmente estos suelos están conformados mayormente por arenas de diferentes espesores, depositadas en profundidad, arcillas y limo en superficie, predominando la clase textural franco areno limoso en superficie.

Físicamente presentan macro porosidad abundante, facilitando el drenaje de las aguas lluvias, sin embargo, presenta evidencia de la existencia de sales sódicas, manifestado por coloraciones marrones oscuras y también la presencia de hierbas halófitas.

La caracterización química de estos suelos corresponde a mediciones realizadas en el sector La Cachina, en una terraza aluvional, cuyas muestras fueron tomadas desde un huerto habilitado hace ocho años, lo que ha facilitado el manejo de riego durante todo este período de evaluación. En los **Cuadros 4.1, 4.2 y 4.3**, se presentan las características de fertilidad y salinidad de suelos registrados en la temporada 2017/2018.



Figura 4.2. Perfil de suelo existente en el área de estudio.

Cuadro 4.1. Análisis de fertilidad de suelos obtenidos en el sector La Cachina de Taltal, indicados como elementos disponibles.

Elementos	pH	C. E. dS/m	M. O. %	N	P	K	Fe	Mn	Zn	Cu	B
				mg/kg							
Valor	8,2	6,3	5,0	39,3	107,2	274,3	15,8	60,7	25,3	13,8	5,9
DS	0,3	2,1	2,0	6,9	59,7	332,4	3,4	15,0	17,7	5,2	3,0

En este caso, destaca un nivel muy adecuado de materia orgánica en el suelo, producto del manejo que ha venido realizando el propietario del huerto. Sin embargo, la alta concentración de algunos nutrientes como el Boro y la alta conductividad eléctrica del suelo, indican niveles de salinidad importantes.

Cuadro 4.2. Cationes y aniones solubles (meq/L) de suelo determinados en el sector de La Cachina de Taltal.

Elementos	pH	C. E.	RAS	Ca ⁺	Mg ⁺	K ⁺	Na ⁺	SO ₄	HCO ₃
		dS/m							
Valor	7,5	6,3	4,5	24,0	14,9	5,1	20,4	25,9	26,5
DS	0,5	2,1	1,4	6,5	8,8	3,4	8,4	10,9	9,3

Los niveles de cationes y aniones, si bien se contraponen entre ellos, corresponden más bien a rangos altos, lo cual implica una cierta salinidad del suelo, donde sobresalen los sulfatos y el bicarbonato.

Cuadro 4.3. Cationes y aniones solubles (mg/L) de suelo determinados en el sector de La Cachina de Taltal.

Elementos	Ca ⁺	Mg ⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻²	B	Saturación de Na	CaCO ₃ ⁻²	
										%	total
Valor	12,7	481,0	188,5	197,9	470,9	918,0	1272,3	3,1	35,9	2,5	1,0
DS	5,5	129,3	105,9	133,4	189,4	386,5	447,1	1,5	7,7	0,6	0,2

4.2. Caracterización de las aguas disponibles en Taltal como potencial fuente de riego

Para la presente evaluación del riego en olivos, fueron consideradas las fuentes de agua disponibles en la zona y el agua proveniente de atrapaniebla, las cuales fueron caracterizadas químicamente, de manera de determinar su probable contenido salino y la potencial interacción de sus componentes con el suelo y la absorción de nutrientes por parte del cultivo del olivo.

Las fuentes consideradas correspondieron a las aguas mayormente utilizadas en el sector de La Cachina, las que provienen de la empresa de servicios sanitarios de la comuna, previo a la potabilización (sin adición de cloruros) y el agua utilizada por los agricultores del sector El Hueso, que se abastecen de una vertiente ubicada a 20 km hacia el Este, llamada Las Breas, cuyas características son de aguas duras. Como nueva fuente de abastecimiento de agua de riego para los cultivos, se consideró utilizar el agua proveniente de atrapanieblas (**Figura 4.3**), la cual fue analizada junto a las fuentes anteriormente señaladas (**Cuadros 4.4 y 4.5**).



Figura 4.3. Atrapanieblas, como fuente de abastecimiento de agua para el regadío de olivos en Taltal.

Cuadro 4.4. Caracterización química de las aguas como potencial uso en riego de Taltal.

Origen	pH	C. E. dS/m	RAS	Na porcentual	Dureza mg/L	Cationes y Aniones						
						Ca ⁺	Mg ⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻²
Servicios Sanitarios	7,6	1,3	2,1	35,7	385	6,6	1,1	0,23	4,4	3,8	7,1	0,96
Las Breas	7,76	11,8	26	71,1	1540	22,7	8,1	2,6	82,2	80	46,9	2,1
Atrapanieblas	6,06	0,19	0,52	64,7	29	0,25	0,33	0,02	1,1	0,9	0,39	0,03

De estas tres fuentes de agua, Las Breas es la de peor calidad, correspondiendo a una fuente de aguas extremadamente duras, de alta salinidad y con presencia de altos niveles de sodio.

La fuente de agua cruda de los servicios sanitarios es de calidad regular para el riego, dado por la presencia de sodio y cloruros en niveles moderados.

Cuadro 4.5. Caracterización química de las agua como potencial uso en riego de Taltal (complemento).

Origen	Ca ⁺	Mg ⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻²	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	P	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg/L															
Servicios Sanitarios	132	13	9	101	135	341	59	0,84	2,2	0,02	0,98	<0,01	0,18	<0,01	0,01
Las Breas	454	98	102	1891	2836	2251	128	0,98	2,8	0,01	5,8	0,01	0,03	0,02	0,01
Atrapanieblas	5	4	1	25	32	19	2	0,7	1,8	0,03	0,08	0,39	0,01	0,11	0,59

Respecto a sales disueltas, Las Breas confirma el nivel extremo de ellas, seguido por la fuente de los servicios sanitarios con niveles bastante más bajos. Atrapanieblas corresponde a una fuente de agua prácticamente pura, sin presencia de sales disueltas.

4.3. Análisis de resultados

La mayor producción de olivas y rendimiento graso total, es el resultado del aporte del agua de riego adicional aportado por el agua proveniente de atrapanieblas (2.300 litros por árbol durante la temporada), lo que reduce la presencia de iones sulfatos, conductividad eléctrica, iones magnesio, sodio y RAS, y en menor grado con la presencia de nutrientes de boro, manganeso, zinc, fósforo y nitrógeno disponible.

Esto corrobora que suelos salinos son antagónicos para la producción de olivas, lo que es posible revertir mediante el incremento del volumen del agua de riego especialmente si las características químicas corresponde a aguas de bajo contenido salino como lo es el agua proveniente de atrapanieblas.

