

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA EL USO EFICIENTE DEL
AGUA EN UNA ZONA AGRÍCOLA DE LA VI REGIÓN DE CHILE.**

**DEVELOPMENT OF A FRAMEWORK FOR WATER USE EFFICIENCY IN A
AGRICULTURAL AREA, VI REGION, CHILE**

ÁNGELA JAVIERA BRAVO LIZANA

Santiago, Chile
2016

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA EL USO EFICIENTE DEL AGUA
EN UNA ZONA AGRÍCOLA DE LA VI REGIÓN DE CHILE.**

Memoria para optar al Título Profesional de:
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables

ÁNGELA JAVIERA BRAVO LIZANA

PROFESORES GUÍAS

CALIFICACIONES

Cristián Mattar Bader

7,0

Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, Dr.

PROFESORES EVALUADORES

Rodrigo Fuster Gómez

6,0

Ingeniero Agrónomo, M.S. Dr.

Roberto Hernández Aracena

6,7

Prof. de Estado en Historia, Geogr. y Educ. Cívica, Mg. Sc.

Santiago, Chile
2016

AGRADECIMIENTOS

Quisiera partir agradeciendo y dedicando esta memoria a mi familia, en especial a mis padres Angélica y Carlos, y a hermana Carolina, por el amor y apoyo incondicional que me han entregado toda la vida. A mis hermanos pequeños, la Karla y el Felipe, por darme tantas alegrías y hacerme creer en un mundo mejor.

A la vez, quisiera agradecer a todos quienes han sido parte de mi formación como persona y profesional; a los profesores del colegio, la universidad y la vida, por dedicar su existencia a entregar conocimientos, a aquellos que sin dudar me ayudaron con la tesis como el Ignacio Lobos, Julián Cabezas, Isa Garrido, Vivianne Claramunt, Valentina Gallegos, Mari Pez Valenzuela, Edgardo Vargas, JuanPa Watkins, Sebastián Valdivia, a mis amigos de la universidad por todo el aprendizaje y alegría entregada, en especial a Ignacio Montenegro por ser mi compañero tiempo atrás, a mis amigos del Huerto Popular Observatorio al Sur por la dedicación y sabiduría, a mis amigos del colegio como son los cabros del Instituto Nacional y las grandes mujeres que conocí en el Carmela Carvajal, por muchos años de amistad y experiencias, así como también a los amigos de la vida que siguen siendo parte de la mía, como los que ya no. Sin duda, todas las personas que he conocido a lo largo del tiempo, me han entregado cosas muy valiosas que he incorporado a mi persona.

También quisiera agradecer al Laboratorio para el Análisis de la Biósfera (LAB), así como al proyecto Conicyt - Fondecyt Iniciación 11130359 “Estimating the surface soil moisture at regional scale by using a synergic optical-passive microwave approach and remote sensing data”, que hizo posible la realización de esta memoria. Por contribuir en el quehacer científico, así como en la resolución de problemas ambientales y humanos. Y más que nada por permitir desarrollarme como profesional, con el apoyo incondicional y lleno de conocimientos de mi profesor guía Cristian Mattar. En este sentido, conocí un grupo humano muy valioso en el LAB, y me gustaría dar las gracias a la Clau Olivares, Nico Leiva, Carito Rivera, Diego Uribe, Andrés Santamaría, Tomy Acuña, Dager Borvaran y principalmente al Lucho Olivera, por ayudarme en la realización de este trabajo.

Por otra parte, quisiera dar las gracias a aquellos agricultores que accedieron a ser parte de mi investigación, creo que haber entregado de forma desinteresada su tiempo es muy valorable. También quisiera reconocer la labor de Marcia, que fue la integrante de INDAP que me ayudó con su influencia en la realización de las entrevistas, y en general reconocer a la labor de todos quienes fueron parte de este trabajo.

Finalmente y no sin menos importancia, quisiera agradecer a la música, por acompañarme desde principio a fin, desde muy temprano a altas horas de la madrugada, desde el funk al rock (pasando por un sinfín de estilos musicales entre medio), entre otras cosas. Sin duda, sin ella hubiese sido muy difícil lograrlo.

ÍNDICE

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Objetivo General.....	13
1.2. Objetivos Específicos.....	13
2. ANTECEDENTES	14
2.1. Importancia y Estado Actual del Agua.....	14
2.2. Eficiencia en el Uso del Agua.....	16
2.3. EUA en el Contexto Nacional.....	22
2.4. Transferencia Tecnológica.....	27
2.5. Transferencia Tecnológica en Chile.....	34
3. MATERIALES Y MÉTODOS	38
3.1. Área de estudio.....	38
3.2. Materiales.....	39
3.2.1. Entrevista.....	39
3.2.2. Datos de Teledetección.....	39
3.2.2.a. Producto TBL3 de SMOS.....	39
3.2.2.b. Productos MOD11A1 y MOD11A2 de MODIS.....	39
3.2.2.c. Producto MOD13A2 de MODIS.....	40
3.2.3. Datos <i>in-situ</i> de la Estación LAB-net.....	40
3.2.3.a. Datos climatológicos.....	40
3.2.3.b. Estimación de la Evapotranspiración de Referencia diaria.....	41
3.3. Método.....	42
3.3.1. Objetivo 1: Identificar las necesidades de los usuarios.....	42
3.3.1.a. Método Mixto.....	42
3.3.1.b. Entrevista Estructurada.....	42
3.3.1.c. Elección de muestra de la población.....	43
3.3.1.d. Trabajo de campo.....	44
3.3.1.e. Análisis de la información.....	44
3.3.2. Objetivo 2: Caracterizar la dinámica hídrica del área de estudio.....	47
3.3.2.a. Humedad del Suelo desde SMOS.....	47
3.3.2.b. Vigor de Vegetación desde MODIS.....	47
3.3.2.c. Precipitación y Humedad del Suelo desde LAB-net.....	47
3.3.2.d. Temperaturas (estrés hídrico v/s heladas) desde LAB-net y MODIS.....	48
3.3.2.e. Evapotranspiración de Referencia diaria.....	48
3.3.3. Objetivo 3: Generar una propuesta de uso sustentable del agua.....	52
3.3.3.a. Análisis estadístico.....	52
3.3.3.b. Clasificación de imágenes.....	54

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
4.1. Resultados.....	56
4.1.1. Entrevista.....	56
4.1.1.a. Dimensión cuantitativa.....	56
4.1.1.b. Dimensión cualitativa.....	58
4.1.2. Caracterización de la dinámica hídrica.....	60
4.1.2.a. Humedad del Suelo desde SMOS.....	60
4.1.2.b. Vigor de Vegetación desde MODIS.....	60
4.1.2.c. Precipitación y Humedad del Suelo desde LAB-net.....	61
4.1.2.d. Temperaturas (estrés hídrico v/s heladas) desde LAB-net y MODIS.....	62
4.1.2.e. Evapotranspiración de Referencia diaria.....	62
4.1.3. Propuesta de Uso Sustentable del Agua.....	67
4.1.3.a. Análisis estadístico.....	67
4.1.3.b. Prioridad en el Uso del Agua.....	68
4.2. Discusión.....	72
5. CONCLUSIONES.....	75
6. BIBLIOGRAFÍA.....	76
7. APÉNDICES.....	92
Apéndice 1. Esquema de entrevista a realizar en terreno basada en FAO y ODEPA.....	92
Apéndice 2. Filtro DQX para datos satelitales de Humedad de Suelo de SMOS.....	97

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Categorización Sección 1.....	45
Cuadro 2. Categorización Sección 2.....	45
Cuadro 3. Categorización Sección 3.....	45
Cuadro 4. Categorización Sección 4.....	45
Cuadro 5. Categorización Sección 5 y 6.....	45
Cuadro 6. Categorización Sección 7.....	46
Cuadro 7. Categorización Sección 8.....	46
Cuadro 8. Análisis Cualitativo.....	46
Cuadro 9. Variables, unidades, datos e instrumentos utilizados en la estimación de ET0...49	49
Cuadro 10. Valores para Cn y Cd.....	52
Cuadro 11. Principales Resultados de las Entrevistas.....	56
Cuadro 12. Matriz de Relaciones para códigos a partir de elementos comunes.....	59
Cuadro 13. Agrupaciones de <i>clusters</i>	67
Cuadro 14. Zonas prioritarias para el uso del agua.....	70

Índice de Figura

Figura 1. Extracción de agua a escala mundial.....	15
Figura 2. Diferentes tipos de cálculo de la eficiencia del uso del agua, en función de la disciplina científica, la escala temporal y espacial.....	17
Figura 3. Balance de agua en el suelo de la zona radicular.....	18
Figura 4. Mecanismos de Transferencia Tecnológica.....	28
Figura 5. Modelo de transferencia tecnológica “Contingent Effectiveness Model of Technology Transfer”.....	29
Figura 6. Modelo Farmer-back-to-farmer.....	30
Figura 7. Modelo de los Sistemas de Tecnología Agrícola.....	31
Figura 8. Multidimensional Model of Agricultural Technology Transfer to the Public Sector.....	32
Figura 9. Modelo para un Sistema de Extensión y Transferencia Silvoagropecuaria.....	35
Figura 10. Área de estudio.....	38
Figura 11. Series de Precipitación (LAB-net), Humedad del Suelo (SMOS y LAB-net) y NDVI (MODIS).....	64
Figura 12. Temperaturas (LAB-net y MODIS) y NDVI (MODIS).....	65
Figura 13. Evapotranspiración de Referencia (ET0) diaria, Radiación Neta (LAB-net) y Flujo de Calor del Suelo (LAB-net).....	66
Figura 14. Gráficos ANOVA.....	67
Figura 15. Límite correspondiente al área de estudio (A) y Análisis de conglomerados (B).....	68
Figura 16. Filtraje post-clasificación NDVI (A) y Distancia al río Tinguiririca cada 3 km (B).....	69
Figura 17. Clasificación NDVI y distancia al río (34 clases) (A) y Zonas prioritarias (10 clases) (B).....	70

RESUMEN

El agua es un componente esencial para el desarrollo de la vida en la Tierra, ya que garantiza la sostenibilidad de los ecosistemas y suministra las bases para la satisfacción de necesidades humanas. A escala mundial la extracción de agua está representada en un 12% por el uso doméstico, en un 19% por el uso industrial y en un 69% por la agricultura, generándose conflictos de uso y sobreexplotación del recurso. Es por esto que la Eficiencia en el Uso del Agua (EUA), es un concepto que cada vez toma mayor protagonismo en la gestión hídrica, ya que plantea la reducción del consumo o de la intensidad de uso por medio de variables técnicas, organizativas, jurídicas y económicas. En este sentido, la teledetección permitiría entregar información técnica relevante sobre el estado hídrico de los cultivos, como humedad de superficie y evapotranspiración. Parámetros claves que regulan el balance de agua y energía en la superficie, y que pueden ser fácilmente asimilados para la optimización de la EUA. Con el objetivo de generar una propuesta de manejo sustentable del agua en un escenario agrícola de escasez hídrica en la VI Región de Chile, se propone generar las bases para el establecimiento de una cadena de transferencia tecnológica, que permita llevar información útil a los usuarios de manera rápida y eficiente, permitiendo lograr una aplicación real en el manejo de los recursos hídricos. Para esto, en primera instancia se procedió a identificar por medio de técnicas de investigación social, las problemáticas de los agricultores en relación a los requerimientos hídricos de sus cultivos, para posteriormente caracterizar la dinámica hídrica del área de estudio, por medio de datos satelitales e *in-situ* (LAB-net). En base a estos datos se generó una cartografía de clasificación de riego, que permitiría priorizar el uso del agua según el tipo de cobertura del suelo. Sin embargo, se argumenta la necesidad de adaptar dicha clasificación a un *landcover*, con el fin de mejorar la resolución espacial resultante en dicha cartografía, de manera de hacer útil la información satelital a contextos locales y aportar a la gestión hídrica sustentable en cuencas.

Palabras clave: Eficiencia en el Uso del Agua, Transferencia Tecnológica, Teledetección, Escasez Hídrica, Gestión Hídrica Sustentable.

ABSTRACT

Water is a key to the development of life on Earth. It grants ecosystem sustainability and is the basis for satisfying human needs. On global scale, 12% of all water extraction represents domestic use, 19% industrial use and 69% agricultural. Between these, conflicts regarding water use and depletion arise. This is why Water Use Efficiency (WUE), is a concept that is emerging with great force in hydric resource management. WUE concept conceives water consumption and use intensity reduction through technical, organizational, judicial and economic variables. In this sense, remote sensing might give relevant technical information regarding water conditions of crops like surface moisture and evapotranspiration, both key parameters for plant water and energy balance that are easily obtained and can be optimized to obtain WUE. In regards to the need for generating an approach for sustainable water management, in an agricultural scenario of water shortage in the VI Region of Chile, this study proposed to build the foundation for a technology transfer chain that would deliver information to users quickly and efficiently for real applications in hydric resource management. First we proceeded to identify, through social research techniques, main problems farmers had in relation to the water needs of their crops and then characterized the hydrodynamics of the study area, using satellite data and in-situ (LAB-net). Based on these data the classified mapping of irrigation was generated, in function of the water use prioritization according to land cover type. There's a need to adapt this classification to a *landcover*, in order to improve spatial resolution resulting, so as to make the satellite information useful locally and contribute to sustainable water basin management.

Key words: Water Use Efficiency, Technology Transfer, Remote Sensing, Water Scarcity, Sustainable Water Management.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un componente esencial para el desarrollo de la vida en la Tierra, así como su distribución en el espacio-tiempo y los distintos usos que se le pueda dar (Jia y Shao, 2013). Esto cobra especial importancia en términos ambientales, ya que el agua garantiza la sostenibilidad de los ecosistemas por medio de la regulación del ciclo hídrico (Gordon *et al.*, 2010; Willaarts *et al.*, 2012), y al mismo tiempo, suministra las bases para la satisfacción de necesidades humanas, como son la actividad industrial, los asentamientos urbanos y la agricultura (Bates *et al.*, 2008; UNESCO, 2013).

A escala mundial, la extracción de agua es representada en un 12 % por el uso doméstico, en un 19% por el uso industrial y en un 69% por la agricultura (FAO, 2014). Estos usos estarían en constante competición por el acceso al recurso hídrico, generando conflictos de uso y sobreexplotación del recurso (Matos *et al.*, 2013; Sultana *et al.*, 2014), situación que además se agrava con las predicciones del cambio climático (Bascopé, 2013; Valdés-Pineda *et al.*, 2014). Es por esto que el concepto de “Escasez Hídrica”, que hace referencia a la falta física de agua disponible para satisfacer la demanda, el desarrollo de infraestructura y la capacidad institucional, plantea nuevos desafíos en términos del uso eficiente del agua (FAO, 2013). En donde la gestión del recurso a escala de cuenca es fundamental, así como el desarrollo de nuevas tecnologías que optimicen el uso de ésta, contribuyendo a disminuir la vulnerabilidad del sector agrícola frente al cambio climático global (Iglesias y Garrote, 2015).

La Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) refleja las interacciones entre los ciclos del agua y del carbono (Zhu *et al.*, 2015). La explicación de esto es que tanto la fotosíntesis (entrada de CO₂ en la planta), como la transpiración (salida de agua desde la planta), se producen al mismo tiempo por medio de la apertura estomática de las hojas, lo que permite que estos procesos sean más o menos proporcionales (FAO, 1997; Medrano *et al.*, 2007). Este concepto a la vez hace referencia al aumento de la productividad del agua, a través de la reducción de la intensidad de uso, la contaminación y el impacto socio-ambiental, por medio de la eficiencia técnica, organizativa, jurídica y económica (Cruz y Bielsa, 2001; UNEP, 2014). Desde un punto de vista cuantitativo, la EUA depende de la disponibilidad y demanda hídrica de una cuenca, ya que en función del agua almacenada en ésta, es decir disponible para satisfacer ciertos usos, la EUA aumenta al actuar sobre la regulación de los usos consuntivos. Sin embargo, cualitativamente también es necesario actuar sobre la calidad del agua, por medio de la regulación de los usos consuntivos y no consuntivos (Cruz y Bielsa, 2001).

La EUA se define de múltiples maneras y depende de la escala de evaluación; a nivel de ecosistema, esta se puede determinar a través de la Productividad Primaria Bruta (PPB), de la Productividad Primaria Neta (PPN) y de la Producción Neta del Ecosistema (NEP) (Tian *et al.*, 2010). A escala de predio agrícola, la EUA relaciona la cantidad de masa agrícola producida (kg) por cantidad de agua aplicada (m³) (Fan *et al.*, 2014). Sin embargo,

también es posible analizar la EUA entre el agua transpirada por cultivo (gr), en función de la materia seca producida (gr). En base a estas definiciones, la eficiencia es mayor al producir más materia por gramo de agua transpirado (Aspiazú *et al.*, 2010). Es así como el concepto de EUA, es un desafío para asegurar la sustentabilidad agrícola en el mundo y por ende siendo necesario adaptar esta temática al país (Medrano *et al.*, 2015).

Chile ha sido clasificado como vulnerable frente al cambio climático, en donde el aumento creciente de la demanda de agua supone un mayor riesgo de sequía (Meza *et al.*, 2011). Sin embargo se han implementado variadas medidas que hacen frente a esta situación, tal como el Plan Nacional para la Sequía (BCN, 2015), el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (MMA, 2014), la Estrategia Nacional de los Recursos Hídricos 2012-2025 (MOP, 2013) y la Política Nacional para los Recursos Hídricos 2015 (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015), entre otros. Estas medidas procuran una reducción de riesgo ante eventos climáticos extremos, estabilidad en la producción agrícola local y concientización política de la situación, es decir, se espera que las instituciones, las comunidades y los sistemas agrícolas tengan mayor capacidad de resiliencia frente a amenazas climáticas (Meza *et al.*, 2010; Meza *et al.*, 2011, ASAGRIN, 2011).

En relación al marco normativo nacional del agua en Chile, es el Código de Aguas de 1981 el cual se hace cargo de la regulación del recurso hídrico, evidenciando claras directrices de fortalecimiento de la propiedad privada (Gómez-Lobo y Paredes, 2001). Este Código permite que la gestión del recurso sea llevada a cabo a través de un mercado de aguas bajo el concepto de “Derechos de Aprovechamiento de Agua”, los cuales son entregados a perpetuidad (Donoso, 2008). Por otra parte, existen otros marcos legales que se hacen presentes en la gestión del recurso hídrico. Estas normativas son llevadas a cabo principalmente a través de la Comisión Nacional de Riego (CNR) y el Ministerio de Obras Públicas (MOP), que tiene bajo su tutela a la Dirección General de Aguas (DGA), la Dirección de Obras Públicas (DOH) y la Superintendencia de Agua y Saneamiento (SISS) (Valdés-Pineda *et al.*, 2014). Sin embargo, existen más instituciones públicas y privadas vinculadas a la gestión del agua, las cuales tienen poderes superpuestos y sin instancias formales de organización (Banco Mundial, 2011; Banco Mundial, 2013; MOP, 2013). Esto genera dificultades en la generación de planes coordinados entorno al recurso y por ende en la gestión hídrica sustentable de la cuenca (Gómez-Lobo y Paredes, 2001; Valdés-Pineda *et al.*, 2014).