En la **Figura 4.4**, se presentan dos situaciones en que la salinidad del suelo afecta el crecimiento de plantas del olivo joven, lo que se suma a un mal manejo del suelo, frecuencias de riego extensas y bajo volumen de agua aplicado. La recuperación del



Figura 4.4. Olivo recién plantado afectado por la salinidad de los suelos (izquierda). A la derecha se observa su recuperación dos meses después de haber realizado trabajos de mejoramiento del suelo y riego con agua con bajos contenidos de sales, en suelos del sector La Cachina de Taltal.

mismo árbol se aprecia a los dos meses después de realizar mejoras de suelo (eliminación de lomo central), incremento de frecuencia y volumen de riego dos veces por semana y seis litros por riego.

4.4. Recomendaciones de manejo

De acuerdo a antecedentes recopilados en la zona de estudio, tanto de los contenidos salinos del suelo como la expresión de desarrollo vegetativo a las plantas de olivos, se recomienda utilizar el agua proveniente de atrapaniebla en mezcla con las aguas de la fuente de servicios sanitarios en una proporción de uno a tres, es decir, por una parte de agua que hoy es utilizada rutinariamente (730 L/árbol/año) incorporar 2.300 litros de agua por árbol, proveniente de atrapanieblas, que desde el punto de vista de sensibilidad del olivo, debe ser aplicada en el período de crecimiento y maduración del fruto.

Capítulo 5.

Variedades de olivo y su comportamiento productivo

Francisco Tapia C.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

e-mail: fatapiac@inia.cl

Carlos Muñoz M.

Técnico Agrícola

e-mail: carloshugomuñozmorales@gmail.com

5.1. Variedades

Las principales variedades de oliva destinadas a la producción de aceite, existentes en el sector La Cachina y Los Loros en la comuna de Taltal, corresponden a Arbequina, Manzanilla de Sevilla, Picual y Leccino. Sin embargo, también se cultivan las variedades Sevillana y Kalamata, las cuales se utilizan preferentemente para mesa y eventualmente para elaboración de aceite. A continuación, se hará una descripción de las variedades de interés oleícola presentes en el área de ejecución del presente proyecto, las que sirvieron de base para la caracterización productiva de la zona.

5.1.1. Arbequina

Cultivada principalmente para la obtención de aceite. Originaria de España, fue introducida al país a fines del siglo XX. Presenta producción precoz y estable en el tiempo. De escaso desarrollo, pero muy productiva (sobre 11 toneladas por hectárea), ideal para establecimiento de plantaciones de alta densidad (sobre 1.000 árboles por hectárea). Sensible a repilo y escama blanca de la hiedra y a suelos calcáreos. Peso promedio de fruto 1,7 g. Su pigmentación no se condice con el estado real de madurez, por lo que colores amarillentos pueden indicar estado óptimo de cosecha. Índice de añerismo bajo.

El rendimiento graso es medio (15% materia húmeda). Las características sensoriales de esta variedad corresponden a un aceite mas bien suave, con una persistencia moderada, sensaciones a hierbas verdes (**Figura 5.1**).

5.1.2. Picual

Varietal originaria de España, país donde ocupa la mayor superficie plantada. Destinada casi exclusivamente para aceite; sin embargo, posee buenas aptitudes como productora de aceituna de mesa, especialmente para elaboración de olivas negras naturales. Árbol de desarrollo medio, copa abierta y follaje ralo. Se comporta muy bien en zonas ventosas. El peso del fruto es de 3,38 g. Precocidad moderada al entrar en producción, alcanzando rápidamente niveles productivos sobre 12 toneladas por hectárea. Su producción promedio es de 4,5 toneladas por hectárea. Índice de añerismo alto (**Figura 5.2**).

El rendimiento graso en base materia húmeda alcanza 18%. Sensorialmente el aceite perteneciente a esta variedad, presenta características de frutado herbáceo sobresaliente con ligeras sensaciones a hierbas aromáticas. El picor destaca levemente sobre el amargor, siendo esta una característica de la variedad.



Figura 5.1. Variedad Arbequina.



Figura 5.2. Variedad Picual

5.1.3. Leccino

Probablemente sea la segunda variedad en importancia aceitera de origen italiano. Árbol de gran vigor y envergadura, copa globosa y follaje compacto. Peso de fruto de 1,61 g. Precoz en entrada en producción y muy productivo a través de los años, alcanzando un máximo de 25 toneladas por hectárea y su producción media es de 13 toneladas. Índice de añerismo medio (**Figura 5.3**).

El rendimiento graso alcanza a 20,5% base materia húmeda. Las características sensoriales de este aceite son equilibradas, con presencia de aromas y sabores a hierbas verdes, vainilla y flores silvestres.

5.1.4. Sevillana

Variedad originaria de Chile, destinada principalmente para la producción de aceitunas de mesa. Variedad de gran adaptación frente a diferentes condiciones agroclimáticas existentes a lo largo del país (**Figura 5.4**). Árbol de desarrollo medio a grande. Copa abierta y ramas tipos sauce. Sensible a Repilo, Conchuela negra, Mosquita Blanca del Fresno y Verticilosis. El peso del fruto alcanza a 6,23 g. Precocidad media con plena producción a partir del quinto año después de la plantación. Las máximas producciones sobrepasan las 9 toneladas y el rendimiento medio se



Figura 5.3. Variedad Leccino



Figura 5.4. Variedad Sevillana

estima en 5,5 toneladas por hectárea. Las altas producciones afectan negativamente el tamaño de los frutos. Índice de añerismo medio.

El rendimiento graso alcanza a 16% en base a materia húmeda. Sensorialmente, el aceite proveniente de esta variedad es uno de los más equilibrados, destacando su frescor dado por hierbas aromáticas y frutos verdes, lo que lo hace un aceite apropiado para la cocina.

5.2. Fenología

La fenología corresponde al estado de desarrollo que presenta el olivo a través de la temporada, manifestándose en el crecimiento vegetativo y/o reproductivo en determinadas estaciones del año, cuyos registros se realizan mediante observaciones expertas que permiten determinar la evolución del proceso productivo. La importancia de conocer los estados fenológicos radica en que cada uno de estos estados tiene diferentes requerimientos térmicos y diferente sensibilidad al estado de hidratación de la especie, dependiendo de ello los rendimientos productivos y su época de madurez para una determinada zona y manejo específico del cultivo.

En el presente trabajo, se realizó un seguimiento fenológico de 4 variedades de olivo durante la temporada 2017-2018. Los registros de ocurrencia mensual de los diferentes estados fenológicos, basados en información validada por Mejías y colaboradores (2006), se presentan en el **Cuadro 5.1**.

Cuadro 5.1. Fenología mensual perteneciente a las variedades Arbequina, Leccino, Picual y Sevillana, cultivadas en la localidad de La Cachina (Taltal) durante la temporada 2017-2018.