Esta realidad genera incertidumbre en el sector agrícola del país, afectando directamente a aquellos agricultores que no han podido implementar tecnologías de eficiencia de riego e intensificando el problema en términos de seguridad alimentaria (Meza *et al.*, 2010; Green *et al.*, 2010; Iglesias y Garrote, 2015). Sin embargo, existen diversas técnicas basadas en teledetección y telemetría que se pueden orientar a agricultores, permitiendo mejorar la gestión del recurso hídrico. Estas tecnologías están basadas en la entrega de información sobre el estado hídrico de los cultivos, como humedad de superficie y evapotranspiración. Parámetros claves que regulan el balance de agua y energía en la superficie y pueden ser

fácilmente asimilados para la optimización del riego (Sobrino *et al.*, 2013; Mattar *et al.*, 2014; Oliver-Guerra *et al.*, 2014). A pesar de estos avances en teledetección y telemetría, es necesario generar una cadena de transferencia tecnológica que permita llevar la información a los usuarios de manera rápida y eficiente, con el fin de lograr una aplicación real en el manejo de los recursos hídricos. Es por esto que el objetivo de esta memoria es desarrollar una propuesta de manejo sustentable del agua en el sector agrícola, que rescate las necesidades de los agricultores y permita generar transferencia tecnológica en un escenario de escasez hídrica en la VI región de Chile, con el fin de generar las bases de un futuro manejo y gestión sustentable del agua en la cuenca.

1.1. Objetivo General

Desarrollar una propuesta de manejo sustentable del agua en un escenario de escasez hídrica, en una zona agrícola de la VI Región de Chile.

1.2. Objetivos Específicos

1. Identificar las necesidades de los usuarios en relación a los requerimientos hídricos de los cultivos ubicados en la zona de estudio.
2. Caracterizar la dinámica hídrica del área de estudio, a partir de datos de teledetección e *in-situ*.
3. Generar una propuesta de manejo sustentable del agua en el sector agrícola, incorporando las necesidades de los usuarios, así como las tecnologías disponibles.

2. ANTECEDENTES

2.1. Importancia y Estado Actual del Agua

El agua es un componente esencial para la existencia de vida en la Tierra (Falkenmark, 2003, Kerr, 2007). A través del ciclo hidrológico, este vital componente desempeña múltiples funciones en las dinámicas de la biosfera, permitiendo nutrir y sostener a los ecosistemas (Gordon *et al.*, 2009; Falkenmark, 2003). En donde el contenido de agua del suelo juega un rol fundamental, ya que interviene en los procesos meteorológicos y climáticos a gran escala, por medio de la distribución de las precipitaciones en tasas de infiltración, escorrentía, evaporación y transpiración (Brocca *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2007; Seneviratne *et al.*, 2010). Es así que la humedad del suelo es clave en un escenario de cambio climático, debido a su dependencia en factores como temperatura y precipitación, siendo un potencial indicador de sequías (Leiva, 2012). El agua también relaciona los flujos de energía entre el suelo y la atmósfera a través de la evapotranspiración, variable crítica en el ciclo hidrológico que entrega a la atmósfera más del 60% del agua recibida por la precipitación, dotando de gran importancia su precisa cuantificación tanto para la producción agrícola, como para evaluar la sostenibilidad de los ecosistemas (García *et al.*, 2011). En base a esto, el recurso hídrico cuantitativa y cualitativamente es un factor determinante para el vínculo entre ecosistemas y sociedades, ya que nutre los sistemas naturales, permitiendo que éstos suministren bienes y servicios al ser humano (Bergkamp *et al.*, 2003; Falkenmark, 2003; UNESCO, 2003; Bates *et al.*, 2008; UNESCO, 2013). Se aproxima que a escala mundial, la extracción de agua estaría representada en un 12 % por el uso doméstico, en un 19 % por el uso industrial y un 69% por el uso agrícola (figura 1) (FAO, 2014). Sin embargo, sólo un 2,53% del total de agua del planeta es agua dulce, de la cual sólo un tercio queda disponible para todos estos usos (FAO, 2002). Además, existe un aumento constante del consumo hídrico, en parte debido a la mejora en los niveles de vida, el crecimiento poblacional y la satisfacción de todos los usos asociados al hombre, lo que conlleva a una demanda creciente del recurso y por ende a una crisis del agua (UNESCO, 2003; Escorihuela, 2013). Esta realidad junto a las prácticas agrícolas inadecuadas, la deforestación, la contaminación y en general las malas prácticas en los diferentes usos del recurso hídrico, generan escenarios de escasez hídrica que permiten la afloración instantánea de conflictos y sobreexplotación del recurso, impactando directamente en el bienestar humano y la sostenibilidad de los ecosistemas (Matos *et al.*, 2013; Sultana *et al.*, 2014; UNESCO, 2015).

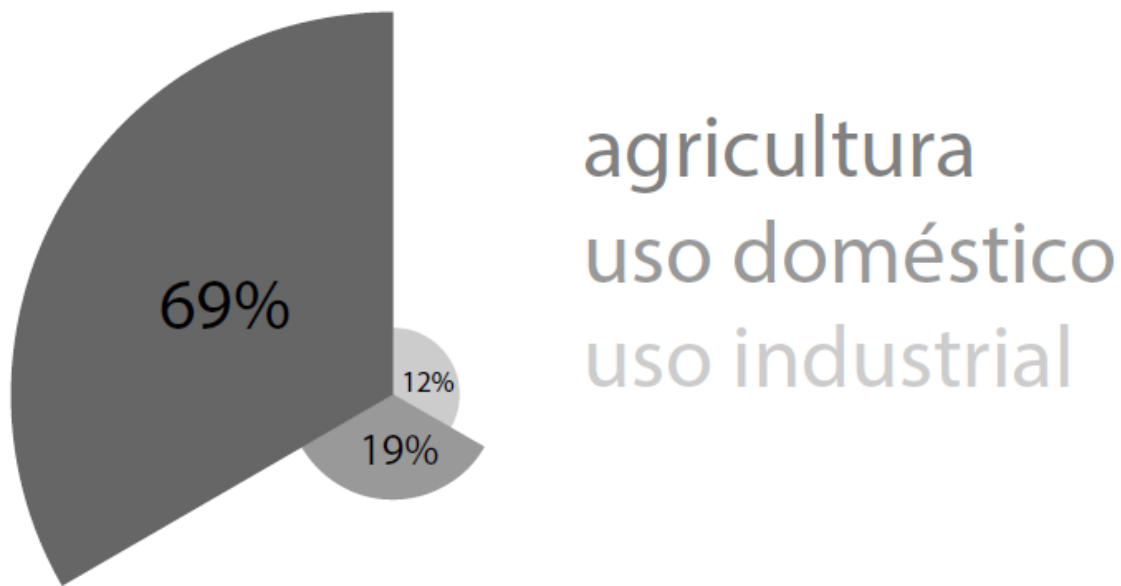


Figura 1. Extracción de agua a escala mundial (elaboración propia, 2015).

Esta situación se agrava aún más con las predicciones del cambio climático, las cuales advierten el aumento de las temperaturas medias, disminución de precipitaciones en zonas mediterráneas, aumento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos como las sequías, aumento en la altitud de la isoterma 0°C y en consecuencia menor disponibilidad de agua para todos los usos (UNESCO, 2003; Bascopé, 2013; Valdés-Pineda *et al.*, 2014; Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015). En esta misma línea, se prevé que para el año 2050 la demanda hídrica global aumentaría en un 55%, lo que intensificaría gravemente la actual crisis mundial del agua. Es por esto que es fundamental el control hídrico que ejerce actualmente la humanidad, ya que sus impactos en los ecosistemas y en las sociedades son inevitables (UNESCO, 2015). Es así, que el agua es parte de las tres dimensiones del desarrollo sostenible -o sustentable-, lo social, económico y ambiental, colocando de manifiesto la necesidad de lograr una equidad social, en base a un desarrollo económico que proteja ambientalmente al recurso hídrico (Escorihuela, 2013; UNESCO, 2015). En base a lo anterior, surge un concepto que pretende enfrentar dicha crisis mundial del agua, que se materializa como Eficiencia en el Uso del Agua.

Este concepto es considerado para algunos como una nueva ciencia y plantea un cambio de paradigma en la gestión y uso de los recursos hídricos, abordándola desde diferentes miradas, con un enfoque ecosistémico y enfrentando el desafío de lograr la sostenibilidad ambiental de los sistemas, por medio de la reducción del consumo – o un consumo más eficiente- y sus impactos ambientales asociados (Gadanakis *et al.*, 2015), permitiendo así reducir la escasez hídrica y la vulnerabilidad de las sociedades, ante las proyecciones climáticas y sociales (Bergkamp *et al.*, 2003; Escorihuela, 2013; UNEP, 2014).

2.2. Eficiencia en el Uso del Agua

La Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) es un concepto que ha surgido en el contexto de la escasez hídrica y en consecuencia de la tolerancia a la sequía (Bergkamp *et al.*, 2003; Passioura, 2006). Este concepto hace referencia al aumento de la productividad del agua, por medio de componentes técnicas, organizativas, jurídicas y económicas (Cruz y Bielsa, 2001; UNEP, 2014). Es por esto que se puede definir de múltiples maneras, supeditándose al enfoque y escala de evaluación (Medrano *et al.*, 2007; Boutraa, 2010; Gadanakis *et al.*, 2015).

A escala de cuenca, la EUA dependerá de la disponibilidad y demanda hídrica de ésta, ya sea en usos consuntivos, que es el consumo total del agua extraída para cualquier actividad, o no consuntivos, que es aquel uso que permite emplear el agua sin consumirla y posteriormente restituirla (Ministerio de Justicia, 1981). En donde la eficiencia aumentará desde una mirada cuantitativa, cuando se actúa sobre los usos consuntivos. Sin embargo, será necesario mantener una buena calidad del agua, por medio de la regulación de todos los usos (Cruz y Bielsa, 2001).

A escala de planta, la EUA puede definirse como:

$$EUA = \frac{F}{T} \quad (1)$$

donde F es la Tasa Fotosintética Neta de CO_2 [$\mu\text{mol CO}_2$], y T es la Transpiración [$\text{mol H}_2\text{O}$], que básicamente es la cantidad de dióxido de carbono fijado por unidad de agua, reflejando las interacciones entre los ciclos del agua y el carbono (Figuroa y Redondo, 2007; Medrano *et al.*, 2007; Zhu *et al.*, 2015). En esta definición, el crecimiento de la vegetación está directamente relacionado con la cantidad de agua transpirada, ya que valores altos de EUA indican que se logra producir mayor cantidad de biomasa con un menor uso del agua (Medrano, 2007; Blum, 2009). De esta forma se permite conocer la eficiencia de las distintas especies vegetales en relación al uso de los recursos hídricos (Figuroa y Redondo, 2007), ya que tanto la fotosíntesis como la transpiración, son transformaciones complejas y no únicas que se producen al mismo tiempo, en función de la apertura estomática de las hojas, permitiendo que ambos procesos sean proporcionalmente similares (FAO, 1997; Figuroa y Redondo, 2007; Medrano *et al.*, 2007; Blum, 2009).

A escala foliar la EUA puede calcularse de la siguiente manera:

$$\frac{C_a(1 - C_i/C_a)}{1.6v} \quad (2)$$

donde C representa la concentración de CO_2 [$\mu\text{mol mol}^{-1}$], el subíndice i hace referencia al espacio intercelular de la hoja, el subíndice a se refiere al ambiente fuera de la hoja, v es la diferencia en la concentración de vapor de agua entre a e i [$\mu\text{mol mol}^{-1}$] y 1.6 es la relación de la conductancia estomática de vapor de agua y CO_2 (Ponton *et al.*, 2006).

En la aplicación, la EUA significa optimizar la captura de humedad del suelo en favor de la transpiración, por medio de diversas técnicas (FAO, 1997; Blum, 2009). En base a esto, la EUA dependerá de las características propias de la especie, como aquellas que se relacionen con la capacidad de optimización de los procesos de asimilación de carbono y evapotranspiración, así como de las características del ambiente en que crece y se desarrolla la planta (Medrano *et al.*, 2007). Existirían dos formas de incrementar la EUA, fijando más carbono por unidad de agua transpirada y reduciendo las pérdidas de agua en la vegetación. Para esto se pueden utilizar técnicas de selección reproductiva, manipulación genética y modificaciones microclimáticas (Wallace, 2000).

La EUA puede ser considerada en función de diversas escalas, como puede ser en una cuenca, a escala planta o partes de ésta, y a la vez a partir de diversos enfoques, como puede ser en un ecosistema o en un cultivo (Figura 2).

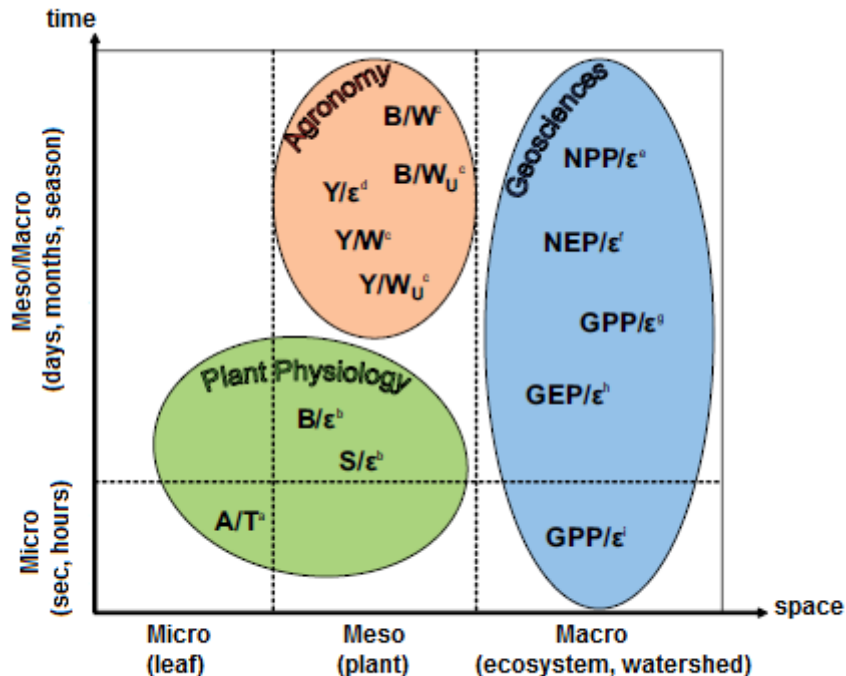


Figura 2. Diferentes tipos de cálculo de la eficiencia del uso del agua, en función de la disciplina científica, la escala temporal y espacial (adaptada de Kuglitsch *et al.*, 2008).

A nivel de ecosistema la EUA puede evaluarse a través de la Productividad Primaria Bruta (PPB), de la Productividad Primaria Neta (PPN) y de la Producción Neta del Ecosistema (NEP). Sin embargo, esta última es compleja debido a los múltiples factores ambientales que influyen en un ecosistema a gran escala (Tian *et al.*, 2010). A escala de predio agrícola, la EUA es la cuantificación de una salida relativa de agua, a partir de una entrada dada a través de las precipitaciones y el riego (FAO, 1997; Gadanakis *et al.*, 2015). En donde las salidas son representadas por la infiltración y percolación profunda del suelo, fugas de los sistemas de almacenamiento y transporte de agua, la evapotranspiración y la

escorrentía, en efecto es un balance hídrico del sistema (Figura 3) (FAO, 1997; Wallace, 2000; Medrano *et al.*, 2007; Hamdy, 2007; Blum, 2009; Gadanakis *et al.*, 2015). En donde la ecuación de balance hídrico (Miranzadeh *et al.*, 2011) es:

(3)

$$\Delta S = (P + I + SG) - (D + R) - ET$$

donde P son las lluvias estacionales [mm], I es el riego [mm], SG es la contribución de las aguas subterráneas a la planta [mm], D es el drenaje [mm], R es la escorrentía superficial [mm], ET es la evapotranspiración [mm] y ΔS es la variación de agua almacenada en el suelo desde la superficie a 200 cm de profundidad de la zona radicular [mm].

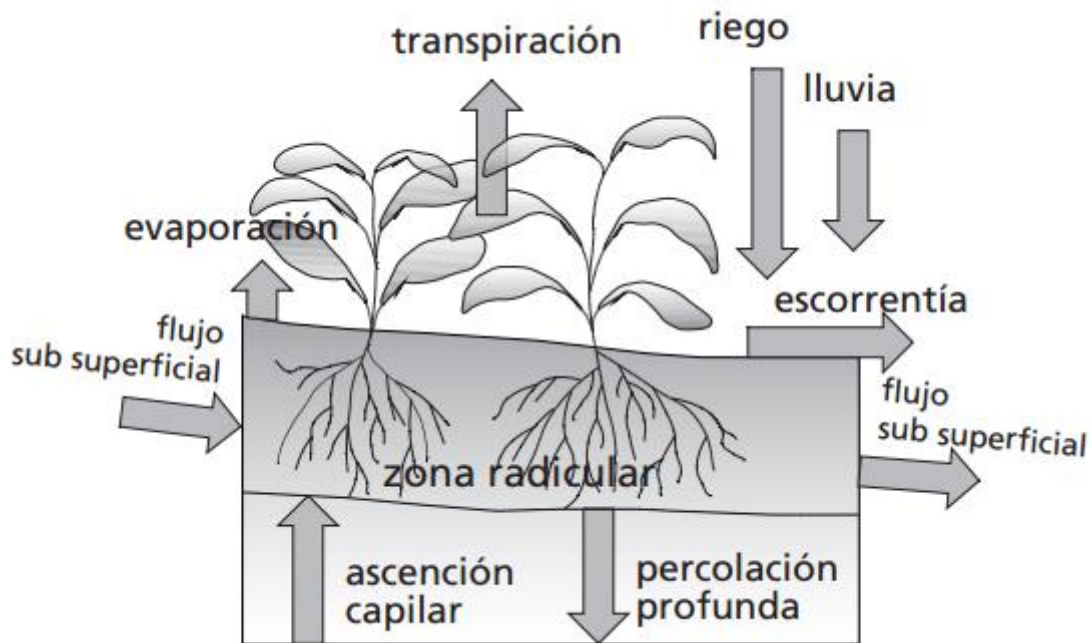


Figura 3. Balance de agua en el suelo de la zona radicular (adaptada de Allen *et al.*, 2006).

También es posible definir la EUA en cultivos como, la cantidad de masa agrícola producida por cantidad de agua aplicada (Fan *et al.*, 2014), como se expresa en la siguiente ecuación:

(4)

$$EUA = \frac{M}{A}$$

donde M es el total de materia seca [Kg] y A es el agua aplicada al predio [ha cm³] (Boutraa, 2010). No obstante, la EUA debe considerar a la vez la escala temporal de evaluación, que básicamente es el período de tiempo en que se mide la EUA (Medrano *et al.*, 2007), añadiendo una importante complejidad tanto a la medida como a la interpretación fisiológica, ecológica, económica, jurídica, técnica y social de este

parámetro, siendo fundamental analizar la EUA desde un enfoque multidimensional (Medrano *et al.*, 2007; Hamdy, 2007; Boutraa, 2010).

En relación a la componente socio-económica, la Eficiencia en el Uso del Agua se basa principalmente en la maximización del rendimiento comercial por unidad de agua utilizada (FAO, 1997; Hamdy, 2007; Gadanakis *et al.*, 2015; Pascual *et al.*, 2015) y se puede determinar como:

(5)

$$EUA = \frac{V}{W}$$

donde V es el valor monetario del suministro de agua [\$] y W es el agua aplicada al predio [m^3] (Ali, 2008). En esta componente, generalmente las decisiones de cuándo, cuánto y qué cultivo producir, el volumen y frecuencia de riego, y la tecnología a utilizar, están determinadas por la capacidad del agricultor en función de componentes sociales, económicas, organizativas, jurídicas y de gestión del recurso (Gadanakis *et al.*, 2015). Es por esto que la componente económica de la EUA, está fuertemente relacionada con la legislación y gestión entorno al agua que exista en el territorio, destacando la importancia de generar prácticas de uso eficiente, por medio del desarrollo de infraestructura y tecnificación, herramientas de organización y educación en favor de la conservación del recurso hídrico (Hamdy, 2007; Boutraa, 2010; Gadanakis *et al.*, 2015).

Por otra parte, para determinar técnicamente la EUA, existe una amplia diversidad de métodos, los cuales en su mayoría se basan en el cálculo de la evapotranspiración. La evapotranspiración (ET) es el proceso por medio del cual el agua es transferida desde la superficie terrestre hacia la atmósfera y se basa en dos procesos simultáneos difíciles de distinguir, que son la evaporación; proceso por el cual, el agua líquida se convierte en vapor de agua desde una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y vegetación húmeda, y la transpiración; que se puede definir también como el proceso que se basa en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de las plantas a la atmósfera, en donde son los estomas quienes regulan el intercambio de vapor de agua a la atmósfera (Burman *et al.*, 1983; Allen *et al.*, 2005). Posteriormente, debido a dificultades en la estimación de la ET y por ende en su aplicación, se comenzó a desarrollar el concepto de Evapotranspiración Potencial (ETP), el cual se define como la tasa máxima de evaporación de una superficie sombreada por un cultivo verde, sin limitación en el suministro hídrico, por ende la ETP estaría controlada solamente por factores meteorológicos, siendo secundaria la influencia del suelo y las plantas. Luego se desarrolló el concepto de Evapotranspiración de Cultivo o de Referencia (ET₀), en reemplazo práctico a la ETP, y es una función del tiempo local, representando una cubierta vegetal definida y sirviendo como índice evaporativo para predecir la ET en condiciones de vegetación y superficie determinadas, por medio de la aplicación de coeficientes de cultivo (Sánchez y Romero, 2005; Allen *et al.*, 2005). Fue así, como en

1990 fue propuesto el método FAO24 Penman-Monteith (Ecuación 6), como el método más óptimo para la estimación de la ET0 (Jensen *et al.*, 1990).

$$ET0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (6)$$

donde ET0 es la Evapotranspiración de Referencia [mm día^{-1}], R_n es la Radiación Neta en la superficie del cultivo [$\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$], G es el Flujo de Calor de Suelo [$\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$], T es la Temperatura Media del Aire a 2 metros de altura [$^{\circ}\text{C}$], U_2 es la Velocidad del Viento a 2 metros de altura [m s^{-1}], e_s es la Presión de Vapor de Saturación [kPa], e_a es la Presión Real de Vapor [kPa], $e_s - e_a$ es el Déficit de Presión de Vapor [kPa], γ es la Constante Psicométrica [$\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$] y Δ es la Pendiente de la Curva de Presión de Vapor [$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$] (Allen *et al.*, 1998). Este método utiliza datos meteorológicos de radiación neta, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento, los cuales se pueden medir directamente de estaciones meteorológicas previamente establecidas y mantenidas por las pautas del Manual No. 27 de la Serie FAO Riego y Drenaje, alcanzando una amplia cobertura mundial, con datos climáticos cada vez más exactos para períodos horarios (Allen *et al.*, 2006). Más tarde, el Comité EWRI-ASCE (*Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration of the Environmental and Water Resources Institute*), concluyó que se necesitaban dos superficies estandarizadas para proporcionar continuidad en la estimación de la ET0. Fue así que surgió la ecuación ASCE Penman-Monteith (ASCE-PM), que se utiliza para representar datos normalizados, aplicándose en dos tipos de superficies (bajas y altas). Actualmente este procedimiento es fomentado, debido a la necesidad de estimar la ET0 para una amplia gama de lugares y así obtener una ET universalmente transferible (Allen *et al.*, 2005).

En relación a las herramientas técnicas para estimar la EUA, Medrano *et al.* (2007) propone el uso de lisímetros en cultivos herbáceos homogéneos, ya que no existiendo zonas de suelo desnudo, se minimiza la evaporación directa de éste, lo cual permite determinar variaciones de peso que corresponderán en mayor parte a la evapotranspiración, constituyendo así una de los métodos más exactos para medir EUA a escala de cultivo. Sin embargo, su elevado costo además de la funcionalidad sólo en cultivos herbáceos homogéneos y su inaplicabilidad a gran escala espacial, constituyen sus principales limitaciones (Medrano *et al.*, 2007; Esparza, 2013). Otra de las técnicas corresponde a Eddy Covariance, que se ha implementado a nivel global como una red de medición llamada “FLUXNET”, lo que la dota de gran potencial para el estudio de la variabilidad espacial y temporal a gran escala de la EUA (Baldocchi *et al.*, 2001; Reichstein *et al.*, 2007; Kuglitsch *et al.*, 2008). El método Eddy Covariance estima los flujos de CO_2 y vapor de agua entre la interfaz de la atmósfera y la superficie (Baldocchi, 2003; Kuglitsch *et al.*, 2008; Repetto y De Los Reseros, 2012). En este contexto, se ha experimentado integrar la

técnica de Eddy Covariance con técnicas de Isótopos de Carbono, en la cual se analiza la concentración de CO₂ en el tejido foliar (Ponton *et al.*, 2006). No obstante, esta técnica no permite obtener resultados fácilmente extrapolables a escala de planta, existiendo a la vez gran incertidumbre de los resultados en función de variabilidad de las condiciones experimentales y la especie (Medrano *et al.*, 2007). Es así como las técnicas mencionadas anteriormente, están orientadas a la estimación de flujos de agua en la superficie representativa de un espacio relativo al lugar de medida. En este contexto, la teledetección cumple un rol fundamental para la estimación de flujos de agua a escala predial, regional y/o nacional (Bastiaanssen, 2000; Zhao *et al.*, 2005; Lu and Zhuang, 2010; Tang *et al.*, 2015).

El uso de técnicas de teledetección es una de las herramientas más potentes para proporcionar información de la superficie terrestre a gran resolución espacial y temporal (Bastiaanssen *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2015). Es así como en relación a la estimación de la EUA, se ha experimentado por ejemplo en el campo de las mediciones de fotosíntesis y transpiración (Tu *et al.*, 2008), en estimaciones del índice de área foliar (LAI) y la radiación fotosintéticamente activa absorbida por la planta (APAR) (Bastiaanssen *et al.*, 2000), la obtención de productos satelitales de evapotranspiración y productividad primaria bruta (Costa *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2015; Yang, 2015), entre otros. Sin embargo, es un hecho que aún representa un desafío lograr la exactitud en la cuantificación de la EUA, siendo fundamental la realización de estudios que avalen estas técnicas (Zhang *et al.*, 2015).

En relación a cómo optimizar la EUA de forma técnica, los sistemas de riego tecnificado son las herramientas más ampliamente utilizadas para dicho fin. En base a esto, Boutraa (2010) propone la aplicación del Riego Deficitario. Este método emplea técnicas de teledetección en la estimación del requerimiento hídrico de la planta, en lugar de evaluar del estado hídrico del suelo (Boutraa, 2010). De hecho, el suministro de riego se reduce en función de la demanda evapotranspirativa potencial (ETP), causando una reducción relativamente pequeña en el rendimiento del cultivo, en comparación con los beneficios económicos de desviar esa agua a otros cultivos bajo escenarios de escasez hídrica (FAO, 2002; Xue *et al.*, 2003; Liu *et al.*, 2006; Fereres y Soriano, 2007). Para esto es necesaria la aplicación cuidadosa de esta técnica, ya que puede existir una reducción importante del rendimiento del cultivo, debido al estrés hídrico que ha sido sometido (FAO, 2002; Fereres y Soriano, 2007). Es así como en la actualidad existen una serie de técnicas y mecanismos que apuntan a optimizar la EUA tales como el reciclaje hídrico, la desalinización de agua de mar, la densificación de las redes de distribución, así como el fortalecimiento de la institucionalidad y su capacidad de gestión, programas de intercambio de derechos de aguas, fomento a la participación, organización y educación, entre muchas otras (Iglesias *et al.*, 2011; Suárez *et al.*, 2014). Sin embargo, es necesario generar un contexto local de la aplicación de la EUA para cada país, con el fin de definir y evaluar los diferentes enfoques para la optimización del uso y conservación de los recursos hídricos (ONU, 1992; Heydari, 2014).

2.3. EUA en el Contexto Nacional

En relación al contexto nacional, el marco normativo legal del recurso hídrico en Chile es el Código de Aguas de 1981, el cual se caracteriza por fortalecer la propiedad privada, aumentando la autonomía privada en el uso del agua (Bauer, 1997; Gómez-Lobo y Paredes, 2001). Si bien las aguas son consideradas bienes nacionales de uso público y el Código no impone ni establece un mercado de Derecho de Aprovechamiento de Aguas (DAA), se define el DAA como un derecho real, que dota al recurso hídrico de las mismas garantías constitucionales de la propiedad privada, lo que permitiría separar los derechos de agua completamente de la propiedad de la tierra, pudiendo ser libremente comprados, vendidos, hipotecados, heredados y trasferidos por sus titulares, tal como un bien raíz (Bauer, 1997; Vergara, 1997; Barrientos, 2007; Valdés-Pineda, 2014).

El Código de Aguas permite que los DAA sean entregados de forma gratuita y a perpetuidad a los solicitantes, en donde no se requería justificar el caudal solicitado (hasta el año 2005). El organismo público encargado de su otorgamiento es la Dirección General de Aguas (DGA), bajo los siguientes requisitos (Vergara, 1997; Donoso, 2003; Barrientos, 2007):

- i) La solicitud debe ser “legalmente procedente”.
- ii) Debe constatarse técnicamente que existen recursos de aguas disponibles en la fuente natural.
- iii) El nuevo uso no debe afectar a antiguos titulares de derechos vigentes.

A la vez, los titulares de los derechos, tienen la libertad de destinar el aprovechamiento del agua a las finalidades o tipos de uso que deseen, en donde las transferencias de los derechos pueden cambiar libremente el tipo de uso, como por ejemplo de riego a consumo humano, ya que la legislación no establece prioridades de uso, sólo exige el respeto de la condición de derecho, vale decir si el derecho es de uso consuntivo o no consuntivo (Vergara, 1997; Donoso, 2003). Esto ha permitido comprar DAA con fines especulativos, asegurando para unos pocos el uso futuro del agua (Barrientos, 2007; Valdés-Pineda, 2014). Es así como se reduce drásticamente el papel del estado en la gestión y regulación del agua, favoreciendo la economía de libre mercado y sus políticas afines (Bauer, 1997; Vergara, 1997).

Teóricamente, el DAA tiene por objetivo generar un mercado de aguas que permita la asignación económicamente eficiente del recurso, incrementando su disponibilidad y optimizando su uso, con el fin de evitar la limitación del crecimiento económico por restricciones en el suministro hídrico (Vergara, 1997; Valdés-Pineda, 2014). Sin embargo, en la práctica los incentivos del mercado para promover un uso eficiente del agua no han funcionado en el sector agrícola. Adicionalmente la actividad del mercado es baja, así como sus transacciones escasas, no existiendo información fiable del comercio de derechos

de agua, lo que ha generado desconfianza en la eficacia del mercado como instrumento asignador (Bauer, 1997; Barrientos, 2007; Fuster *et al.*, 2009), siendo un factor propulsor de la escasez hídrica en una serie de cuencas a lo largo del país (Gómez-Lobo y Paredes, 2001).

Fue así como en 2005 se dictó la modificación al Código de Aguas Ley N° 20.017, en el cual sus principales reformas fueron incorporar la justificación de la solicitud del DAA, explicando la cantidad de agua que se desea extraer en función del uso que se le dará; un pago de patente por no uso y la posibilidad de renunciar al derecho, con el objetivo de regular el monopolio anteriormente ejercido (Barrientos, 2007; Valdés-Pineda, 2014). Además, se instauró el concepto de caudal ecológico mínimo para los nuevos DAA, lo cual evitaría la sobreexplotación del recurso y favorecería la protección de los ecosistemas fluviales (Gómez-Lobo y Paredes, 2001; Barrientos, 2007; MMA, 2012). A la vez, al momento de la redacción de esta memoria, se está tramitando una nueva reforma al Código de Aguas, en donde su principal objetivo es dar prioridades de uso, favoreciendo el consumo de subsistencia y saneamiento, así como la protección del medio ambiente. Esta reforma busca reforzar las facultades de la administración estatal del recurso y transformar los nuevos derechos en concesiones temporales y renovables, entre otras regulaciones menores (DGA, 2015).

Por otra parte, si bien es el Código de Aguas el marco normativo del recurso hídrico en el país, Chile cuenta principalmente con dos políticas de recursos hídricos vinculadas a la agricultura. La Política Nacional para los Recursos Hídricos 2015, que tiene por objetivo diseñar, elaborar e implementar distintos programas y acciones que permitan mitigar los efectos de la sequía en los distintos sectores, y proponer alternativas de reordenamiento institucional que permitan gestionar de mejor forma los instrumentos y recursos hídricos (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015), y la nueva Ley N° 20.705 que modifica a la Ley N° 18.450 de Fomento de la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje, que permitirá optimizar el uso y gestión del agua, por medio del fomento a la inversión privada en obras de riego o drenaje, comprendidas en proyectos integrales y de uso múltiple (MINAGRI, 2013). Por otra parte, la gestión del agua en Chile se rige también por las Normas Secundarias de calidad de aguas, que se encargan principalmente de proteger los acuíferos (Valdés-Pineda, 2014).

Entre las principales instituciones que relacionan la gestión de recursos hídricos con los recursos humanos, se encuentra la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), dependiente de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), que se encarga de informar las condiciones meteorológicas nacionales, la Comisión Nacional de Riego (CNR), dependiente del Ministerio de Agricultura (MINAGRI), que coordina la formulación y realización de la Política Nacional de Riego, y el Ministerio de Obras Públicas (MOP), que tiene bajo su tutela a la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), encargada de proveer de infraestructura hidráulica, la Superintendencia de Agua y Saneamiento (SISS), que tiene por objetivo regular y fiscalizar a las empresas que dan el servicio de agua potable,

recolección y tratamiento de aguas servidas a la población, y finalmente se encuentra la Dirección General de Aguas (DGA), que es el principal organismo responsable de la planificación de los recursos hídricos, así como de su desarrollo y explotación, proporcionando información generada por su Red Hidrométrica y la contenida en el Catastro Público de Aguas (Hearne y Easter, 1997; Donoso, 2003; Valdés-Pineda, 2014). Sin embargo, existen más instituciones públicas y privadas vinculadas a la gestión del agua, las cuales tienen poderes superpuestos y sin instancias formales de organización, ocasionando la pérdida de supremacía de la DGA sobre las demás instituciones, y generando además dificultades en la generación de planes coordinados entorno al recurso y por ende en la gestión hídrica sustentable de la cuenca (Gómez-Lobo y Paredes, 2001; Valdés-Pineda, 2014).

Si bien es la DGA el organismo a cargo de la formulación de políticas, planificación y control de las fuentes de agua (Barrientos, 2007). La administración del agua es canalizada principalmente por las Organizaciones de Usuarios del Agua (OUA), que se descomponen en Juntas de Vigilancia, Asociaciones de Canalistas, Comunidades de Agua Superficiales y Comunidades de Agua Subterráneas. Estas organizaciones administran los ríos y canales, a través de un directorio que toma decisiones por medio de votaciones proporcionales a los derechos de aprovechamiento de cada accionista, en donde el Estado tiene escasas atribuciones para intervenir (Donoso, 2003; Fuster *et al.*, 2009).

Por otra parte, en el caso de que los cuerpos de aguas superficiales no posean más disponibilidad para otorgar derechos de aprovechamiento, la DGA hace una “Declaración de Agotamiento” que prohíbe la entrega de nuevos derechos consuntivos permanentes. En el caso de existir grave riesgo de disminución de un acuífero, se hace una declaración de “Zonas de Restricción”, lo cual permite entregar derechos de aprovechamiento provisionales por cinco años, es decir no son propiedad definitiva, pero una vez cumplida esta fecha se evalúa si el acuífero es capaz de abastecer dichos derechos y entregarlos. Cuando no existe posibilidad de entregar derechos de aprovechamiento subterráneos, entonces se hace una declaración de “Zona de Prohibición” para nuevas explotaciones de aguas subterráneas, debido al riesgo de deterioro irreversible de la fuente natural (Fuster *et al.*, 2009). Finalmente en época de sequía extraordinaria, se hace una declaración de “Zona de Escasez”, por un período máximo de seis meses, donde debe existir una redistribución de los cuerpos de agua (Ministerio de Justicia, 1981). Es así como diversas cuencas a lo largo del país han sido declaradas por la DGA en alguna condición de agotamiento, como es el caso de la cuenca del Río Copiapó que presenta una condición crítica de agotamiento, es decir es una “Zona de Prohibición” (MOP, 1993; Fuster *et al.*, 2009). A la vez, muchas cuencas han sido declaradas “Zonas de Restricción” a las nuevas extracciones de aguas subterráneas, como por ejemplo las cuencas Río Loa, Huasco, Elqui, Limarí, Choapa, Petorca, La Ligua, Mataquito, Rapel, entre otros. Así como también muchas declaradas “Zonas de Agotamiento de aguas superficiales”, como es el caso de la primera sección del Río Tinguiririca, la cual se enmarca en el área de estudio de esta memoria.

Este escenario de escasas hídrica que visibilizan algunas cuencas de Chile, se complejiza aún más con las predicciones del cambio climático. Poniendo en riesgo la sustentabilidad de las actividades productivas que se desarrollan en el país, así como la capacidad de provisionar agua para consumo humano (MMA, 2013; CNR, 2014). Chile fue clasificado como un país vulnerable frente al cambio climático, en donde se proyectan reducciones importantes de las precipitaciones y aumento de las temperaturas medias al año 2040 (Meza *et al.*, 2011). En base a esto, se han implementado variadas medidas que hacen frente a dicha situación, como es la Estrategia Nacional de los Recursos Hídricos 2012-2025, que tiene por directrices la gestión sustentable y eficiente de la cuenca, mejorar la institucionalidad, enfrentar la escasez principalmente por medio de construcción de embalses y traspaso de agua entre cuencas, apostar a una mayor equidad social privilegiando los sistemas de agua potable rural, y mantener una ciudadanía informada (MOP, 2013). Así como también el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2014, que tiene como líneas de acción la investigación científica, la comunicación y educación ambiental, el fortalecimiento institucional y la reducción del riesgo de desastres. Este plan tiene a la vez planes sectoriales, en donde el Plan de Adaptación al Cambio Climático para los Recursos Hídricos se encuentra en etapa de generación de información. Sin embargo, sus ejes de acción son la gestión sustentable, mejorar la institucionalidad, prevenir y enfrentar la escasez, fortalecer y ampliar el sistema de monitoreo, fomentar el estudio de glaciares y concretar la Ley de Glaciares (MMA, 2014). A la vez, la Política Nacional de Recursos Hídricos 2015, contempla principalmente la construcción de pequeños y grandes embalses, fortalecer el sistema de agua potable rural e iniciativas complementarias, como obras de regadío y plantas desaladoras (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015). Finalmente este año se anunció el Plan Nacional para la Sequía, que habla de medidas a corto, mediano y largo plazo, y básicamente se enfoca en las mismas medidas que los planes anteriormente señalados (BCN, 2015).