Variedad	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Arbequina	A-B	C-DI	DII-E	E-FI	FII-G	G-H	Df	I	I	I-J	J	A
Leccino	A-B	C	DI-DII	DII-FI	FI-FII	G-H	Df	I	I-J	J	J	A
Picual	A-B	B-C	DI	DII-FI	FII-G	G-H	Df	Df	I	I	I	A
Sevillana	A-B	C-DI	DI	DII-FI	FII-G	G-H	Df	I	I	I	J	A

A: receso invernal; B: despertar de yemas; C: formación racimo floral; DI: crecimiento de racimo floral; DII: elongación de racimo floral; E: botones florales partidos; FI: primeras flores abiertas; FII: Plena floración (más de 50% flores abiertas); G: Cuaja (pétalos secos y frutitos visibles); H: endurecimiento de carozo; Df: Desarrollo de fruto; I: pinta (50% fruto con tintes violáceos); J: fruto maduro (piel negra).

El desarrollo fenológico se inicia muy temprano en la primavera, con el crecimiento de las yemas reproductivas y dependiendo de las variedades, se ralentiza más o menos el proceso entre la elongación del racimo floral y plena flor, tomando entre 3 y 4 meses. En la **Figura 5.5**, se presenta estado de plena floración en la variedad Arbequina, la cual alcanza cerca del 80% de sus ramillas con flores. La madurez del fruto depende mucho de la variedad, siendo las primeras en estar en estado de cosecha para elaboración de aceite de oliva, las variedades Leccino y Arbequina. Durante el período de evaluación, la variedad Picual, no logró la madurez de fruto 100% de coloración negra, reflejada en el estado J, lo que probablemente se relacione por la alta carga frutal obtenida en esta temporada y también por los mayores requerimientos térmicos de dicha variedad (**Figura 5.6**).



Figura 5.5. Variedad Arbequina en estado de plena flor, con un 80% de ramillas con flor.



Figura 5.6. Estado de madurez alcanzado por la variedad Picual en las condiciones de Taltal durante el mes de marzo.



Figura 5.7. Cosecha tradicional de olivas en Taltal.

5.3. Estado nutricional del cultivo

La determinación del estado nutricional de los olivos se realiza mediante análisis de tejido foliar, cuya muestra se obtiene de hojas adultas generadas en el último crecimiento de la temporada (enero), enviadas a laboratorios donde se determinan macro y micro nutrientes, los que se comparan con estándares definidos para la especie. En los **Cuadros 5.2 y 5.3** se presentan los niveles nutricionales encontrados en las variedades estudiadas en la zona de Taltal.

Cuadro 5.2. Variedades y concentración de macronutrientes en tejidos de hojas colectadas en enero de 2018 en la localidad de Taltal.

Variedad	Nitrógeno (N)	Fósforo (P)	Potasio (K)	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)
	%				
Picual	1,55	0,21	1,14	1,04	0,12
Leccino	1,53	0,19	1,09	0,91	0,12
Arbequina	1,77	0,27	1,15	0,78	0,13
Sevillana	1,49	0,17	1,08	1,02	0,17
Nivel recomendado	1,5-2,0	0,1-0,3	>0,8	>1	>0,1

Cuadro 5.3. Variedades y concentración de micronutrientes en tejidos de hojas colectadas en enero de 2018 en la localidad de Taltal.

Variedad	Hierro (Fe)	Manganeso (Mn)	Zinc (Zn)	Cobre (Cu)	Boro (B)
	mg/kg				
Picual	57	37	17	11	32
Leccino	90	39	16	12	31
Arbequina	67	35	20	9	25
Sevillana	130	53	15	18	21
Nivel recomendado	>60	>20	>10	>4	10-150

Las diferentes variedades evaluadas en general presentan niveles normales de nutrientes en hojas, tanto para macro como micronutrientes, lo cual no representa una limitante productiva desde el punto de vista nutricional.

5.4. Variedades sobresalientes

Los estudios realizados, permitieron caracterizar las condiciones edafoclimáticas en las que se desarrolla el cultivo del olivo, donde los factores de mayor relevancia corresponden a las características químicas del suelo. De acuerdo a evaluaciones de comportamiento productivo, destaca la variedad Picual, la que presentó un mejor desarrollo en función de las condiciones de salinidad de los suelos. Esta presentó producciones de 8 a 11 kg por árbol.

Las variedades Leccino y Arbequina alcanzaron producciones variables entre 2,9 y 5,7 kg por árbol y la variedad Sevillana, la menos productiva, tuvo producciones que variaron entre 0,1 y 2,9 kg por árbol.

Los factores más relevantes en la producción de olivos en consideración que han sido regados en forma deficitaria, independiente de los tratamientos, corresponde a la salinidad del suelo, siendo gravitante la conductividad eléctrica, factor que es un impedimento para el desarrollo de la mayoría de los cultivos.

Capítulo 6.

Estrategia de mejoramiento de riego

Francisco Tapia C.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

e-mail: fatapiac@inia.cl

Francisco Meza A.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

e-mail: fmeza@inia.cl

6.1. Situación inicial de riego

La comuna de Taltal, recién a principios de la década del 2000, se incorpora masivamente a la producción agrícola, basado en el fuerte anhelo de sus habitantes, quienes solicitan concesión de terrenos de los sectores de La Cachina, Los Loros y el Hueso, localidades situadas a 2 kilómetros de la ciudad, cuya conformación corresponde a antiguos conos de iluviación provenientes del cordón montañoso de la cordillera de la costa. En el **Cuadro 6.1**, se presentan las características generales presentes en los huertos de olivos de Taltal.

Cuadro 6.1. Edad media de los olivos, marco de plantación, método de riego frecuencia de riego, producción y rendimiento graso.

Edad árboles (años)	Marco de plantación (m)	Método de riego	Frecuencia de riego (días)	Producción media (kg/árbol)	Rendimiento graso industrial (%)
10	3 x 2	goteo	semanal	0,85	20

Las características de los frutos son de maduración temprana, bajo contenido de pulpa y en general de aspecto deshidratado, con una baja relación pulpa/hueso, lo que dificulta la extracción industrial del aceite de oliva.

La principal limitante en el desarrollo de estos huertos de olivos en Taltal es la baja disponibilidad de agua de riego, existiendo algunos afloramientos en la base de cerros, con un caudal continuo que no supera los 0,5 litros por segundo y su calidad es de moderada a extremadamente salina. Sin embargo, los agricultores se las han ingeniado primero, para abastecerse de agua potable desde la ciudad, acarreándola en bidones y luego en camiones aljibe, para incorporarse posteriormente a una red de distribución de aguas proveniente del sector Aguas Verdes, ubicado en las nacientes de la quebrada de Taltal, en la pampa antofagastina.

Lo anterior ha permitido entonces que los habitantes locales puedan desarrollar, a pequeña escala, el cultivo del olivo.

Debido a las condiciones desérticas existentes en la zona, los olivos requieren de abastecimiento de riego durante todo el año, por lo que los agricultores riegan en promedio con dos litros de agua diaria. En sus inicios, el método de riego empleado fue de tazas, para posteriormente, mediante apoyo de INDAP, se incorporó el método de riego por goteo, utilizando la fuerza de gravedad dada por diferencia de cota, como fuente impulsora y en la actualidad se han incorporado modernos sistemas fotovoltaicos, lo que genera la presión de operación suficiente para que el método de riego presurizado funcione a plenitud.

Sin perjuicio del moderno método de riego adoptado, se sigue utilizando la estructura de la taza original, la cual corresponde a la zona del suelo donde ha sido plantado el olivo, el cual tiene mejoras en cuanto a mullimiento, despedrado e incorporación de materia orgánica, la que se encuentra en un pretil circular y dentro de ella se concentran los goteros considerados en el diseño de riego utilizado (**Figura 6.1**). Aunque pareciera un sistema de riego combinado entre goteo y tazas, la dotación de agua se entrega por el método de riego por goteo y la estructura de taza sólo sirve para concentrar el agua que aportan los goteros.

La mayor demanda evapotranspirativa, entre 5,5 y 5,9 mm/día, ocurre en los meses de diciembre a febrero, período en que el olivo se ve seriamente afectado por la falta de agua, reduciendo el crecimiento de frutos y de ramillas vegetativas, lo que en definitiva se traduce en una baja producción. Esto se atribuye a la extrema situación de estrés que sufre el olivo en este período. En la **Figura 6.2**, se presenta el estado de un olivo afectado por estrés hídrico en el mes de enero.

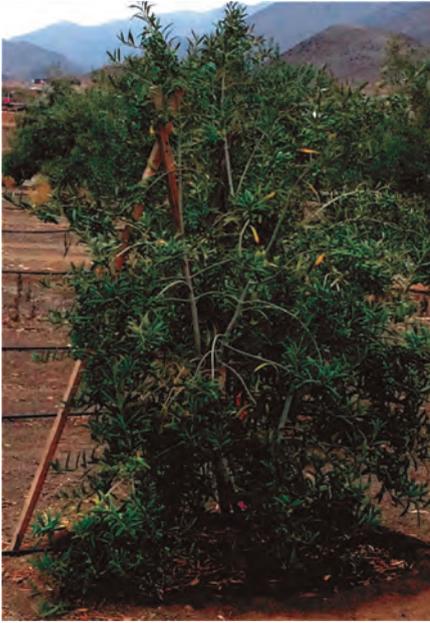


Figura 6.1. Sistema de riego empleado en olivos en la zona de Taltal, apreciándose la distribución de agua mediante líneas de polietileno, que entregan agua a las tazas mediante goteros.



Figura 6.2. Presencia de sales en suelos, desecamiento de hojas y ramillas y reducción de la producción a causa del estrés hídrico en huertos de Taltal durante el período estival.

6.2. Determinación de las demandas hídricas del cultivo

La demanda hídrica del olivo, al igual que la mayoría de las especies cultivadas, se relaciona con el estado de desarrollo del cultivo y de las condiciones atmosféricas del momento, es decir, temperatura, viento, humedad relativa del aire, lo que produce un flujo de humedad entre el suelo y la planta hacia la atmósfera, lo cual es determinado por la información generada por las estaciones agrometeorológicas automáticas.

El estado de desarrollo del olivo interactúa con la demanda atmosférica mediante el factor K_c y ambos determinan la cantidad de agua demandada por el cultivo.

En el **Cuadro 6.2**, se presenta el coeficiente de cultivo (Kc), el cual refleja la condición antes indicada, siendo un factor determinante a considerar la demanda hídrica del olivo.

El cálculo de las necesidades de riego del olivo se basa en la utilización de fórmulas matemáticas que los asesores agrícolas deben manejar y actualizar la información conforme se desarrolla el cultivo durante la temporada y por las condiciones ambientales, teniendo como base el diseño agronómico de cada huerto.

Para definir la demanda hídrica neta del cultivo o ETC, en sus diferentes períodos de desarrollo, se utiliza la siguiente fórmula, la cual contempla el factor Kc indicado a continuación:

$$ETc (mm) = ETo (mm) \times Kc$$

Donde:

ETc (mm/día) : corresponde a la demanda hídrica del cultivo.

ETo (mm/día) : es la evapotranspiración de referencia para la zona, calculada mediante el método Penman-Monteith, información que entrega la estación agrometeorológica automática de la zona.

Kc : factor adimensional definido por tabla.

Recurriendo a la información entregada por la Estación Agroclimática Automática, perteneciente a la Red Agrometeorológica Nacional en el sitio web indicado anteriormente, se obtiene Evapotranspiración de referencia (ETo) para el período de interés en el área de influencia de la estación agrometeorológica La Cachina, cuya información es aplicable a la zona en que se cultivan los olivos de la comuna de Taltal.

En el **Figura 6.3**, se indica la evapotranspiración mensual de los 12 primeros meses de operación de la estación agroclimática.

Cuadro 6.2. Coeficiente de cultivo (Kc), definido según estado de desarrollo del olivo.

Estado desarrollo	Coeficiente cultivo (Kc)
Receso invernal	0,4-0,5
Floración	0,55
Brotación vegetativa	0,6
Desarrollo de fruto	0,65
Cosecha	0,6

Adaptado de Orgaz y Fereres, 2008.



Figura 6.3. Evapotranspiración potencial definida para el área de Taltal durante los meses de octubre de 2017 a septiembre de 2018.

Los meses de diciembre, enero y febrero, son los que presentan la mayor demanda evapotranspirativa, la que mensualmente alcanza un máximo de 160 mm, encontrándose una ETo diaria mínima de 2 mm y una máxima de 5,9 mm.

Para llevar esta demanda a la práctica, es necesario considerar las condiciones del huerto como el marco de plantación, promedio en la localidad de Taltal, se tienen huertos plantados a 3 x 2 metros, es decir ocupan una superficie de 6 m², por cada árbol.

En la fórmula siguiente, se indican las variables a considerar en la determinación de agua a aplicar en el huerto de olivos de Taltal.

$$V_{apl} \text{ (L/día)} = ETc \times M. P. \times Cobertura / (Ef_m)$$

V apl : Volumen de agua de riego a aplicar diariamente por árbol.

ETc : Evapotranspiración del cultivo (definido anteriormente).

M.P. : Marco de plantación en m².

Cobertura : Área de follaje proyectado en el suelo, definido en porcentaje respecto del M.P.

Ef_m : Eficiencia del método de riego empleado, correspondiendo a 90% para riego por goteo.

Para el cálculo de la demanda real de riego, se considera un marco de plantación de 3 x 2 m y cobertura de copa de 65%.