Finalmente, la relación del concepto de Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) y el Código de Aguas es nula, ya que no se indica una relación directa entre el caudal representativo del DAA y los requerimientos consuntivos como por ejemplo de un cultivo. Menos aún existe un análisis estacional de los requerimientos, generando una situación dispar frente a eventos climáticos extremos como el fenómeno El Niño Oscilación Sur (ENSO), que podrían generar abundancia o escasez del recurso hídrico por períodos estacionales. Si bien es cierto, muchas instituciones han incorporado el concepto de EUA en sus planes y proyectos, sólo el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), dependiente del Ministerio de Agricultura (MINAGRI) ha realizado una definición al respecto. Esta definición está ligada a la Eficiencia de un Sistema de Riego, siendo el agua que efectivamente satisface las necesidades de las especies que componen el área de riego, respecto del caudal equivalente a los DAA del cauce natural (Eficiencia Extrapredial) y además, lo define como el volumen de agua que efectivamente almacena la zona radicular de la especie, como consecuencia del riego respecto del volumen total de agua aplicada (Eficiencia de Aplicación) (INDAP, 2011). Por otra parte, es la Comisión Nacional de

Riego (CNR) el organismo encargado de mejorar la eficiencia del uso del agua para riego, donde sus atribuciones están dispuestas en la Ley N° 18.450 de Fomento de la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje (MMA, 2011), sin embargo, tampoco existe en esta ley una definición de la EUA. No obstante, en 2011 se crea la Unidad de Organizaciones de Usuarios y Eficiencia Hídrica al interior de la DGA, la cual tiene por objetivo apoyar el fomento y fortalecimiento de las OUs, así como también implementar la Iniciativa Nacional de Eficiencia Hídrica, que pretende incrementar la eficiencia del agua en las distintas actividades productivas y no productivas del país (MOP, 2011). Finalmente, son el Plan de Adaptación al Cambio Climático 2013 (Sector Silvoagropecuario) y la Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025, los documentos que determinan los lineamientos y medidas que apuntan a mejorar la eficiencia en el uso de los recursos hídricos. Para esto, dirigen principalmente las acciones a la tecnificación de los sistemas de riego, la investigación y transferencia tecnológica, inversión en obras de riego tales como microembalses, y mejoramiento de las redes públicas de abastecimiento y recolección del sector sanitario, entre otras medidas (MOP, 2013; MMA, 2013).

2.4. Transferencia Tecnológica

El término “extensión” se comienza a desarrollar paralelamente en Inglaterra y Estados Unidos a partir del siglo XIX, con movimientos que basaban su discusión en cómo lograr el traspaso de conocimiento científico desde las universidades a las sociedades, gestando una misión universitaria dedicada a la investigación y difusión de la información, durante la primera mitad del siglo XX (Jones y Garforth, 1997; Warner, 2008). No obstante, la noción de “extender” información relevante y útil para la población, es anterior a estos movimientos (Jones y Garforth, 1997). El término “Transferencia Tecnológica” fue acuñado en Estados Unidos en 1940 (Schmidt *et al.*, 2014), aunque no fue sino hasta la década de 1980, en que el desarrollo de la Transferencia Tecnológica se comienza a concretar por medio de la generación, promoción y comercialización de la tecnología y el conocimiento, por parte de las principales universidades de Norteamérica, Europa y Oceanía (Araneda y Medina, 2015).

El concepto de “Transferencia Tecnológica” (TT) tiene múltiples definiciones de acuerdo a la disciplina y propósito de investigación (Bozeman, 2000). Frey (1987) definió la TT como la integración de los tres componentes que forman parte de la tecnología; un objeto, un proceso y un conocimiento. Posteriormente, Röling y Engel (1990) definieron la TT como la extensión del conocimiento científico en forma de tecnología, transmitida a través de agentes de extensión a productores que lo consumirían y aplicarían. Más tarde, hubo interpretaciones con enfoques más integrales de la TT, donde se argumenta que el éxito del movimiento de tecnología desde un punto de origen a un usuario final, depende en gran parte del conocimiento de las necesidades del usuario, así como del contexto en que se utiliza la tecnología. Esto coloca de manifiesto las diferencias en los objetivos de los diversos proveedores de tecnología, por ejemplo las universidades transferirían tecnología para servir a la comunidad mediante el intercambio de conocimientos, y las empresas lo harían con el objetivo de obtener beneficios económicos (Johnson *et al.*, 1997). Bozeman (2000) clarifica la diferencia entre la transferencia de tecnología y la transferencia de conocimiento, argumentando que la TT se basa en la transferencia de un producto, el conocimiento de su uso y aplicación. Finalmente, la Comisión Europea (2009) explica el concepto de TT, definiéndolo como la administración de la propiedad industrial e intelectual de los organismos públicos de investigación. En donde el concepto estaría evolucionando a una visión más global de la TT, abarcando más dimensiones de transferencia además de la tecnológica, como la social o cultural, con más objetos de transferencia, como el saber/hacer (know how), y con más mecanismos de transferencia, como la formación de personal. En base a esto, es importante el rol del “Conocimiento” como factor de producción, el cual sería tan importante como la Tierra, el Trabajo y el Capital, en donde los agricultores no son sólo receptores de ese conocimiento, sino generadores y portadores de éste, moldeando la información recibida en función de su percepción del mundo rural (Winter, 1997).

La Transferencia Tecnológica suele tener un carácter contractual, en donde existe un agente transferidor y un usuario final (INAPI, s/a). El Instituto Nacional de Propiedad Industrial de Chile define como los mecanismos más comunes para transferir la tecnología, los siguientes:

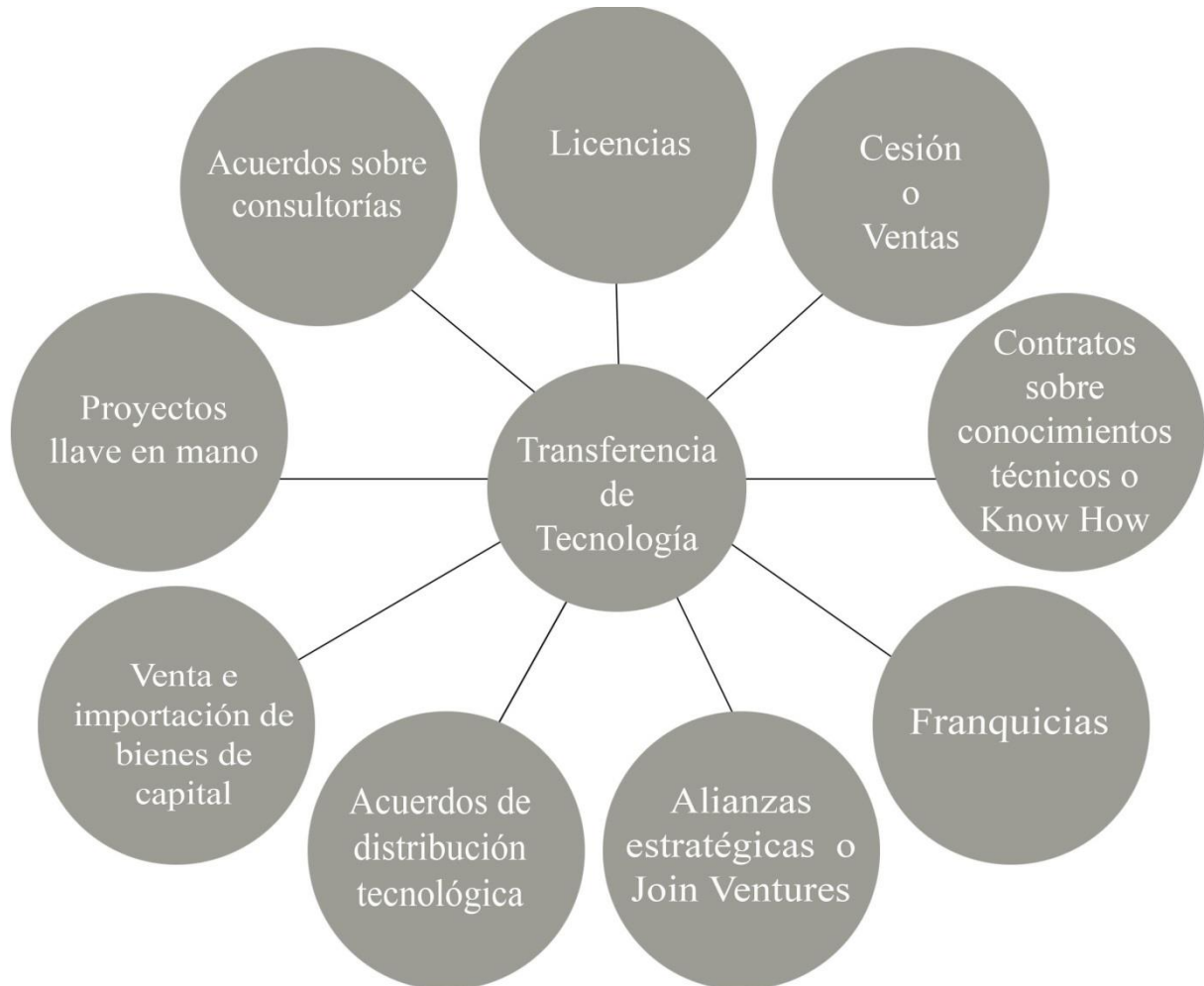


Figura 4. Mecanismos de Transferencia Tecnológica (adaptada de INAPI, s/a).

A la vez, existen diversos modelos que explican la Transferencia Tecnológica. En 2000, Bozeman propone el Modelo llamado “Contingent Effectiveness Model of Technology Transfer” (Figura 5), que se basa en un enfoque de impacto y eficacia, los cuales pueden tener variados significados, incluyendo los impactos en el mercado, la política, la economía, el capital científico y técnico, entre otros. En síntesis, el modelo analiza los impactos de la TT entendida en términos de quién está haciendo la transferencia, la forma en que lo están haciendo, qué están transfiriendo y a quién.

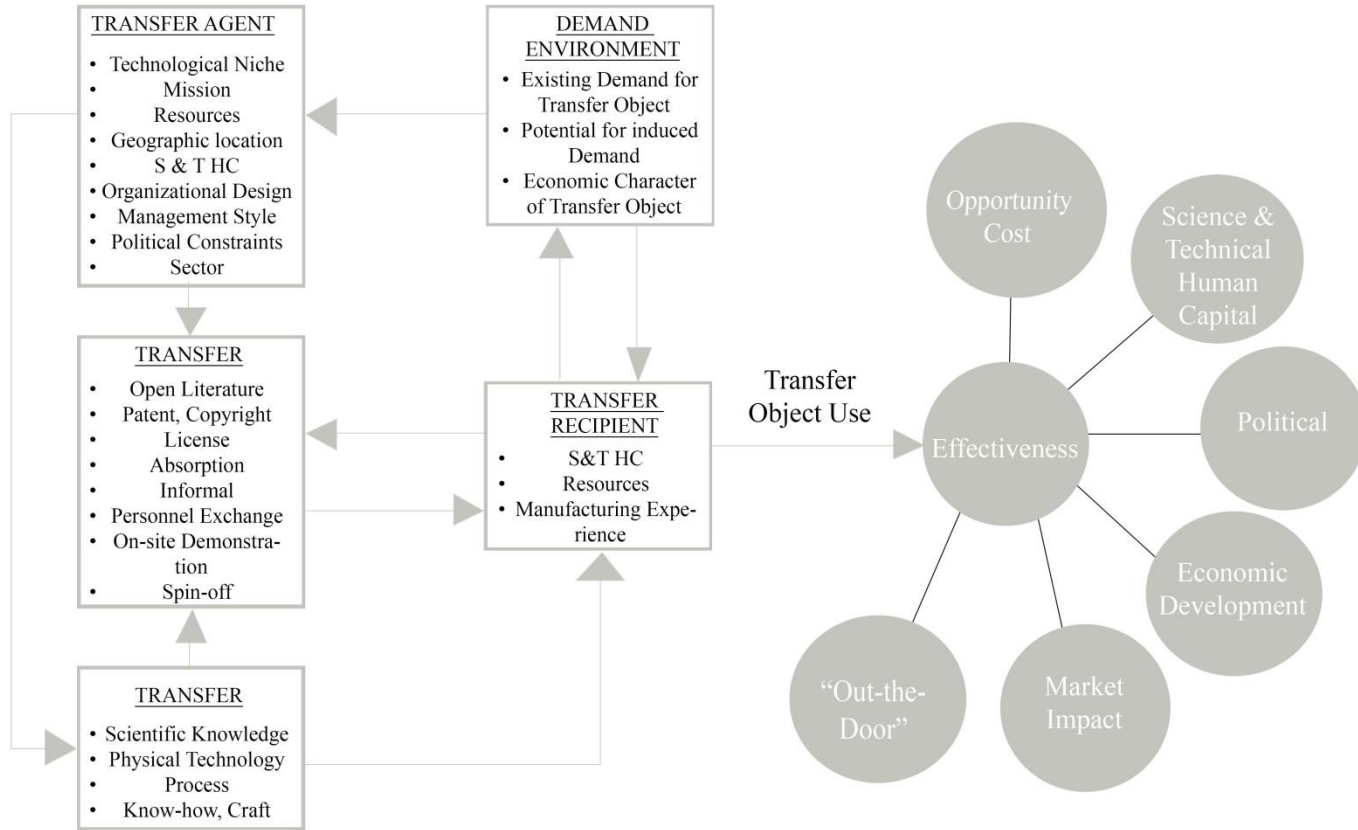


Figura 5. Modelo de transferencia tecnológica “Contingent Effectiveness Model of Technology Transfer” (adaptado de Bozeman, 2000).

En relación a modelos de Transferencia Tecnológica aplicados a la agricultura, se puede citar el modelo “farmer-back-to-farmer” (Figura 6) de Rhoades y Booth (1982). Este plantea un trabajo interdisciplinario que permite abarcar una multiplicidad de enfoques, en donde varios científicos participan del diseño, generación y transferencia de tecnología apropiada a los agricultores. En la figura 6, se puede visualizar el círculo superior denominado “Problemas de los agricultores”, el cual representa la totalidad de las necesidades y problemas relacionados al área tecnológica de los agricultores, por ejemplo escasez hídrica. Este contexto funciona como trampolín de la investigación, avanzado por una serie de etapas (de la 1 a la 4) que pueden superponerse en el tiempo, permitiendo orientar las labores de investigación hacia el logro aceptable de soluciones tecnológicas a los problemas específicos de los agricultores (Rhoades y Booth, 1982).

FARMER-BACK-TO-FARMER

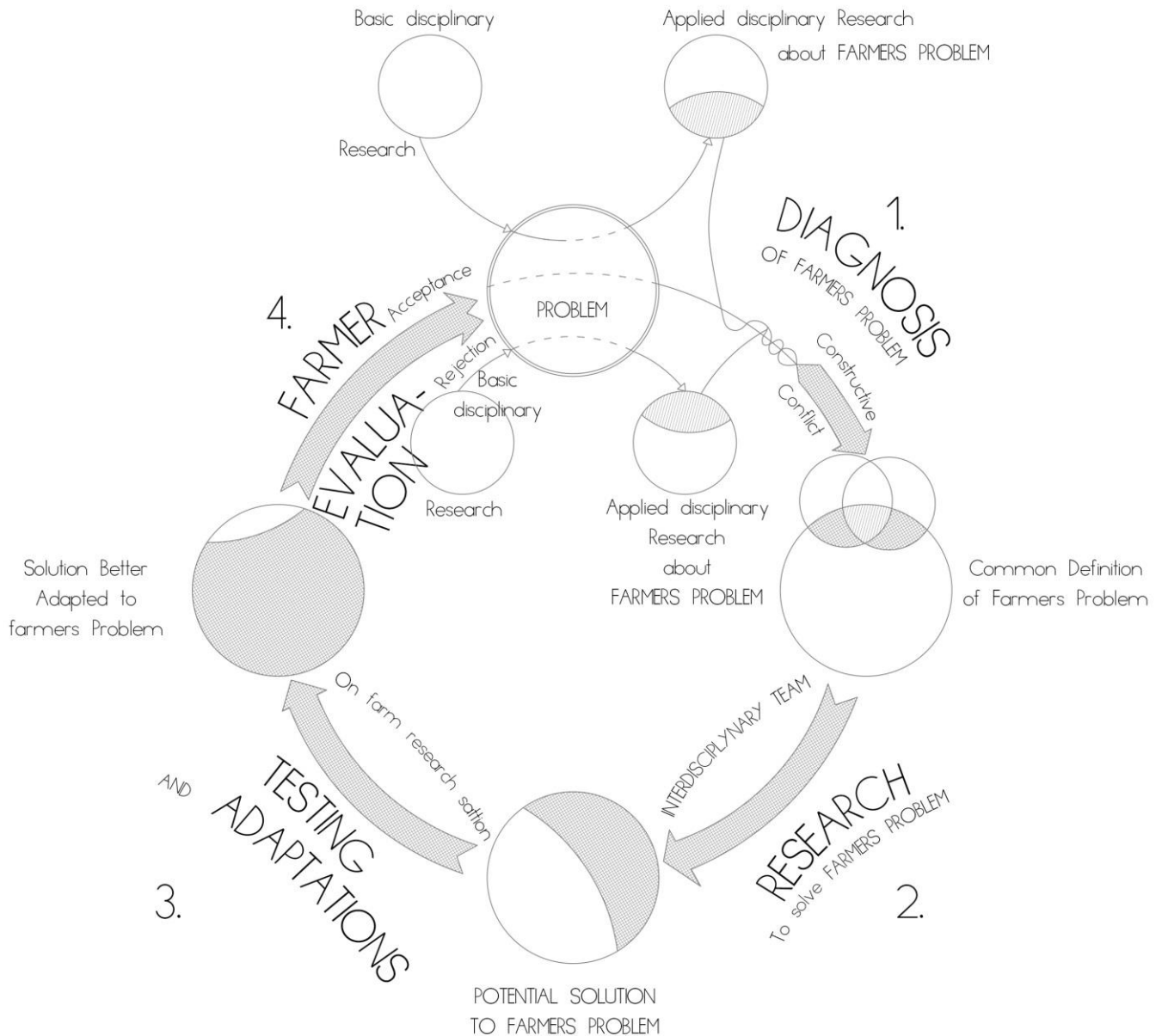


Figura 6. Modelo Farmer-back-to-farmer (adaptado de Rhoades y Booth, 1982).