En el **Cuadro 6.3**, se presenta la demanda neta mensual media diaria de riego para un huerto tipo de olivos cultivado en Taltal, registrada para la temporada 2017-2018.

Cuadro 6.3. Demanda de riego diaria mensual entre los meses de octubre de 2017 a septiembre de 2018, para un huerto tipo de olivos plantados a 3 x 2 metros en la localidad de Taltal.

Mes	Estado de desarrollo	ETo (mm/día)	Demanda neta	Volumen a aplicar por método goteo
			(litros diarios por árbol)	
Octubre	Floración	3,2	5,8	6,4
Noviembre	Brotación vegetativa	3,9	9,1	10,1
Diciembre	Desarrollo de fruto	5,1	12,9	14,4
Enero	Desarrollo de fruto	4,9	12,5	13,9
Febrero	Desarrollo de fruto	5,0	12,7	14,1
Marzo	Desarrollo de fruto	3,8	9,7	10,8
Abril	Cosecha	2,6	6,6	7,3
Mayo	Receso	1,9	3,1	3,4
Junio	Receso	1,5	2,2	2,5
Julio	Receso	1,6	2,4	2,7
Agosto	Floración	1,8	3,0	3,3
Septiembre	Floración	2,7	4,8	5,3

Las demandas diarias mensuales son variables, estando muy relacionadas con la demanda atmosférica definida por la ETo y moderada por el desarrollo del cultivo. Es así como las máximas demandas del cultivo se presentan en los meses de diciembre y marzo, período en que la falta de agua afecta directamente la producción del olivo, tanto en cantidad como en la calidad de las olivas.

La disponibilidad de agua de riego para tener una producción cercana al 100% del potencial del olivo es escasa, por lo que se requiere desarrollar una metodología que permita optimizar el agua de riego disponible, más el suplemento que genera la captura de agua de la niebla mediante los sistemas atrapanieblas evaluados localmente.

6.3. Propuesta de riego suplementario en condiciones deficitarias

En la zona de Taltal, el ciclo del olivo presenta sus mayores demandas hídricas en los meses de diciembre a febrero, período en que se define la producción,

tanto en la cantidad de kilos de olivas a cosechar, como de la calidad de la fruta. Cuando el riego es deficitario en momentos en que el fruto se encuentra en pleno desarrollo, se produce una maduración anticipada, lo que genera una menor proporción de pulpa, que es donde se encuentra el aceite de oliva y tiene que ser extraído mediante procesos mecánicos, lo cual se ve disminuido, incrementando las pérdidas de aceite por ineficiencia en la extracción debido a problemas del fruto.

Para definir los períodos que permiten mejorar la producción y su calidad orientada a la producción de aceite de oliva. Se definen cuatro etapas en que se suplementa el riego mediante uso de agua captada desde atrapanieblas y almacenadas a la espera de realizar los riegos. Estas etapas corresponden a períodos de receso invernal, formación de estructuras florales, floración y cuaja y madurez del fruto.

Si bien es cierto, el aporte de agua de riego en forma indistinta en cada uno de estos períodos, logró reducir el déficit hídrico al que es sometido permanentemente el cultivo desde un 83 a 17%, permitiendo mantener la producción, pero mejorando la calidad del fruto, lo que significa mayor extracción industrial de aceite de oliva.

En función a lo anterior, en el **Cuadro 6.4**, se hace un balance hídrico entre demanda, aporte de riego actual y riego suplementario, este último aportado por la captación de agua proveniente de los atrapanieblas.

Cuadro 6.4. Balance hídrico mensual y total en función de la demanda, abastecimiento utilizado por agricultores y riego suplementario propuesto para un huerto de olivos en la zona de Taltal utilizando agua de riego suplementaria proveniente de atrapanieblas, aportada en períodos críticos para la producción de olivas aceiteras.

Mes	Estado de desarrollo del olivo	Demanda mensual de agua de riego	Abastecimiento de riego de agricultores	Aporte suplementario atrapanieblas	Déficit hídrico
		(L/árbol)	(L/árbol)	(L/árbol)	
Julio	Receso	90,5	62	0	32%
Agosto	Receso	130,0	62	0	52%
Septiembre	Crecimiento yemas florales	185,5	60	0	68%

Continuación del Cuadro 6.4.

Mes	Estado de desarrollo del olivo	Demanda mensual de agua de riego	Abastecimiento de riego de agricultores	Aporte suplementario atrapanieblas	Déficit hídrico
		(L/árbol)	(L/árbol)	(L/árbol)	
Octubre	Floración	221,2	62	0	72%
Noviembre	Cuaja	326,8	60	0	82%
Diciembre	Crecimiento de fruto	479,6	62	417,6	0%
Enero	Desarrollo de fruto	464,4	62	402,4	0%
Febrero	Desarrollo de fruto	426,2	56	370,2	0%
Marzo	Madurez	333,5	62	271,5	0%
Abril	Cosecha	200,2	60	140,2	0%
Mayo	Inicio receso	130,4	62	0	52%
Junio	Receso	104,3	60	0	42%
Total	Ciclo	3.092,6	730,0	1.601,8	25%

La estrategia de riego que presenta el cuadro, permite satisfacer en su totalidad las demandas hídricas temporales según estado de desarrollo del fruto, cubriendo al 100% los requerimientos hídricos de la planta en el período comprendido entre diciembre y abril.

Para que esto dé resultados, se debe monitorear permanentemente las condiciones agrometeorológicas de la zona, definido por la estación automática "La Cachina" indicada anteriormente, con lo cual el ajuste periódico de las demandas evapotranspirativas, permitan ser más eficientes en el uso del agua de riego.

La estrategia de riego propuesta contempla el uso del método por goteo, con frecuencia diaria, lo cual permite reducir el déficit hídrico del cultivo a un 0% en el período de desarrollo del fruto a cosecha, mediante el riego suplementario exclusivamente entre los meses de diciembre a abril, regando con agua de atrapanieblas, lo que representa un incremento de cosecha desde 0,85 kg por árbol a 6,2 kg por árbol, lo que significa una producción por hectárea de 10.335 kg por hectárea (1.667 árboles por hectárea).

La disponibilidad de agua generada por un atrapanieblas de 150 m², utilizada como suplemento de riego, genera un volumen suficiente para satisfacer las necesidades suplementarias utilizando esta metodología para 60 árboles.

Capítulo 7.

Análisis económico del uso de agua de atrapanieblas

Pedro Hernández P.

Ingeniero Agrónomo, M.B.A.
e-mail: phernandezperez@gmail.com

Francisco Tapia C.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.
e-mail: fatapiac@inia.cl

La disponibilidad actual de agua de riego que masivamente utilizan los pequeños olivicultores de Taltal, corresponde al agua que provee la empresa sanitaria, quién es la encargada de distribuir el agua potable para el sector urbano de la comuna. La competencia entre el uso humano y agrícola se refleja en el costo que ella tiene tanto para adquirirla, como para el traslado en camiones aljibe hasta los sectores donde se encuentran los huertos de olivo y de la oportunidad de uso.

La nueva fuente de agua que se genera al poner en funcionamiento un sistema de atrapanieblas con conducción directa hacia el lugar de uso, permitirá por una parte, utilizar el agua exclusivamente para riego agrícola y por otro lado, la disponibilidad que puede ser manejada en los períodos críticos de mayor demanda hídrica, donde el aporte del agua genera un incremento sustancial en la producción de olivas.

Ambas fuentes de agua serán consideradas para el cálculo de costos de uso de agua de riego, por un lado, la fuente tradicional utilizada y por otro la suma de ésta más el aporte del agua de riego proveniente del atrapanieblas, mediante la propuesta de gestión del uso de este recurso como fuente complementaria para satisfacer parte de las demandas hídricas del cultivo en la zona.

La evaluación económica se presenta mediante dos tipos de análisis, el primero es en base a comparar costos del agua de riego obtenida a través del atrapanieblas versus las sanitarias y el segundo en base a la productividad del agua.

7.1. Análisis comparativos del agua de riego para olivos en Taltal

La competitividad del valor económico del agua de niebla, en un lugar en particular, está determinado por el precio de mercado de otras alternativas disponibles en ese sitio. Metodológicamente, para comparar alternativas entre distintas opciones económicas, es utilizado el análisis de costo efectivo, el cual permite comparar alternativas mutuamente excluyentes en términos de una razón entre sus costos y una medida simple de efectividad. Sin embargo, la aplicación de esta metodología requiere una serie de supuestos, dentro de ellos es determinar la escala, ya que el precio de una determinada opción varía de acuerdo al tamaño del proyecto, es decir, a mayor escala de una iniciativa, disminuyen los costos unitarios de ésta. En particular en este caso en que existe una estructura piloto, correspondiente a un atrapanieblas, se obvia el tema escala y se asume que la evaluación corresponde sólo a un atrapanieblas de 150 m² de malla, con una capacidad de captura de agua de 94.806 litros por temporada.

Respecto a otras fuentes que pueden acceder los productores, con similares características de calidad del agua de niebla, es la que procede de la planta desalinizadora de agua de Taltal, a cargo de Aguas Antofagasta. De acuerdo, a los antecedentes del Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO) de la Ilustre Municipalidad de Taltal, indica que el agua procedente de esta fuente tiene un costo de siete pesos el litro.

Una segunda alternativa de obtención de agua dulce para uso agrícola presente en Taltal, es la existencia de una planta desalinizadora de agua, que se surte de vertientes salobres existentes en la zona y beneficiaría al sector El Hueso. En la actualidad esta alternativa no es viable, pues la planta aludida no se encuentra en operación.

Dado lo anterior se evalúan dos fuentes de agua mutuamente excluyentes:

- Fuente 1: Atrapanieblas con producción anual de agua de 94.806 litros.
- Fuente 2: Compra de agua a sanitaria local equivalente a 94.806 litros.

Para la selección de la fuente de agua, se ha tomado el enfoque "**costo-eficiencia**"; el objetivo de este enfoque es identificar aquella alternativa de solución, que presente el mínimo costo, para los mismos beneficios. Por lo tanto, para la evaluación no se valoran los beneficios, si no sólo sus costos involucrados.

El indicador utilizado bajo un enfoque costo eficiencia, resume todos los costos del proyecto, tanto de inversión, como de operación, mantención y conservación. Este indicador es el denominado **valor actual de costos, VAC** y se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$VAC = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

donde:
 I₀ : Inversión inicial
 C_t : costos incurridos durante el periodo t
 n : horizonte de evaluación
 r : tasa social de descuento (6%).

Es necesario indicar que esta evaluación es estrictamente económica, pero no hay que olvidar que una recomendación adecuada, no sólo involucra el cálculo de los indicadores económicos, sino además aspectos cualitativos, así como amenazas y oportunidades, entre otros; que van más allá de la presente evaluación.

Alternativa 1. Agua de riego generada por Atrapanieblas

La determinación del ciclo de captura de agua durante un año, se realizó utilizando medidores denominados Neblinómetros, los cuales presentan una estructura de malla que permite capturar un 25% menos que lo que actualmente captura el atrapanieblas instalado en el Cerro Perales, que es objeto de esta determinación, por lo tanto, se define para esto un volumen de captura anual de 94.806 litros de agua en una superficie de 150 m².

La conformación de la estructura de atrapanieblas y su instalación representa los mayores costos del agua que genera este sistema, los cuales se presentan en el **Cuadro 7.1.**

Cuadro 7.1. Costos por ítem de conformación y puesta en operación de un atrapanieblas de 150 m² de superficie (moneda a octubre de 2018).

Items	Costo (\$)
Materiales y estructuras	3.272.000
Transporte de materiales y equipos	450.000
Arriendo de equipos de construcción	200.000
Montaje y puesta en operación	1.700.000
Total	5.722.000

La operación y mantención del atrapanieblas representa montos variables, dependiendo de las contingencias climáticas y de los recambios de malla, para este caso se consideran cada siete años, con una vida útil de 15 años.

El costo económico de la instalación proyectado a 15 años y de su operación se presenta en el **Cuadro 7.2**.

Cuadro 7.2. Flujo de fondos de la inversión y operación de un atrapanieblas de 150 m². (m\$).

Ítem	Años								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8 a 15
Valor Inversión y costos	-5.722		-100		-100		-100	-400	-700

Alternativa 2. Agua de riego obtenida desde las sanitarias

Esta alternativa asume que se adquiere el agua en la misma cantidad que produce un atrapanieblas (96.806 L/anuales), cuyo costo de adquisición es de siete pesos por litro, valor con el cual se construye el flujo para un período similar de 15 años, presentado en el **Cuadro 7.3**.

Cuadro 7.3. Flujo de fondos atribuidos a la compra de agua de las sanitarias locales (m\$)

Alternativa	0	1	2	3	4	5	6	7	8 a 15
Adquisición agua camión aljibe		-664	-664	-664	-664	-664	-664	-664	-5.309

Selección de alternativas de acuerdo a los costos involucrados

El VAC de la alternativa 1 (Atrapanieblas) es de -\$6.768 pesos y de la alternativa 2 (Compra de agua) de -\$6.446 pesos, lo que indica que el costo del litro de agua proveniente de atrapanieblas es \$0,35 pesos superior por litro (\$7,35), a

lo que el agricultor compra en sanitaria local, siendo esta última opción la más recomendable desde el punto de vista económico. Sin embargo, para los volúmenes de agua empleados, las diferencias de costos son despreciables, por lo cual el análisis de este primer enfoque es marginal como criterio de selección.