Posteriormente el modelo propuesto por Swanson et al. en 1990 (Figura 7) se fundamenta en cuatro componentes; la generación de tecnología, la transferencia de tecnología (entrada y salida de conocimientos), la utilización de la tecnología y la política agrícola. Este modelo coloca al sector público como el principal actor en la generación y transferencia de tecnología, sin embargo argumenta que el sector privado (empresas comerciales y ONGs principalmente), serían también importantes aportantes de la TT, dependiendo del contexto político-económico de cada país. Este modelo pone de manifiesto dos categorías

fundamentales de la extensión; los “macro-factores” (agroecológicos, de infraestructura, políticos-económicos y socio-culturales), y los “factores institucionales” (investigación y transferencia, educación, formación, suministro de insumos y créditos), en donde la financiación pública permitiría mejorar las condiciones de vida de las poblaciones urbanas y rurales, por medio del incremento de la productividad agrícola (Peterson, 1997).

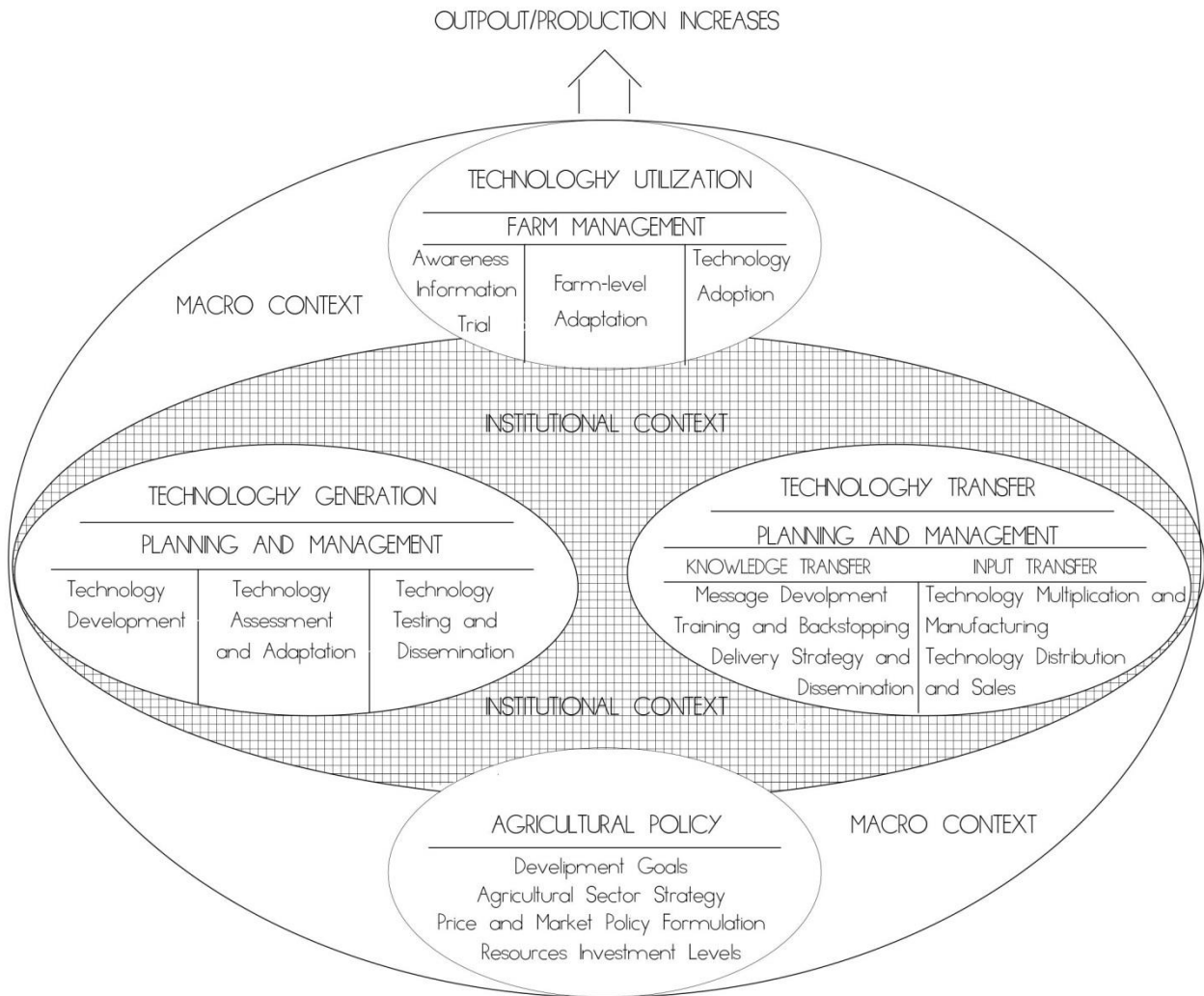


Figura 7. Modelo de los Sistemas de Tecnología Agrícola (adaptado de Swanson et al., 1990).

Finalmente, el modelo propuesto por Piñeiro (2007) cobra especial importancia, debido a que incorpora el análisis del impacto en el medio ambiente y la regulación del sector privado en la Transferencia del Conocimiento (Figura 8).

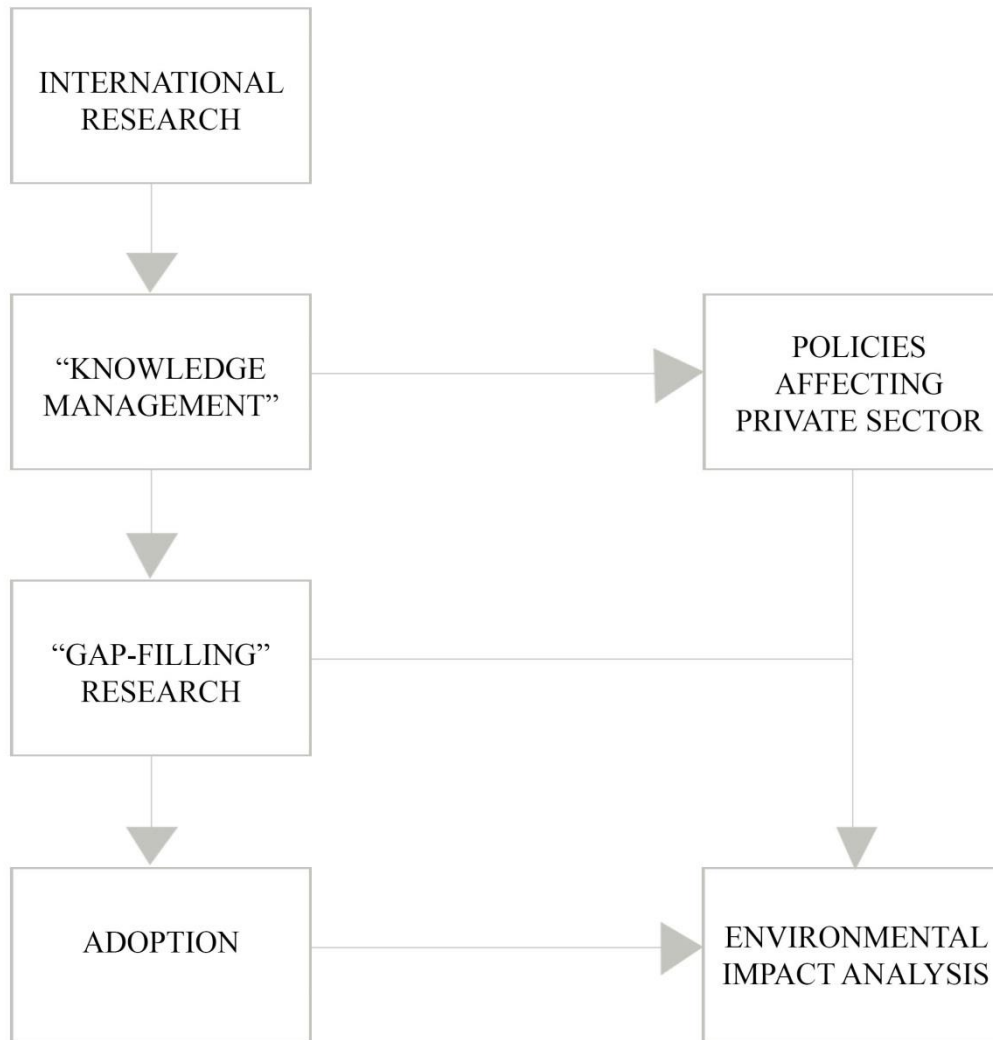


Figura 8. Multidimensional Model of Agricultural Technology Transfer to the Public Sector (adaptado de Piñeiro, 2007).

Estos modelos reflejan como los productores agropecuarios están continuamente sometidos a procesos de recambio tecnológico, permitiendo ajustar la actividad productiva al contexto ecológico, social, político y económico dominante (Cáceres *et al.*, 1997). Sin embargo, la incorporación de una propuesta técnica presentada por los extensionistas o agentes de extensión, que no incorpora una dimensión participativa de los agricultores, es un método reduccionista de la investigación tradicional, que establece una importante barrera en el proceso de transferencia tecnológica, provocando una falta de integración entre la investigación y las necesidades de los usuarios. Esto conlleva a que los agricultores generalmente incorporen sólo algunos elementos de la propuesta inicial o radicalmente desistan de incorporarla (Araújo, 1979; Fujisaka, 1994; Cáceres *et al.*, 1997; Schmidt *et al.*, 2014). Es así como el agente de extensión ya no es visto como el experto que tiene las soluciones técnicas (Jones y Garforth, 1997), sino que cada vez más se reconoce el conocimiento campesino, como un recurso importante en el desarrollo de soluciones a los

problemas productivos locales (Jones y Garforth, 1997; Nagel, 1997), en interacción con diversos actores tal como investigadores, ecologistas y responsables políticos -entre otros-, haciendo de la Transferencia Tecnológica un proceso creativo y participativo (Ashby, 1991; Winter, 1997; Cáceres *et al.*, 1997; Warner, 2008).

El enfoque moderno de la TT, se basa en la creación participativa de paquetes tecnológicos, que tengan un carácter integrador y ambientalmente sostenible (Ashby, 1991; Röling y Pretty, 1997; Warner, 2008), permitiendo a los productores elegir lo que a su criterio se adecua mejor a su realidad socio-productiva y por ende, haciendo de la propuesta un proceso de Transferencia Tecnológica efectivo. Por lo tanto, comprender la estructura y funcionamiento de la comunidad agrícola, es necesaria para contextualizar su realidad, en términos ecológicos, sociales, políticos y económicos, intentando comprender esa compleja red de relaciones que dota de una importancia fundamental el proceso de adopción tecnológica (Cáceres *et al.*, 1997).

2.5. Transferencia Tecnológica en Chile

En 2001, el informe del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), argumentaba cómo Chile aún no desarrollaba su carrera tecnológica, debido a debilidades en prácticamente todos los elementos que formaban parte de su plataforma de Transferencia Tecnológica (Brunner, 2001). Posteriormente, en 2007 se encarga por parte del Banco Mundial, elaborar un programa que estimule el crecimiento en Chile, mediante la promoción de empresas innovadoras y la TT en el sector privado, para reforzar la actividad de extensión agropecuaria. Fue así que el informe del Banco Mundial diagnosticó que en la pequeña y mediana agricultura había una insatisfacción del proceso de TT, siendo el Instituto Nacional de Desarrollo Agropecuario (INDAP), el organismo público que ocupaba la mayor cantidad de recursos financieros del Ministerio de Agricultura (65% aproximadamente) (Fundación Chile, 2010).

Actualmente, el Ministerio de Agricultura de Chile define tres formas de difusión del conocimiento (MINAGRI, 2014):

- Extensión: Por extensión, se entiende los sistemas que han de facilitar el acceso a los agricultores, sus organizaciones y otros agentes del mercado a conocimientos, tecnologías e información; fomentar su interacción con asociados en la investigación, la enseñanza, la agroindustria y otras instituciones pertinentes; coadyuvar en el diseño de prácticas y habilidades técnicas, de gestión y organización (Christoplos, 2010).
- Difusión Tecnológica: integración a la empresa de conocimiento o tecnologías ya existentes e implementadas en el mercado/mundo (Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, 2010).
- Transferencia Tecnológica: la integración de conocimiento o tecnologías nuevas para el mundo/mercado. (Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, 2010).

En base a esto, se argumenta que el sistema de extensión debe incorporar activamente el sector privado en la investigación aplicada, teniendo el Estado sólo un involucramiento subsidiario, articulador y promotor de la TT cuando la institucionalidad y el mercado fallen. En consecuencia mientras el sistema se perfecciona, cada vez más se tenderá a reducir la intervención del sector público, logrando que los agricultores financien los costos de asesorías y extensión, por medio de una cultura de asociación y organización como en países industrializados (MINAGRI, 2014).

Por otra parte, dentro de los principales fondos utilizados en Chile para la Transferencia Tecnológica, se encuentra a CORFO y CONICYT. Sin embargo, debido a la desmembración, falta de financiamiento y poca articulación entre los organismos, también se han realizado actividades de TT por medio de fondos que no fueron pensados para dicho propósito (MINAGRI, 2014). No obstante, en la actualidad los servicios de extensión de la pequeña agricultura estarían representados principalmente por INDAP, INIA e INFOR, financiados en mayor medida por los fondos FIA y CORFO. En cuanto a la mediana agricultura, operarían desde el sector público-privado los Grupos de Transferencia Tecnológica (GTT), los cuales realizarían su labor a través de las entidades de INIA y

fondo CORFO, sin embargo este segmento del sector agrícola estaría más bien desvinculado de la financiación y asistencia técnica pública (MINAGRI, 2014).

En base a este diagnóstico, el Ministerio de Agricultura se propuso en 2014 implementar un programa titulado “Nuevo Modelo para un Sistema de Extensión y Transferencia Tecnológica en el Sector Silvoagropecuario Chileno”, en donde se generó un modelo con la capacidad de generar un flujo significativo de información relevante, desde los agricultores a los desarrolladores de tecnología, cambiando la forma de gestionar la investigación, difusión y Transferencia Tecnológica. El Modelo propuesto (Figura 9) se cimienta en cuatro componentes principales (MINAGRI, 2014).

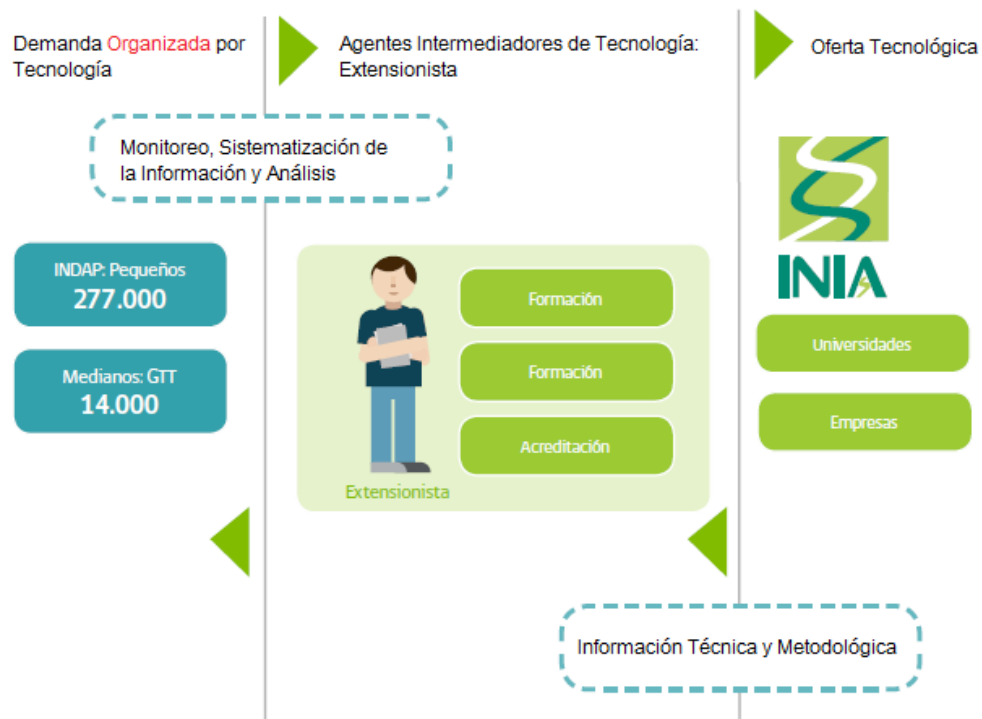


Figura 9. Modelo para un Sistema de Extensión y Transferencia Silvoagropecuaria (adaptado de MINAGRI, 2014).

- **Demanda Organizada o Asociada con fines tecnológicos:** básicamente son los productores organizados en pos de demandar tecnología. Para esto, se propone impulsar desde el sector público la asociatividad en general.
- **Oferentes tecnológicos e investigadores:** estos pueden ser tanto público como privados. Estos oferentes deberán responder a las necesidades detectadas por los agricultores, por lo tanto se requerirá acotar y definir claramente cuál es el rol de cada Instituto Tecnológico Público (ITP), así como sus líneas de investigación. Estas líneas estratégicas serán

vinculadas directamente a los lineamientos que emanen de la nueva Unidad de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) del MINAGRI.

- Agentes Intermediarios o extensionistas: Estos serán los encargados de la articulación entre la oferta y la demanda tecnológica. Para esto será fundamental el levantamiento de las necesidades de los productores en terreno, evaluar los resultados alcanzados, mantener una interacción permanente con los ITPs, Centros de Investigación y otros extensionistas, y finalmente ampliar la cobertura de posibles beneficiarios.
- Fuentes de financiamiento del Sistema de Extensión y Transferencia Tecnológica: Este último factor corresponde al financiamiento o cofinanciamiento público, más allá de los que ya existen. Esperando que los productores participen en un cierto grado de copago por los servicios de asesoría técnica.

En base a este modelo, se proyecta para la pequeña agricultura una mayor integración de las cadenas agroindustriales (sector privado), determinando esta relación como fundamental para una extensión tecnológica efectiva, además de mejorar los equipos de extensionistas ya existentes en INDAP. Para la mediana agricultura, se creará una estrategia sistemática de difusión tecnológica, para esto MINAGRI dispondrá de recursos financieros adicionales a INIA y los GTT. Finalmente se prevén mejoras en los ITPs, en función de su oferta tecnológica y extensionistas, en función de esto el MINAGRI constituyó la Unidad de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i), que pretende canalizar una visión estratégica a nivel nacional, por medio de la articulación de los agricultores con el sector público y académico (MINAGRI, 2014).

Por otro lado, si bien no existe un organismo especializado en la TT de información hídrica en el sector agrícola, existen diversos instrumentos y financiamiento por parte de CORFO que permiten la realización de proyectos, como por ejemplo el proyecto ejecutado por el Centro Regional de Estudios Agronómicos de la Universidad de Chile (UCHILECREA), Nodo de Riego: Difusión y Transferencia Tecnológica para Uso Eficiente del Agua de Riego en la Región de Atacama (UCHILECREA y CORFO, 2010). A la vez, INIA como organismo especializado en la investigación y TT, ha impulsado diversos proyectos en el área del riego. Es así como el presente año anunció el proyecto cofinanciado con el Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC) del Gobierno Regional de Coquimbo, que creará al año 2016 el Centro de Análisis para la Agricultura de Riego (CAPRA), el cual pretende la generación de información para la optimización del uso de agua de riego, basado en datos satelitales, sistemas de información geográfica y tecnologías de información, permitiendo obtener información actualizada de las superficies cultivadas, así como de la demanda hídrica asociada del sector agrícola de la IV Región del país (Bierwirth, 2015). Por su parte, la Comisión Nacional de Riego (CNR), también ha participado en iniciativas de TT vinculadas al sector agrícola, como es el Servicio de Programación y Optimización del Uso del Agua de Riego (SEPOR), que fue ejecutado entre 2007 y 2009 por el Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimátología (CITRA) de la Universidad de Talca, el cual estaba dirigido a diversos

productores de la regiones de O'Higgins y del Maule, permitiendo la entrega de información en tiempo real de dosis y frecuencias de riego, en función de los requerimientos de los cultivos en las distintas etapas de su desarrollo (CITRA y CNR, 2010).