7.2. Productividad del agua

A diferencia del análisis anterior, la siguiente evaluación económica tiene por objeto evaluar los **beneficios económicos** de las alternativas de fuentes que posee el productor y la combinación de éstas, considerando la productividad del agua en el cultivo de olivo.

La estrategia de riego comparativa que se utiliza para definir la productividad del agua, se basa en el aporte suplementario del abastecimiento de agua de riego en base a un manejo hídrico en permanente situación deficitaria. Para esto se han definido dos alternativas de uso de agua, las que se indican a continuación:

Manejo de riego tradicional. Evaluación de los beneficios económicos con la disponibilidad actual de agua proveniente de la sanitaria, que cubre el 20% de las necesidades del olivo.

Estrategia de riego suplementaria. Evaluación de los beneficios económicos con la disponibilidad actual de agua proveniente de la sanitaria local, suplementada con agua de atrapanieblas aportada en el período de mayor impacto en la producción de olivas (Tradicional + suplementario).

Es necesario establecer previo a este análisis, que los beneficios de la disponibilidad de agua de bajo contenido salino (inferior a 2 dS/m), se reflejan en los rendimientos de la producción de olivas. Esto significa que al suplir el 100% de la demanda de agua que presente el cultivo, la producción potencial alcanza al 100% si los factores productivos restantes no son limitantes.

En el área de estudio se presentan dos fuentes de agua, una de condiciones altamente salobres, cuya C.E. supera los 12 dS/m y la otra, de uso masivo que corresponde a agua adquirida a la empresa sanitaria, cuya calidad cumple con lo requerido para el riego de olivos.

El aporte de agua proveniente de la sanitaria, en promedio cumple el 20% de la demanda evapotranspirativa del olivo cultivado en estas condiciones, siendo particularmente crítica en verano, donde la oferta es la misma, pero la demanda atmosférica se incrementa, aumentando el déficit hídrico del cultivo, afectando la producción de olivas, la que en promedio no supera los 1,5 kg por árbol bajo estas condiciones.

La utilización combinada de la fuente de agua proveniente de atrapanieblas, la que se produce durante gran parte del año, y es almacenada para suplementar el abastecimiento en períodos críticos, es decir, para los meses de diciembre a abril, significa aumentar el aporte de agua de riego para satisfacer las demandas del cultivo cubriendo el 100% de la demanda evapotranspirativa en dicho período, mejorando con ello la producción de olivas la que en promedio alcanzan 6 kilogramos por árbol. La estrategia de riego, en la que se utiliza suplementariamente el agua de atrapanieblas, se presenta en el **Cuadro 7.4**.

Cuadro 7.4. Volumen de riego del olivo (L/árbol) obtenida por dos orígenes diferentes en dos períodos del año.

Alternativa	Origen del agua	Fuente	Agosto a noviembre	Diciembre a abril	Total período de riego
Tradicional	Servicios sanitarios	Permanente	244	302	546
Tradicional + suplemento	Servicios sanitarios	Permanente	244	302	546
	Atrapanieblas	Suplementaria	0	1.602	1.602
	Total agua		488	2.206	2.694

El riego suplementario tiene un efecto directo sobre la producción, siendo más notorio cuando los niveles de déficit son tan extremos como los que se presenta en las condiciones actuales de los huertos existentes en Taltal, que solo cubren el 20% de la demanda. En el **Cuadro 7.5**, se presenta la producción promedio encontrada en el ensayo de riego, poniendo las situaciones extremas que servirán para el cálculo de la productividad del agua utilizada en forma separada y total, definiendo los costos en función de los kilogramos de olivas producidos.

Cuadro 7.5. Producción de olivas según estrategia de riego suplementario propuesta para las condiciones de déficit hídrico de Taltal.

Estrategia de riego	Origen del agua	Volumen aplicado	Producción de olivas	Producción de aceite
		(L/árbol)	(L/árbol/año)	(kg/árbol)
Tradicional	Adquirido en SS	546	1,28	0,29
Tradicional + Suplemento	Adquirido en SS + Suplemento atrapanieblas	2.148	6,26	1,38

Los resultados de producción, tanto de olivas como de aceite, reflejan un incremento de cinco veces en la producción de olivas y de más de cuatro veces en aceite, en la situación donde se aplica riego suplementario con agua proveniente de la acumulación de la captura de atrapanieblas.

Desde el punto de vista de análisis económico, los beneficios atribuidos a la aplicación de agua, se presentan en el **Cuadro 7.6**.

Cuadro 7.6. Ingresos del uso del agua de riego en la producción de olivas y aceite de oliva (\$/L de aceite).

Estrategia de riego	Producción		Precio venta aceite (\$/L)	Ingresos producidos (\$)	Volumen de agua utilizado (L/árbol)	Beneficio por litro de agua utilizado	Productividad del agua (m ³ /kg olivas)
	olivas (kg/árbol)	aceite (L/árbol)					
Tradicional	1,28	0,29	20.000	5.888	546	10,8	427
Tradicional + suplemento atrapanieblas	6,26	1,38	20.000	27.544	2.148	12,8	343

El beneficio incremental al regar suplementariamente con agua proveniente de atrapanieblas es de \$21.656 por cada árbol en producción.

De ambos análisis se concluye finalmente una valoración económica positiva del uso del agua de atrapanieblas, principalmente por el aumento de la productividad que obtiene el productor de oliva y de aceite de oliva.

Un punto importante a considerar es lo referente a la creación de valor que puede tener para el consumidor el hecho que el productor utilice agua de riego obtenida a través del atrapaniebla en su sistema de producción, ya que genera una variable diferenciadora en la comercialización de su producto con respecto a su competencia.

Capítulo 8.

Conclusiones

Francisco Tapia C.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.
e-mail: fatapiac@inia.cl

Francisco Meza A.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.
e-mail: fmeza@inia.cl

La zona costera de la comuna de Taltal, presenta condiciones favorables para la captura de agua de niebla desde estructuras adecuadas instaladas a una altura de 900 metros sobre el nivel del mar.

La producción de agua de atrapanieblas más el riego aportado de fuente tradicional, permite regar 100 árboles satisfaciendo el 66% de la demanda evapotranspirativa, lo que representa una producción de 600 kilogramos de olivas, lo que en litros de aceite puede representar un ingreso de \$2.860.000.

El riego suplementario en período de crecimiento de las olivas desde inicio de endurecimiento de carozo hasta madurez, favorece el desarrollo de la pulpa, lo que facilita la operación de extracción en la almazara.

En las condiciones actuales de disponibilidad hídrica, considerando un uso masivo de atrapanieblas como suplemento del riego tradicional, no es aconsejable incrementar la superficie cultivada con olivos hasta que no se satisfaga el 100% de la demanda hídrica del olivo.

Las condiciones climáticas permiten el desarrollo del cultivo sin riesgo de heladas, quedando abierta la posibilidad de evaluar variedades diferentes a las presentes en la zona, de manera de enfocar la máxima demanda del olivo a períodos de menor demanda evapotranspirativa o extender el período de maduración para incrementar el rendimiento graso de sus variedades.

Las precipitaciones en las cantidades registradas, no deben ser consideradas como aporte para satisfacer la demanda hídrica del cultivo, por el contrario, cuando ellas ocurran, se debe poner en funcionamiento el riego, de manera de evitar el afloramiento de sales en zonas de raíces y evitar la intoxicación del olivo.

Los suelos presentan altos niveles salinos, sin embargo, cada elemento se encuentra en equilibrio, lo que permite el crecimiento de los olivos.

De las cuatro variedades estudiadas, Picual es la que mejor respuesta tiene a las condiciones agroecológicas existentes en el área de Taltal.

Capítulo 9.

Literatura consultada

- CENMA (Centro Nacional del Medio Ambiente). 2010.** S.I.T N° 207. Tomo III de V. Análisis de la Composición Físico Química de los Sedimentos Fluviales y su relación con la disponibilidad de metales en agua en la Cuenca del Río Choapa.
- Cereceda, P.; Schemenauer, R. S.; Suit, M. 1992.** An alternative water supply for chilean coastal desert villages. *International Journal of Water Resources Development*, 8(1):53-59.
- Cereceda, P.; Schemenauer R.; Valencia, R. 1992.** Posibilidades de abastecimiento de agua de niebla en la Región de Antofagasta, Chile. *Revista Geografía Norte Grande* 19: 3-14.
- Cereceda, P.; Larraín, H.; Velásquez, F.; Von Igel, B.; Egaña, I.; Osses, P.; Farías, M.; Pinto, R. 2004.** Caracterización del Clima de Desierto Costero y su relación con algunos Oasis de Niebla en Tarapacá, Chile. VIII Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra, Instituto Geográfico Militar, 2004.
- Cereceda, P; Hernández, P; Leiva, J; Rivera, J. 2014.** Agua de Niebla: Nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable de zonas áridas y semiáridas. Proyecto apoyado por CORFO: "La Niebla una fuente alternativa de recursos hídricos en zonas semiáridas, con sistemas de captación altamente eficiente y usos no tradicionales". 2011 - 2014. 132 p.
- De la Lastra, C. (2002).** Report on the fog-collecting project in Chungungo: Assessment of the feasibility of assuring its sustainability. International Development Research Centre (IDRC), Ottawa, Ontario, Canada. *Available In:* <http://www.rexresearch.com/fog/chile.pdf>

- Domen, J. K.; Stringfellow, W. T.; Camarillo, M. K.; Gulati, S. 2014.** Fog water as an alternative and sustainable water resource. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 16, 235-249. doi:10.1007/s10098-013-0645-z.
- González, S. 1983.** Contenido de metales pesados en el río Aconcagua. Simposio sobre contaminación ambiental orientado al recurso agua. INIA La Platina. Oct 1983. Pág 77-82.
- González, S. 1992.** Riesgo ambiental para los suelos de Chile. *Investigación y Progreso Agrícola*, IPA La Platina.
- Hernández, A. 1998.** Garoe, Iconografía del árbol del agua. *Estudios Prehispánicos*, Dirección General de Patrimonio Histórico, Gobierno de Canarias.
- Hoffman, G.; Howell, T.; Solomon, K. 1992.** Management of farm irrigation systems. *The American Society of Agricultural Engineers*. 1019 p.
- Katyal, J. C. y Randhawa, N. S. 1986.** Micronutrientes Indian Council of Agricultural Research Nueva Delhi India. FAO. Servicio de Fertilizantes y Nutrición de Plantas Dirección de Fomento de Tierras y Aguas.
- Larraín, H.; Velásquez, F.; Cereceda, P.; Espejo, R.; Pinto, R.; Osses, P.; Schemenauer, R. 2002.** Fog measurements at the site Falda Verde north of Chañaral compared with other fog stations of Chile. *Atmospheric Research*, 64, 273-284. doi:10.1016/S0169-8095(02)00098-4.
- Molina, P. X. y Vila, P. I. 2006.** Manual de Evaluación de la Calidad del Agua. CEN-MA, Lab. Limnología Universidad de Chile, Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).
- Nef, J. 2001.** An Assessment of the state of the fog-collecting project in Chungungo, Chile. Report of the Latin American and Caribbean Research Office (Montevideo) of the International development Research Centre (IDRC).
- Novoa, R.; Villaseca, S. 1989.** Mapa agroclimático de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, 1989, Texto 221 p.

- Orgaz, F.; Fereres, E. 2008.** Riego. En El Cultivo del Olivo. Barranco, Fernández-Escobar y Rallo editores científicos. Editorial Mundi-Prensa. 6ª edición.
- Romero, N; Saavedra, J; Tapia, F; Sepúlveda, B and Aparicio, R. 2015.** Influence of agroclimatic parameters on phenolic and volatile compounds of Chilean virgin olive oils and characterization based on geographical origin, cultivar and ripening stage. Journal of the Science of Food and Agriculture. Published online in Wiley Online Library: (wileyonlinelibrary.com) DOI 10.1002/jsfa.7127.
- Sadzawka, A. R. 1990.** Métodos de Análisis de Suelos. INIA La Platina Chile. Serie La Platina N° 16.
- Sepúlveda, G. y Tapia, F. 2018.** Aceituna de Azapa. Ediciones Universidad de Tarapacá, Arica-Chile 2018. 93 p.
- Sierra, C., Cespced, R. y Osorio, A. 2001.** Caracterización de la salinidad de los suelos y aguas del valle de Copiapó. Gobierno Regional de Atacama e Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Intihuasi. Boletín INIA N° 70, 32p.
- Tapia, F.; Astorga, M.; Ibacache, A.; Martínez, L.; Sierra, C.; Quiroz, C.; Larraín, P. y Riveros, F. 2003.** Manual del cultivo del olivo. 128 p. Boletín INIA N° 101. Instituto de Investigaciones Agropecuaria, Centro Regional del Investigación Intihuasi, La Serena, Chile.
- Tapia, F.; Mora, F. and Santos, A. 2009.** Preliminary evaluation of 29 olive (*Olea europaea* L) cultivars for production and alternate bearing, in the Huasco Valley, northern Chile. Chilean Journal of Agricultural Research 69(3):325-330 (July-September 2009).
- Tapia, F. 2013.** Huella hídrica en oliva. *En:* Determinación de la huella del agua y estrategia de manejo de recursos hídricos. 221 p. Serie Actas N°50. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi, La Serena, Chile.
- Tapia, F. 2017.** Riego del olivo. *En:* Manual de manejo de huerto de olivo. Boletín INIA N° 16, paginas 53-69.



Boletín INIA / N° 392
www.inia.cl