Finalmente, es la Unidad Nacional de Emergencias Agrícolas y Gestión del Riesgo Agroclimático (UNEA), que por medio del Sistema Nacional de Gestión de Riesgos Agroclimáticos dependiente del MINAGRI, tiene por objetivo reducir el impacto de eventos climáticos que afecten a los sistemas agropecuarios, responder rápida y eficientemente ante emergencias agrícolas y fortalecer la capacidad de adaptación de los productores, con el fin de que puedan enfrentar por sí mismos los eventos climáticos extremos (Yaksic et al., 2014). Esto se realiza a través de la entrega de información agroclimática de estaciones meteorológicas e información satelital, proporcionada por la Red Agroclimática Nacional (RAN) y el Observatorio Agroclimático, permitiendo el acceso gratuito a información climática relevante, tal como temperaturas, duración de lluvia, milímetros caídos, intensidad de radiación solar y humedad relativa (Aguilar, 2013; Yaksic *et al.*, 2014).

Es así como la Transferencia Tecnológica en Chile está en un constante proceso de transformación, avanzando hacia la construcción de un sistema de ciencia, tecnología e innovación en función del beneficio social y como elemento esencial del desarrollo económico (Yutronic, 2004; Boisier, 2010). Donde la misión de las universidades en Chile, cobra especial importancia en términos de investigación, formación de capital humano avanzado y Transferencia Tecnológica, orientada a contribuir al desarrollo nacional y regional en el país (Bitran, 2014).

3. MATERIALES Y MÉTODO

3.1. Área de estudio

El área de estudio de esta memoria corresponde a las zonas agrícolas de la subcuenca Tinguiririca Bajo, que se ubica dentro de la cuenca Río Rapel, entre los ríos Teno y Tinguiririca, Comuna de Chimbarongo, VI región del Libertador Bernardo O'Higgins, Chile (Figura 10). Dentro del área de estudio existe un predio acondicionado para medidas de campo con una superficie aproximada de 3 hectáreas, donde se encuentran instalaciones de LAB-net en las coordenadas 34°43'38.93" Latitud Sur, 70°58'47.57" Latitud Oeste. El clima de esta zona corresponde al tipo mediterráneo, específicamente templado cálido con estación seca prolongada. Las precipitaciones promedio alcanzan los 538 mm/año y existe una alta oscilación térmica en todas las estaciones (30 a 12°C en verano y 15 a 2°C en invierno) (Santamaria-Artigas *et al.*, 2016).

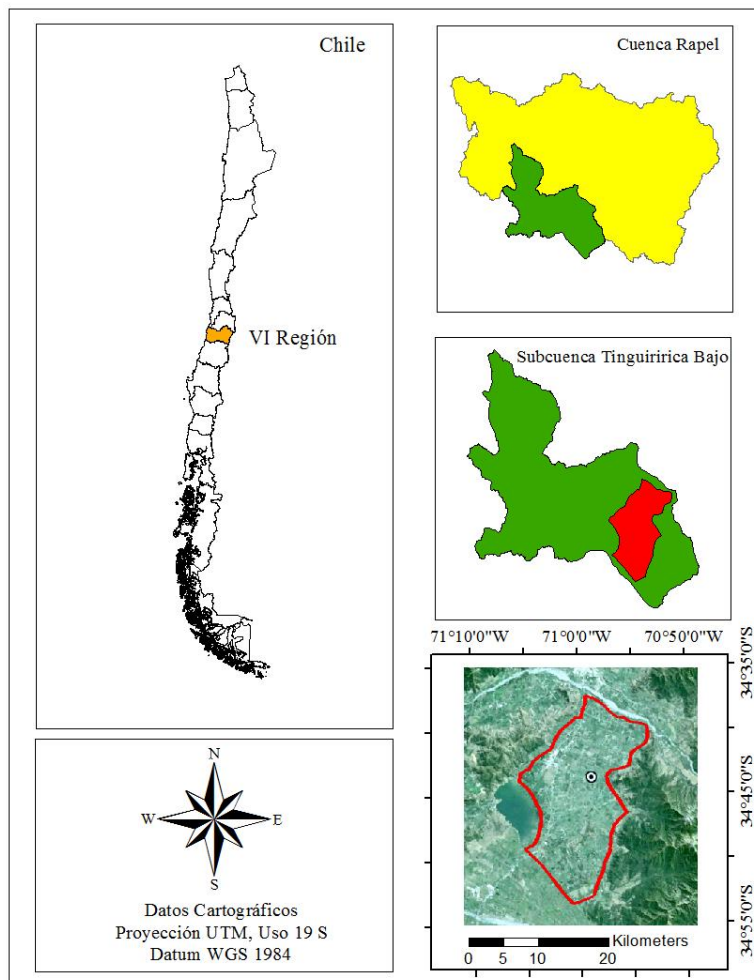


Figura 10. Área de estudio (Elaboración propia, 2016).

3.2. Materiales

3.2.1. Entrevista

Entrevista estructurada (Apéndice 1), en base al formato encuesta de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el cual fue utilizado para el levantamiento de información primaria en comunidades rurales de la Región de O'Higgins, en el marco de un proyecto titulado Gestión del Riesgo de Sequía y Eventos Climáticos Extremos en Chile (FAO, 2011).

3.2.2. Datos de Teledetección

Los datos de teledetección utilizados corresponden a los productos generados a partir del sensor MIRAS (*Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis*), a bordo del satélite SMOS (*Soil Moisture and Ocean Salinity*), y los productos generados a partir del sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), a bordo de los satélites Terra y Aqua, ambos disponibles en los servidores de la NASA (*National Aerospace Agency*)¹. Se utilizaron los productos disponibles para el período comprendido entre enero y diciembre de 2015.

3.2.2.a. Producto SM03 de SMOS

El producto SM03 de SMOS entrega los valores de humedad del suelo, con una resolución espacial de 25 x 25 km y diferentes ángulos de visión. El instrumento a bordo de SMOS es un radiómetro con síntesis de apertura multiangular, polarización vertical y horizontal a 42.5 °, en órbitas ascendentes y descendentes para la Banda-L (1.4 GHz), y tiene por objetivo proveer mapas globales de humedad de suelo cada 3 días y una precisión de 0.04 m³m⁻³ (Reul *et al.*, 2012; Wigneron *et al.*, 2007; Kerr *et al.*, 2010; Kerr *et al.*, 2012; Leroux *et al.*, 2013).

El producto SM03 es presentado en formato EASE-Grid V1 (*Equal Area Scalable Earth*), que consiste en un conjunto de tres proyecciones de áreas iguales, combinadas con un número infinito de posibles grillas (Brodzik and Knowles, 2002; Santamaría-Artigas *et al.*, 2016).

3.2.2.b. Productos MOD11A1 y MOD11A2 de MODIS

En esta memoria se utilizaron datos de temperatura provenientes de los productos MOD11A1 y MOD11A2 Versión 5 de MODIS, para todo el período 2015. Estos productos proporcionan valores de temperatura (°K) de la superficie terrestre (LST) diarios y cada 8 días respectivamente, utilizando 7 bandas del infrarrojo medio y térmico, con una resolución espacial de 1 km. El algoritmo que permite la estimación de los datos se basa en cualquier tipo de cobertura de suelo y se obtiene a partir de imágenes diurnas y nocturnas

¹ Servidor de descarga disponible en <http://reverb.echo.nasa.gov/reverb>

tomadas en condiciones de cielo despejado, en donde el producto MOD11A2 es un compilado de los valores promedio de LST a cielo despejado y en un período de 8 días (Wang, 2006; Mas, 2011). Así, los valores de LST de ambos productos reflejan la interacción de energía entre la superficie de la Tierra y la atmósfera, proveyendo información de relevancia para el proceso de clasificación de tipos de superficie terrestre, con un alto impacto en procesos hidrológicos como la evapotranspiración (Esparza, 2013).

3.2.2.c. Producto MOD13A2 de MODIS

Los Índices de Vegetación NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) y EVI (*Enhanced Vegetation Index*) son proporcionados por el producto MOD13A2 Versión 5 de MODIS, a una resolución espacial de 1 km, cada 16 días (Solano *et al.*, 2010). De estos índices, sólo el NDVI fue utilizado para la caracterización temporal del estado de la vegetación en el área de estudio, y su ecuación es la siguiente:

(7)

$$NDVI = \frac{IRC - R}{IRC + R}$$

IRC es la reflectividad espectral en el rango del infrarrojo cercano, en donde la luz que es reflejada por la superficie de la vegetación es dominante, y R que es la reflectividad espectral en el rango rojo del espectro electromagnético, por medio de la cual la clorofila absorbe el máximo de la radiación solar incidente (Durán-Alarcón, 2013). Este índice entrega valores de verdor normalizados entre -1 y +1, en donde 1 representa una superficie con una cubierta de biomasa máxima, 0 corresponde a suelo completamente desnudo o sin vegetación, y los valores negativos indican presencia de láminas de agua, cubiertas con nieve o nubes (Mas, 2011; Esparza, 2013). La utilidad de este índice reside en una multiplicidad de factores, donde se destaca la posibilidad de distinguir vegetación sana, analizar la vegetación con estrés por falta de agua, entre otras (Esparza, 2013).

3.2.3. Datos *in-situ* de la Estación LAB-net

Los datos *in-situ* fueron proporcionados por la estación LAB-net CCS (*Chimbarongo Calibration Site*), correspondiente al período comprendido entre enero y diciembre del año 2015, es decir, para las mismas fechas de la adquisición de imágenes satelitales. Esta información fue entregada en series de cada 5 minutos, dependiendo de la disponibilidad de datos. Las instalaciones LAB-net CCS se ubican en una cobertura de cultivos orgánicos de frambuesas, en las coordenadas 34°43'38.93" Latitud Sur, 70°58'47.57" Latitud Oeste, y ya contienen experiencias previas para el monitoreo del contenido volumétrico y gravimétrico de la humedad del suelo (Olivera-Guerra *et al.*, 2014; Mattar *et al.*, 2016).

3.2.3.a. Datos climatológicos

Para la estimación de datos climatológicos se utilizaron datos de Precipitación [mm] medidos con el instrumento Texas Electronics TE525MM, Temperatura del Aire [°K]

proporcionada por el instrumento Vaisala HMP60 y Humedad del suelo [$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$] a 0.20 y 0.07 metros de distancia de la superficie, medidos con los instrumentos Campbell Sci. CS616 y Campbell Sci. CS650 respectivamente. Todos estos instrumentos están instalados en la Estación LAB-net CCS y registran datos cada 5 minutos.

3.2.3.b. Estimación de la Evapotranspiración de Referencia diaria

Para la estimación de la Evapotranspiración de Referencia (ET₀) en el punto de la Estación LAB-net CCS, se utilizaron además de los anteriores, datos de Humedad Relativa [%] proporcionada por el instrumento Vaisala HMP60, Radiación Neta [W m^{-2}] entregada por Kipp & Zonen NR-Lite2, Velocidad de Viento [m s^{-1}] proporcionada por R.M. Young 3002 y Flujo de calor del Suelo [W m^{-2}] a 0.08 metros de distancia de la superficie, proporcionado por el instrumento Hukseflux HFP01SC.

3.3. Metodología

3.3.1. Objetivo 1: Identificar las necesidades de los usuarios, en relación a los requerimientos hídricos de los cultivos ubicados en la zona de estudio.

3.3.1.a. Método Mixto

El enfoque de investigación se basó en la integración de métodos cualitativos y cuantitativos, más conocido como enfoque mixto o pragmático. Esta metodología de investigación pretende utilizar las fortalezas de ambos tipos de investigación, así como minimizar sus debilidades potenciales, por medio de un proceso que implica la recolección, análisis y vinculación de datos cuantitativos (objetivos) y cualitativos (subjetivos) en un mismo estudio, con el fin de responder a un planteamiento problemático a partir de posiciones compatibles y complementarias (Hernández et al., 2010; Sánchez, 2015). La metodología cualitativa proporciona información de una manera abierta, a través de la búsqueda del ordenamiento complejo y subjetivo de la realidad, el cual es necesario traducir o interpretar (Canales, 2006), en donde se invita al entrevistado a revelar aquella experiencia u observación que el investigador no puede observar directamente, debido a fenómenos temporales y locales (Flick, 2004; DiCicco-Bloom y Crabtree, 2006). Por otro lado, la metodología cuantitativa utiliza la recolección de datos para probar hipótesis, en base a mediciones numéricas y análisis estadístico, con el objetivo de establecer patrones de comportamiento en una población, de manera que la realidad se variabiliza por medio de criterios de comparabilidad o relacionalidad entre alternativas, dejándola representada como “valores” de una determinada variable (Canales, 2006; Asún, 2006; Hernández *et al.*, 2010). En base a lo anterior, la presente investigación se orientó a la identificación de necesidades de la población de agricultores en estudio, en relación a los requerimientos hídricos de sus cultivos, así como a la identificación de su percepción sobre la escasez hídrica en el escenario en que se insertan. En donde el enfoque mixto, permitió usar el instrumento más apropiado para la investigación, ya que no estandariza las visiones de los investigadores, y privilegia el trabajo multidisciplinario, particularmente cuando las respuestas no son simples ni claras, de manera que el problema se plantea con una visión más completa (Johnson and Onwuegbuzie, 2008; Hernández *et al.*, 2010; Flickr, 2014).

3.3.1.b. Entrevista Estructurada

El instrumento aplicado fue la entrevista estructurada (Apéndice 1), que corresponde a un conjunto de preguntas previamente establecidas, en donde se prescribe qué se preguntará y en qué orden (Corbetta, 2003; Hernández *et al.*, 2010; Vargas, 2012). De esta forma se formularon las mismas interrogantes a todos los participantes, para así poder comparar la información establecida, permitiendo que las respuestas a esas preguntas se puedan clasificar y analizar con mayor facilidad (Taylor y Bogdan, 1992), sin embargo, los entrevistados tienen plena autonomía de manifestar su respuesta libremente (Corbetta,

2003). Fue así que para la construcción de las entrevistas, se tomó como marco de referencia el formato encuesta de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el cual fue utilizado para el levantamiento de información primaria en comunidades rurales de la Región de O'Higgins, en el marco de un proyecto titulado Gestión del Riesgo de Sequía y Eventos Climáticos Extremos en Chile (FAO, 2011). En base a esto, las entrevistas se estructuraron principalmente en ocho secciones de preguntas:

- Sección 1 Tenencia de Tierras: El objetivo de esta sección es caracterizar de forma jurídica la relación entre los agricultores y la tierra, permitiendo determinar grados de vulnerabilidad ante la sequía.
- Sección 2 Cultivos: Este ítem recoge información sobre la producción agrícola en condiciones normales, así como su ubicación en el espacio.
- Sección 3 Riego: Esta sección tiene por objetivo conocer las fuentes de agua a las que el agricultor tiene acceso, así como su frecuencia de uso y tecnificación.
- Sección 4 Sequía: El objetivo de este ítem es conocer el estado de las fuentes de agua en condiciones de escasez hídrica, permitiendo cuantificar el impacto de ésta.
- Sección 5 Percepción de la sequía: Este punto permite conocer cómo el agricultor reconoce la existencia de escasez hídrica, qué hace al respecto y qué tan afectado se siente.
- Sección 6 Asistencia durante una sequía: Este ítem permite identificar las principales instituciones y/o grupos organizados, de los cuales el agricultor espera recibir ayuda durante una sequía, así como la forma de ayuda.
- Sección 7 Organización: Esta sección permite conocer el grado de organización en que se encuentra el agricultor, así como la relación con sus vecinos.
- Sección 8 Proyecciones y necesidades futuras: El objetivo de este punto es explicitar la imagen futura del agricultor en relación a la disponibilidad hídrica, la relación entre sus pares y si se encuentra preparado para un mayor uso de tecnologías, entre otras variables.

3.3.1.c. Elección de muestra de la población

El tipo de muestreo que se utilizó en el área de estudio es de tipo no probabilístico o dirigido. En éste, la selección de los informantes no depende de la probabilidad, sino de los propósitos relacionados a las características de la investigación (Hernández *et al.*, 2010). Es así que los criterios de selección de entrevistados fueron los siguientes:

- Cercanía (radio de 5 km) a las instalaciones de la estación LAB-net.
- Pequeños y medianos agricultores que pertenezcan a INDAP (Ley 18.910, 1990):

1. Explotar una superficie menor o igual a 12 hectáreas de riego básico, cualquiera sea su régimen de tenencia.

2. Sus activos no deben superar las 3.500 U.F.

3. Sus ingresos deben provenir principalmente de la explotación agrícola.

4. Debe trabajar directamente la tierra, cualquiera sea su régimen de tenencia.

A la vez, si cuenta con una superficie de hectáreas de riego básico superior, la excepción se establecerá en los casos que el excedente esté destinado en forma permanente a otros fines distintos al silvoagropecuario.

3.3.1.d. Trabajo de campo

El contacto con los agricultores se estableció principalmente por medio de asesores INDAP, los cuales mantenían un trabajo permanente con éstos. Fue así que se realizaron dos campañas de terreno en los meses de mayo y julio de 2015. Las entrevistas fueron realizadas a 21 agricultores en función de su disponibilidad y relación establecida con INDAP, y tuvieron una duración media de 30 minutos. Los datos entregados por los informantes fueron registrados en pautas (Apéndice 1), y luego analizados como se explicará posteriormente.

3.3.1.e. Análisis de la información

Las entrevistas fueron analizadas por medio de la metodología llamada Análisis del Contenido. Esta se define como el conjunto de procedimientos objetivos, sistemáticos e interpretativos, que se basan en técnicas cuantitativas y cualitativas, y tiene por objetivo la recolección, elaboración y procesamiento de datos relevantes, permitiendo generar un diagnóstico a través de la revelación del contenido investigado (Andréu, 2000; Piñuel, 2002; Porta y Silva, 2003). En este proceso es fundamental la reducción de la información, de manera de extraer aquellos datos más relevantes con respecto a los objetivos de investigación (Cáceres, 2003; Coffey y Atkinson, 2005). Es así que esta técnica permite la integración de un análisis cuantitativo, que tiene por objetivo la cuantificación y representación de frecuencias de aparición de ciertas características de contenido, así como la integración de un análisis cualitativo, donde la lógica es la visualización de la presencia o ausencia de una característica o conjunto de características, en un cierto fragmento de mensaje tomado en consideración (Andréu, 2000).

Etapas del proceso de Análisis del Contenido en base a los trabajos desarrollados por Fernández (2002), Porta y Silva (2003) y Cáceres (2003):

- Unidades de Análisis: representan los segmentos de información que son caracterizados e individualizados para posteriormente categorizarlos, relacionarlos y establecer inferencias a partir de ellos (Hernández, 1994). Para la presente investigación de diferencian dos tipos:

- Ítems para el análisis cuantitativo: secciones de preguntas.
- Frases para el análisis cualitativo: definición de sequía.

- Códigos de Categorización: Son los identificadores de cada grupo de categorías (Cáceres, 2003).

- Para el análisis cuantitativo, se utilizó el concepto más cercano de las preguntas a analizar, tal como se presenta (ver Cuadros del 1 al 7):

Cuadro 1. Categorización Sección 1 (Elaboración propia, 2016).

Sección 1: Tenencia de Tierras				
ID	Agricultor/a	Propietario/a [Há]	Arrendatario/a [Há]	Cultivado [Há]
1				

Cuadro 2. Categorización Sección 2 (Elaboración propia, 2016).

Sección 2: Cultivos					
ID	Producto	Hectáreas	Siembra	Cosecha	Rotación
1					

Cuadro 3. Categorización Sección 3 (Elaboración propia, 2016).

Sección 3: Riego								
ID	Cultivo	Nº veces que riega y duración	Temporada de riego	Infraestructura de riego	Infraestructura faltante	Tipo de riego actual	Fuente de abastecimiento y limitantes	Nº DAA
1								

Cuadro 4. Categorización Sección 4 (Elaboración propia, 2016).

Sección 4: Sequía							
ID	Definición sequía	Disminución fuente de agua	Cuando	Cuanto	Cantidad cosechada menor	Calidad cosechada menor	Pérdidas económicas
1							

Cuadro 5. Categorización Sección 5 y 6 (Elaboración propia, 2016).

Sección 5 y 6: Percepción y asistencia durante una sequía							
ID	Época afectación sequía	¿Por qué?	Indicios sequía	Causas sequía	Que haría para enfrentarla	Aviso a institución	Ayuda desde institución
1							

Cuadro 6. Categorización Sección 7 (Elaboración propia, 2016).

Sección 7: Organización				
ID	Pertenece a alguna organización	Cual	Como se organizan	Relación actual vecinos
1				

Cuadro 7. Categorización Sección 8 (Elaboración propia, 2016).

Sección 8: Proyecciones y necesidades futuras								
ID	Disponibilidad agua futura	Relación vecinos futura	Información para cultivos	Manejo de tecnología	Usaría información de EUA	Instalaría aparato	Condición	Confianza en
1								

- Para el análisis cualitativo se utilizaron dos tipos de definiciones. Este fue representado en el siguiente cuadro (Cuadro 8), en base a la matriz de relaciones para códigos a partir de elementos comunes de Cáceres, 2003:

Cuadro 8. Análisis Cualitativo (Adaptado de Cáceres, 2003).

Tipo	Catastrófico	Poca o sin afectación	Neutral
Agricultura			
Recursos Naturales			
Todo			

A. Según grado de afectación:

1. Catastróficas: describen una situación grave o muy mala.
2. Poca o nada de afectación: su situación es favorable.
3. Neutrales: no apelan a elementos positivos o negativos en su respuesta.

B. Según elementos descritos:

1. Agricultura: describe elementos del cultivo, producción, riego y administración de la actividad productiva.
2. Recursos Naturales: describe elementos del ecosistema.
3. Todo: hacen referencia a varias variables, tal como la agricultura, recursos naturales, formas de vida, religiosidad, entre otras.

- Codificación de los datos: El criterio de clasificación en las casillas de categorización es inferencial y se basa fundamentalmente en razonamientos del investigador, así como en elementos teóricos que permitan consolidar la clasificación (Cáceres, 2003).

- Cuantificación de los datos: Se refiere a la forma de contar la información categorizada (Porta y Silva, 2003). Tanto para el análisis cuantitativo como para el cualitativo, se utilizó la frecuencia proporcional, que básicamente es la frecuencia de cada dato codificado expresado en porcentaje.
- Análisis de resultados: Finalmente se procedió a la interpretación de los datos cuantificados, por medio de un análisis general en función de los objetivos perseguidos por la investigación.

3.3.2. Objetivo 2: Caracterizar la dinámica hídrica del área de estudio, a partir de datos de teledetección e *in-situ*.

Para la caracterización de la dinámica hídrica del área de estudio, se procedió a la recolección, análisis e interpretación de imágenes satelitales provenientes de los sensores MIRAS (SMOS) y MODIS (Aqua y Terra), así como de variables climatológicas de un punto del área de estudio, el cual corresponde a la estación LAB-net CCS, para el período comprendido entre enero y diciembre de 2015, según los datos disponibles.

3.3.2.a. Humedad del Suelo desde SMOS

Para caracterizar la Humedad del Suelo a partir del producto TBL3 de SMOS, se procedió a la obtención de imágenes desde los servidores de la NASA, donde posteriormente se extrajeron sus valores para el área de estudio. Estos valores fueron filtrados por medio del índice DQX (*Data Quality Index*), que predice la confiabilidad de los datos si este índice es menor a 0.02, ya que DQX reflejaría la calidad de los datos por medio de la cuantificación del error inducido por la recuperación del modelo de transferencia radiativa L-MEB (Bircher *et al.*, 2012; Rötzer *et al.*, 2012). Finalmente, se obtuvieron series temporales de datos de humedad de suelo, que fueron comparadas con las series temporales de los datos *in-situ* registrados por la estación LAB-net CCS.

3.3.2.b. Vigor de Vegetación desde MODIS

El Vigor de Vegetación fue analizado a partir del producto MOD13A2 de MODIS, por medio del Índice de Vegetación NDVI. Para esto, fueron descargadas las imágenes que se encontraban disponibles (desde enero a noviembre de 2015) desde los servidores de la NASA, para posteriormente interpretar estas en función de las series temporales de datos arrojadas de la extracción de valores del área de estudio, que caracterizaron la dinámica temporal del área de estudio.

3.3.2.c. Precipitación y Humedad del Suelo desde LAB-net

La Precipitación (PP) fue obtenida directamente desde los datos arrojados por la estación LAB-net CCS y su unidad de medida son los mm. A la vez, la Humedad de Suelo (HS) también fue proporcionada directamente desde la estación LAB-net CCS y su unidad de medida son los $m^3 m^{-3}$. Ambas variables fueron caracterizadas posteriormente en función

de la serie temporal de datos disponibles y comparadas con las demás variables caracterizadas en este método.

3.3.2.d. Temperaturas (estrés hídrico v/s heladas) desde LAB-net y MODIS

La Temperatura del Aire (T) fue obtenida directamente de las mediciones de la estación LAB-net CCS y posteriormente caracterizada en función de su serie temporal. A la vez, se procedió a la recolección de los productos MOD11A1 y MOD11A2 de MODIS desde los servidores de la NASA, para posteriormente interpretar estos en función del área de estudio. Fue así que se obtuvieron series temporales de imágenes de Temperatura Diarias (LST diario) y Temperaturas compiladas de 8 días (LST 8 días), de las cuales se extrajeron los valores que caracterizan la dinámica temporal del área de estudio. Todas las temperaturas (LAB-net CCS y MODIS) fueron entregadas en unidades de °K, sin embargo se convirtieron a °C a través de la siguiente ecuación:

(8)

$$^{\circ}\text{C} = ^{\circ}\text{K} - 273.15$$

3.3.2.e. Evapotranspiración de Referencia diaria

La evapotranspiración de referencia (ET0) fue obtenida a través del método ASCE Penman-Monteith (ASCE-PM), el cual se basa en la estandarización (Comité de Estandarización EWRI-ASCE) de la ecuación (9) de ET0, resultante del método FAO Penman-Monteith (Allen *et al.*, 2005). Esta fue estimada por medio de la ecuación 9:

(9)

$$ET0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d U_2)}$$

donde ETref es la ET0 para superficies bajas o altas [mm día⁻¹], Rn es la Radiación Neta Calculada [MJm⁻² día⁻¹], G es el Flujo de Calor en el Suelo [MJm⁻² día⁻¹], T es la Temperatura Media [°C] del período a una altura entre 1.5 y 2.5 metros, U₂ es la Velocidad Media del Viento [ms⁻¹] a 2 metros de altura, e_s es la Presión de Vapor a Saturación [kPa] a una altura de 1.5 a 2.5 metros, calculada como promedio de las presiones de vapor a las temperaturas máxima y mínima, e_a es la Presión de Vapor Actual [Kpa] a 1.5 a 2.5 metros de altura, Δ es la Pendiente de la Curva de Presión de Vapor a Saturación-Temperatura [kPa°C⁻¹], γ es la Constante Psicométrica [kPa°C⁻¹], C_n es la Constante del Numerador [K mm s³ Mg⁻¹ día⁻¹ or K mm s³ Mg⁻¹ h⁻¹] (numerador que cambia con el tipo de referencia y tiempo de cálculo), C_d es la Constante del Denominador [sm⁻¹] (denominador que cambia con el tipo de referencia y tiempo de cálculo) y las unidades de medida para el coeficiente 0.408 son m² mm MJ⁻¹ (Allen *et al.*, 2005).

Su cálculo se estimó en función de los datos horarios climatológicos disponibles en la estación LAB-net CCS (Cuadro 9), para posteriormente ser evaluada en función de series temporales diarias de datos, analizando su oscilación con respecto a la caracterización de

otras variables climatológicas; así como de las observaciones propias registradas en la toma de datos en el área de estudio.

Cuadro 9. Variables, unidades, datos e instrumentos utilizados en la estimación de ET0 (Elaboración propia, 2016).

Variables psicométricas y atmosféricas	Abreviatura	Unidades	Valor	Obtención	Datos utilizados	Instrumento
Radiación Neta Calculada	Rn	MJ m ⁻² día ⁻¹	Variable	Directamente desde LAB-net	Radiación Neta	Kipp & Zonen NR-Lite2
Flujo de Calor en el Suelo	G	MJ m ⁻² día ⁻¹	Variable	Directamente desde LAB-net	Flujo de Calor en el Suelo	Hukseflux HFP01SC
Temperatura Media	T	°C	Variable	Directamente desde LAB-net	Temperatura del Aire	Vaisala HMP60
Velocidad Media del Viento	U ₂	m s ⁻¹	Variable	Directamente desde LAB-net	Velocidad del Viento	R.M. Young 3002
Presión de Vapor a Saturación	e _s	kPa	Variable	Ecuación derivada de datos LAB-net	Temperatura del Aire (T)	Vaisala HMP60
Presión de Vapor Actual	e _a	kPa	Variable	Ecuación derivada de datos LAB-net	(T) y Humedad Relativa	Vaisala HMP60 y Vaisala HMP60
Pendiente de la Curva de Presión de Vapor	Δ	kPa °C ⁻¹	Variable	Ecuación derivada de datos LAB-net	Temperatura del Aire	Vaisala HMP60
Constante Psicométrica	γ	kPa °C ⁻¹	0.06515	ASCE-EWRI Task Committee Report	Presión Atmosférica	-
Constante del Numerador	Cn	K mm s ³ Mg ⁻¹ día ⁻¹	37	ASCE-EWRI Task Committee Report	-	-
Constante del Denominador	Cd	s m ⁻¹	0.96	ASCE-EWRI Task Committee Report	-	-

A continuación se describe el procedimiento necesario para la obtención de las variables

psicométricas y atmosféricas necesarias para la utilización de la ecuación ASCE-PM, en función del procedimiento documentado por el Comité de Estandarización EWRI-ASCE:

- Datos requeridos

- Temperatura del Aire (T): se requiere la media entre la máxima y la mínima de la temperatura del aire diaria.

(10)

$$T = \frac{T \text{ máx} + T \text{ mín}}{2}$$

donde T es la media de la Temperatura del Aire diaria [°C], T máx es la máxima Temperatura del Aire diaria [°C] y T mín es la mínima de la Temperatura del Aire diaria [°C]. Esta se obtuvo directamente de los datos arrojados por la estación LAB-net CCS.

-Presión Atmosférica (P): es necesario utilizar la media de la presión atmosférica, siendo predicha a partir de la elevación del área de estudio, en función de la una formulación simplificada de la Ley Universal de los Gases.

(11)

$$P = 101.3 \left(\frac{293 - 0.0065Z}{293} \right)^{5.26}$$

donde P es la media de la Presión Atmosférica a una elevación “z” [kPa] y Z es la elevación del área de estudio en metros sobre el nivel del mar [m].

- Constante Psicométrica (γ): se utiliza una función constante de la presión atmosférica media.

(12)

$$\gamma = 0.000665 P$$

donde P tiene unidades de Kpa e γ tiene unidades de Kpa °C⁻¹.

- Pendiente de la Curva de Presión de Vapor (Δ):

(13)

$$\Delta = \frac{2503 \left(\frac{17.27 T}{T + 237.3} \right)}{(T + 237.3)^2}$$

donde Δ es la Pendiente de la Curva de Presión de Vapor [kPa °C⁻¹] y T es la media de la Temperatura del Aire [°C].

- Presión de Vapor a Saturación (e_s): esta representa la capacidad del aire para mantener el vapor de agua.

(14)

$$e_s = \frac{e^0(T_{max}) + e^0(T_{min})}{2}$$

donde $e^0(T)$ es la función de la presión vapor de saturación [kPa] (Ecuación 15):

(15)

$$e^0(T) = 0.6108 \left(\frac{17.27 T}{T+237.3} \right)$$

donde T tiene unidades de °C.

- Presión de Vapor Actual (e_a): esta se utiliza para representar el contenido del agua (humedad) en el aire del clima local. Existen diversos métodos en función de la calidad de los datos. Para esta memoria se utilizó el cálculo de la e_a en función de la Humedad Relativa (HR) media diaria del área de estudio, a través de la siguiente ecuación:

(16)

$$e_a = \frac{HR \text{ media}}{100} e^0(T \text{ media})$$

donde HR media es la media de la Humedad Relativa, generalmente definida como el promedio entre la humedad relativa máxima y mínima del día, y T media es la media de la Temperatura del Aire. La unidad de medida de la e_a son los kPa.

- Radiación Neta (R_n): es la cantidad neta de energía radiante necesaria en una superficie de vegetación o suelo para evaporar el agua (o en su defecto calentar la superficie). La R_n incluye componentes de radiación de onda corta y onda larga:

(17)

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

donde R_{ns} es la Radiación Neta de Onda Corta [$\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$] y R_{nl} es la Radiación Neta de Onda Larga que sale [$\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$], en donde la resta es generalmente positiva o cero. Esta se obtuvo directamente de los datos arrojados por la estación LAB-net CCS.

- Flujo de Calor en el Suelo (G): es la energía térmica que calienta el suelo. G es positivo cuando el suelo se calienta y negativo cuando se enfría. Para períodos diarios y semanales, G en la vegetación es relativamente pequeña en comparación con R_n , de modo que se omite. G se obtuvo directamente de los datos arrojados por la estación LAB-net CCS, para el período de tiempo en que estaban disponibles (agosto a noviembre de 2015) y su unidad de medida es $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$.

- Velocidad del Viento (U_2): esta varía con la altura desde la superficie de medición y requiere una U_2 de 2 metros. Esta se obtuvo directamente de los datos arrojados por la estación LAB-net CCS.
- Constante del Numerador (C_n): esta variable considera el paso del tiempo y la rugosidad aerodinámica de la superficie. Esta se obtuvo a partir del cuadro 10, en base a un cálculo diurno (*Hourly during daytime*) y uno nocturno (*Hourly during nighttime*).
- Constante del Denominador (C_d): esta variable considera el paso del tiempo, la resistencia superficial y la rugosidad aerodinámica de la superficie. Esta se obtuvo a partir de la cuadro 10, en base a un cálculo diurno (*Hourly during daytime*) y uno nocturno (*Hourly during nighttime*).

Cuadro 10. Valores para C_n y C_d (Allen et al., 2005).

Calculation Time Step	Short Reference ETos		Tall Reference Etrs		Units for ETos y ETrs	Units for Rn y G
	C_n	C_d	C_n	C_d		
Daily	900	0.34	1600	0.38	mm d-1	MJ m ⁻² d ⁻¹
Hourly during daytime	37	0.24	66	0.25	mm h-1	MJ m ⁻² d ⁻¹
Hourly during nighttime	37	0.96	66	1.7	mm h-1	MJ m ⁻² d ⁻¹

3.3.3. Objetivo 3: Generar una propuesta de manejo sustentable del agua incorporando las necesidades de los usuarios, así como las tecnologías disponibles.

3.3.3.a. Análisis estadístico

Para la generación de una propuesta de manejo sustentable del agua, se procedió a la creación de un mapa de coberturas homogéneas, a partir de valores de NDVI para el año 2015 (enero a noviembre). Para esto se utilizó el algoritmo de conglomerados *K-means*, que es un método de clasificación de datos, que se basa en el análisis de la varianza de éstos. *K-means* agrupa un conjunto de datos en un número predefinido de *clusters* (K), por medio de la asignación de cada elemento a su grupo más cercano, en donde los *clusters* son representados por la media (o media ponderada) de los puntos, es decir, por su centroide (García y Gómez, 2006; Beca, 2007; Villagra et al., 2009). Fue de esta forma que se generaron 13 sitios homogéneos, considerando una iteración de 5 veces. El algoritmo utilizado se puede resumir de la siguiente manera:

1. Selección de un conjunto aleatorio de centroides iniciales.
2. Asignación de cada elemento del conjunto de datos al centroide más cercano.
3. Recalculo de los centroides, utilizando la siguiente fórmula:

(18)

$$C_j = \frac{1}{|C_j|} \sum_{\forall x \in C_j} z$$

donde C_j es un centroide, z representa un elemento del conjunto de datos que pertenece a C_j y $|C_j|$ corresponde al número de elementos en el *cluster* C_j .

4. Iterar (pasos 2 y 3), hasta que se alcance la condición de parada.

El resultado de este método, es una imagen correspondiente al área de estudio, donde se presentarán zonas agrupadas en unidades espaciales similares. Posteriormente, estas zonas fueron sometidas a un análisis llamado ANOVA (*Analysis of Variance*) de un factor (una variable de agrupación), que es una herramienta estadística que permite comparar varios grupos en función de una variable cuantitativa, de forma que puede contrastar por medio de hipótesis si efectivamente las medias poblacionales son distintas o no (Serrano, 2003). Para (K) poblaciones, las hipótesis de contraste son las siguientes:

H_0 (Hipótesis nula): $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$; Las medias poblaciones son iguales.

H_1 (Hipótesis alternativa): Al menos dos medias poblaciones son distintas.

Una vez que se descartó la hipótesis nula, se procedió a realizar dos pruebas estadísticas (Test de Tukey y Test de Fisher), con un nivel de significancia de un 95%, con el fin de realizar un post-proceso estadístico de análisis de conglomerados, encontrando zonas estadísticamente diferentes o similares en función de la fenología de la zona. Los métodos HSD (*Honestly Significant Difference*) de Tukey y LSD (*Least Significant Difference*) de Fisher, son test de comparaciones múltiples que permiten comparar las medias (centroides) de los conglomerados, de manera que especifican las hipótesis alternativas, definiendo que grupos son parecidos entre sí, es decir, los reagrupa (Di Rienzo *et al.*, 2008). Tukey (Ecuación 19 y 20) se basa en la distribución del rango estudentizado, que es la distribución que sigue la diferencia entre el máximo y el mínimo de las diferencias entre la media muestral y la media poblacional de las variables (Abdi and Williams, 2010), Fisher (Ecuación 21 y 22), se basa en crear un valor común (umbral), que se fundamenta a la vez en el test t de Student, en donde se analizan todas las diferencias entre las medias de los niveles, controlando la tasa de error individual en función de un nivel de significancia especificado. Las diferencias que estén por encima del umbral, indicarán una diferencia de medias significativa y las diferencias que estén debajo, indicarán una diferencia no significativa (Meier, 2006; Di Rienzo *et al.*, 2008; Williams and Abdi, 2010).

(19)

$$q(k, N - k) = \frac{\text{máx}(\bar{y}_i - \mu_i) - \text{mín}(\bar{y}_j - \mu_j)}{\sqrt{\frac{S^2 E}{n}}}$$

y

(20)

$$HSD = q_{k,N-k}(\alpha) * \sqrt{\frac{S^2E}{n}}$$

donde N es el número total de observaciones, k es el número de niveles del factor, n es el tamaño muestral de cada nivel del factor, S^2E es la estimación de la varianza del error o residual, \bar{y}_i e \bar{y}_j son las medias muestrales de los niveles i y j, $q(k, n - k)(\alpha)$ es la distribución del rango estudentizado con los parámetros de k grupos y n-k grados de libertad y con un nivel de significancia α , debiendo ser además HSD (Diferencia significativa) $< |y_i - y_j|$.

(21)

$$t_{N-t} = \frac{\bar{y}_i - \bar{y}_j}{\sqrt{S^2E \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}}$$

Y

(22)

$$LSD = t_{N-t} \left(\frac{\alpha}{2} \right) * \sqrt{S^2E \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

donde N es el número total de observaciones t es el número de niveles del factor, n_i y n_j son los tamaños muestrales de los niveles i y j, S^2E es la estimación de la varianza del error o residual, \bar{y}_i e \bar{y}_j son las medias muestrales de los niveles i y j, y $t_{N-t} \left(\frac{\alpha}{2} \right)$ es la distribución de t de *Student* con N-t grados de libertad, a un nivel de significación $\frac{\alpha}{2}$, debiendo ser además HSD (Diferencia significativa) $< |y_i - y_j|$.

3.3.2.b. Clasificación de imágenes

De esta forma se reagruparon los conglomerados, definiendo 8 sitios homogéneos (de los 13 considerados inicialmente). Esta imagen resultante fue filtrada por medio de un filtro de media de paso bajo (3x3), que es un proceso que consiste en la aplicación a cada uno de los pixeles de la imagen una matriz de 3x3, generando un nuevo valor que para cada celda del centro de la matriz. Este filtro se calcula como un promedio de los valores de las celdas circundantes, de manera que elimina los datos extremos produciendo una imagen más “suavizada” (Sobrinó, 2000; Peña, 2008). Luego, estas zonas fueron intersectadas con una matriz derivada de la distancia al río Tinguiririca, encontrando zonas de alto o bajo vigor de vegetación que podrían demandar alta o baja cantidad de agua para irrigación desde el afluente principal. Esta última clasificación consistió en asignar

un criterio de prioridad espacial sobre la irrigación en base a homogeneización de zonas similares, con el fin de establecer una propuesta basada en el uso eficiente del agua del sector agrícola, según demanda hídrica dada por la fenología de la zona y la respectiva distancia a los afluentes principales o cuerpos de agua como embalses. Finalmente, las zonas generadas, fueron descritas según la cobertura de vegetación y prioridad de riego en función de la distancia a un afluente.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Entrevista

4.1.1.a. Dimensión cuantitativa

En relación al análisis cuantitativo de la investigación, se obtuvieron principalmente los siguientes resultados:

Cuadro 11. Principales Resultados de las Entrevistas (Elaboración propia, 2016).

PRINCIPALES RESULTADOS		
Pregunta	Sección	%
Sección 1: Tenencia de Tierras		
	N° encuestado/as	21
	% Mujeres	19
	% Hombres	81
1	% Propietario/as	61.9
1	% Arrendatario/as	38.1
Sección 2: Cultivos		
2	Superficie total [Há]	226.4
3	Superficie cultivada [Há]	188.5
Sección 3: Riego		
9	% Con infraestructura de riego	52.4
9	% Sin infraestructura de riego	47.6
10	% Necesidad de riego tecnificado	61.1
11	% Tipo de riego tecnificado	9.5
14	% con limitaciones de acceso al agua	68.4
Sección 4: Sequía		
16	% Definición catastrófica	67
16	% Definición con poca o sin afectación	19
16	% Definición neutral	14
16	% Definición asociada a la agricultura: cultivo, producción, riego y administración	62
16	% Definición asociada a los RRNN	19
16	% Definición asociada a un todo (RRNN, agricultura, humano, etc)	19
17	% Notan disminución de caudal	95.2
17	Promedio de años	6.94
17	Promedio de % de disminución	44.7
20	% Con pérdidas económicas	44.4
Sección 5: Percepción y asistencia durante una sequía		
24	% Causa sequía hidroeléctrica*	47.6

24	% Causa sequía humano*	23.8
24	% Causa sequía clima*	42.9
24	% Causa sequía calentamiento global *	38.1
26	% Avisaría a INDAP	57.1
26	% No avisaría a instituciones	14.3
27	% Apoyo de infraestructura de riego durante sequía	57.1
Sección 6: Organización		
28	% Personas en organización	33.3
30	% Buena relación con vecinos	76.2
30	% Regular relación con vecinos	19.0
30	% Mala relación con vecinos	4.8
Sección 7: Futuro y necesidades		
31	% Cree que disponibilidad de agua a futuro será menor o complicada	66.7
32	% Buena relación con vecinos futura (Unión)	38.1
32	% Mala relación con vecinos futura (conflictos)	61.9
33	% Necesita información de humedad de suelo*	36.8
33	% Necesita información de precipitaciones*	89.5
33	% Necesita información de mercado*	10.5
34	% Manejo de celular*	90.5
34	% Manejo de computador*	33.3
34	% Manejo de internet*	25
36	% No tiene condiciones para instalar un aparato en su predio	55.6
36	% Instalaría un aparato en su predio para hacer un uso más eficiente del agua	100

Aquellas variables con *, corresponden al traslape de resultados, ya que los/as entrevistados/as podían responder con más de una respuesta.

La frecuencia proporcional expresada en cada categoría de datos, indica con respecto a la Sección 1: Tenencia de Tierras, que la mayoría (61.9%) de los/as entrevistados/as serían propietarios de sus hectáreas de cultivo.

En relación a la Sección 3: Riego, se obtuvo que sólo un 52.4% de los/as entrevistados/as tenía algún tipo de infraestructura de riego, ya fuera riego tecnificado, tranque y/o pozo, y si bien un 61.1% indica que tiene necesidades de riego tecnificado, sólo un 9.5% de los/as agricultores/as tiene dicho tipo de riego. Finalmente, un 68.4% dice tener algún tipo de limitaciones para acceder al recurso hídrico.

Por otra parte, la Sección 4: Sequía en su forma cuantitativa indica que un 95.2% de los/as entrevistados/as notan una disminución del caudal, en una magnitud del 44.7% en un promedio de 7 años. A la vez se les preguntó por las pérdidas económicas en relación a la disminución del caudal y un 44.4% respondió que sí había tenido pérdidas.

Con respecto a la Sección 5: Percepción y asistencia durante una sequía, se les preguntó por las causas que ellos identificaban en relación a la sequía. Los resultados si bien se traslapan -ya que podían identificar más de una causa-, un 47.6% culpa a la hidroeléctrica Tinguiririca Energía como causante de la sequía, un 23.8% dice que es el humano la causa, un 42.9% indica que sería el clima y un 38.1% dice explícitamente que la causa sería el calentamiento global. Por otra parte, en caso de asistencia durante una sequía, un 57.1% de los/as entrevistados/as avisaría a INDAP y un 14.3% no daría aviso a alguna institución. Finalmente, un 57.1% cree que la infraestructura de riego sería un buen apoyo durante una emergencia agrícola relacionada a la escasez hídrica.

La Sección 6: Organización, indica que un 76.2% de los/as agricultores/as tendría buena relación con sus vecinos y sólo un 4.8% tendría mala relación. Sin embargo, sólo un 33.3% se encuentra formando parte de algún tipo de organización.

La Sección 7: Futuro y necesidades, diagnostica que un 66.7% de los/as entrevistados/as cree que la disponibilidad de agua en el futuro será cada vez menor. En base a esto, un 61.9% dice que la relación con sus vecinos podría tornarse mala o conflictiva. Por otra parte, se les preguntó sobre qué información climatológica sería positiva para administrar el riego de sus cultivos, y si bien los resultados se traslapan, indican que un 89.5% necesita información sobre precipitaciones, un 36.8% sobre humedad del suelo y un 10.5% información de mercado. En relación al manejo de tecnologías, un 90.5% dice manejar el celular, un 33.3% el computador y un 25% el internet. Finalmente un 55.6% no tiene condiciones para instalar un aparato en su predio, y el 100% instalaría un aparato en su predio para hacer un uso más eficiente del agua.

4.1.1.b. Dimensión cualitativa

En relación al análisis cualitativo de la investigación, se obtuvieron principalmente los resultados visualizados en el cuadro 12. Dicho análisis se sustentó en sólo una pregunta, que fue abordada por la Sección 4: Sequía y que correspondía a la percepción de los/as agricultores/as sobre la sequía, es decir cómo ellos la definían. En la matriz se puede visualizar que los resultados fueron mayoritariamente categorizados como definiciones catastróficas y relacionadas a la agricultura, en donde un 67% fue categorizado como “catastrófico” y un 32% como “agricultura”, estableciendo una importante relación entre estos términos.

Con respecto a la categorización de tipo “Poca o sin afectación” y “Neutral”, alcanzaron una adopción del 19 y 14% respectivamente, en donde las definiciones de tipo Neutral básicamente se relacionaban a aspectos técnicos.

Por otra parte, en relación a la categorización asociada a los “Recursos Naturales” y a un “Todo”, es decir, recursos naturales, agricultura, humano, etcétera, alcanzan una adopción del 19% ambas.

Finalmente, es importante indicar que las relaciones entre “Poca afectación” y “Todo”, y “Neutral” y “Todo”, no hubieron definiciones que se pudieran categorizar con estos elementos comunes.

Cuadro 12. Matriz de Relaciones para códigos a partir de elementos comunes (Adaptado de Cáceres, 2003).

Tipo	Catastrófico	Poca o sin afectación	Neutral
Agricultura	"Nos extermina como agricultor, no tenemos nada que hacer", "No hay vida, muerte. No se puede cultivar nada", "Grave, no cosechar nada", "Lo más serio para la agricultura", "Castigo de Dios, no hay siembra", "Algo malo, no hay producción", "Algo grave, no se puede cultivar", "Complicado, no habrá nada de producción", "Pérdida total de la agricultura"	"Que no alcance el agua para regar, sembrar menos. Aquí no hay", "No tener producción, hacer turnos. Aquí no hay", "Hasta la fecha no nos ha afectado tanto, uno programa el riego en función de cuánto llueve"	"Cuando se da preferencia al arrendatario para regar"
Recursos Naturales	"Mucha escasez de agua, año pasado"	"Disminución de glaciares, no nos ha afectado tanto"	"Que cada vez llueva menos", "Falta de recursos hídricos superficiales y subterráneos para mantener la vegetación"
Todo	"Terrible, se pierde todo", "Igual a no tener nada, este año no viene bien", "Malo, sin agua somos hacemos nada", "Lo más grave, sin agua somos nada"	-	-

4.1.2. Caracterización de la dinámica hídrica

4.1.2.a. Humedad del Suelo desde SMOS

El producto SMOS Level-3 que entrega el contenido volumétrico del agua en el suelo, se encuentra disponible a una resolución espacial de 25 x 25 km, por lo tanto, la sensibilidad que tiene este producto al área de estudio hace solo referencia de los eventos máximos de precipitación, ocurridos en el transcurso del año de estudio (Figura 11). Por otra parte este producto de humedad del suelo no entrega una relación consistente entre los valores de humedad del suelo y el período de máxima irrigación (verano), ya que efectos locales como una irrigación superior al 40%, no se puede visualizar un efecto directo en escalas de 25 x 25 km, necesitando otro tipo de algoritmo para realizar una mejora en la contribución de SMOS al estudio de la irrigación y la humedad del suelo en el área de estudio. Sin embargo, este tipo de algoritmo puede ser desarrollado mediante la sinergia existente entre MODIS y SMOS, la cual se detalla en diferentes trabajos previos para la estimación de la humedad de suelo a una resolución de 1 x 1 km (Piles *et al.*, 2011) o usando el particionado de la evapotranspiración y la humedad del suelo, como es el algoritmo Dispatch (Merlin *et al.*, 2011; Merlin *et al.*, 2013). Para el caso de invierno, los valores de SMOS no están presentes en la figura debido a que la confiabilidad de este producto descrita en el filtro DQX (Apéndice 2) es superior a 0.2, mereciendo una posterior revisión respecto a posibles mejoras en la estimación, ya sea en el propio procesador (Wigneron *et al.*, 2007) o en nuevos algoritmos óptico-microndas pasivas que podrían mejorar la estimación de la humedad del suelo (Mattar *et al.*, 2012), así como la propia aplicación de estos para Chile y el área de estudio utilizada en esta memoria (Santamaría-Artigas *et al.*, 2016). Las posibles fuentes en la disminución de la confiabilidad de SMOS en el área de estudio, son atribuibles a un aumento del contenido de agua equivalente a 25 x 25 km en la zona, donde se encuentran dos ríos (Antivero y Tinguiririca) y un embalse (Convento Viejo). El aumento de la superficie de cuerpos de agua afecta la confiabilidad, y por ende el valor de humedad del suelo entregada por SMOS no necesariamente es representativo, eliminándose mediante el criterio de DQX (Kerr *et al.*, 2012).

4.1.2.b. Vigor de Vegetación desde MODIS

Para el caso del vigor de la vegetación (Figuras 11 y 12), existen tres eventos marcados donde se puede apreciar una variación significativa en el vigor de la vegetación derivado del compilado de NDVI, esto son decrecimiento del vigor (enero a mayo), aumento estacional (junio a julio) y aumento sostenido (agosto a diciembre). Para el período comprendido entre enero y marzo, se puede apreciar una disminución del vigor que va en fase con la temporada de cosecha de los cultivos de

la zona, así como la disminución de la frecuencia de riego y la escasa precipitación de este período. Posteriormente y debido a los máximos de precipitación que ocurren en invierno, el vigor experimenta un máximo estacional no derivado del propio manejo de cultivos, sino atribuible a la cobertura de vegetación temporal propia de los procesos de barbecho. Este vigor disminuye debido al inicio de la temporada de producción de cultivos, donde la materia orgánica presente es incorporada al suelo a través de procesos de arado, además de la adición de fertilizantes y materia orgánica adicional (abono natural o sintético). Esto, sumado a la precipitación y al riego, experimenta un aumento sostenido del vigor de vegetación, atribuible al crecimiento de los cultivos y por ende a una mayor demanda hídrica. Para el período comprendido entre noviembre y diciembre, no se encontró información disponible de NDVI, por lo cual no se muestra en las figuras 11 y 12, sin embargo es posible apreciar su tendencia respecto a los valores de visualizados en enero.

4.1.2.c. Precipitación y Humedad del Suelo desde LAB-net

La figura 11 muestra un período marcado por una estación húmeda, la cual es causada por precipitaciones que ocurren mayormente en invierno entre los meses de mayo y octubre, totalizando 497.1 mm para el año 2015. En el resto de los meses no se evidencia una marcada contribución de precipitaciones en la zona, sin embargo entre enero y abril es posible apreciar ciertos eventos pluviométricos que podrían presentarse con diverso grado de intensidad, tal es el caso de la lluvia registrada en febrero, donde se registraron hasta 2.3 mm/hr. Por otra parte, la precipitación evidencia una directa relación con la humedad del suelo, sólo en los meses de invierno (junio, julio y agosto), presentando una marcada diferencia en el contenido volumétrico del agua de ambos niveles (5 y 20 cm). Estos niveles se diferencian en sus valores máximos y mínimos, en función del aporte discreto de precipitaciones en los primeros centímetros del suelo. Esto se puede evidenciar entre los meses de agosto y octubre, donde el aporte de humedad a los 20 cm se ve disminuido respecto al aporte en el monto de precipitación evidenciado a los 5 cm. En los meses de verano (noviembre a marzo) existe un marcado período de irrigación, que para el caso del área de estudio es mayoritariamente por medio de surcos, evidenciando escasos niveles de tecnificación (9.5%). Estos meses coinciden con el período más cálido y seco, donde los cultivos experimentan una mayor evapotranspiración y por ende una mayor demanda de agua. En estos períodos se puede identificar una sistemática y constante irrigación, generando contenidos de humedad del suelo superiores a los $0.40 \text{ m}^3/\text{m}^3$ para 5 y 20 cm de profundidad. Para el caso del mes de octubre, es posible apreciar un período de riego menos sistemático generado una diferencia entre los dos primeros niveles de $0.08 \text{ m}^3/\text{m}^3$ en promedio. Sin embargo, esta diferencia se minimiza entre los meses de diciembre y febrero, ya que la

periodicidad en el riego aumenta significativamente, generando contenidos volumétricos de agua similares ($0.4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) entre los 5 y 20 cm de profundidad de suelo respetivamente. El riego de los cultivos es nulo entre abril y octubre, ya que no se disponen de caudales para el riego (DAA discontinuos), incrementando el riesgo de pérdida de productividad para los cultivos que solo utilizan precipitaciones, como es el caso del trigo. Este cultivo tiene su período de producción de cultivo entre junio (arado) y enero (cosecha), siendo las precipitaciones el único aporte hídrico. En condiciones de posibles restricciones hídricas, a causa de los escasos aportes en precipitaciones que se han evidenciado en los últimos 5 años en Chile (Boisier *et al.*, 2016), este tipo de cultivos podría ser vulnerable a efectos meteorológicos como sequías provocadas por la disminución de precipitaciones, que afectarían la producción de cultivos y por ende a los agricultores.

4.1.2.d. Temperaturas (estrés hídrico v/s heladas) desde LAB-net y MODIS

Para las temperaturas es posible observar (Figura 12) una importante amplitud térmica del aire (LAB-net) en los meses de verano (noviembre a abril), alcanzando un máximo equivalente a $32.9 \text{ }^\circ\text{C}$. Esta amplitud térmica disminuye para los meses de invierno (mayo a agosto), evidenciando además ciertos episodios de heladas con temperaturas cercanas a los -5°C . Este período de riesgo de heladas se extiende inclusive hasta octubre, donde es posible evidenciar temperaturas entre 0 y -1°C . Para el caso de las temperaturas de superficie derivadas de MODIS, estas se encuentran en fase con la temperatura del aire para el período seco y cálido (verano), tanto a nivel diario como para el promedio de 8 días. Para invierno no es posible apreciar una marcada tendencia entre ambas temperaturas de superficie y del aire, lo cual se puede atribuir a la cobertura nubosa o a posibles eventos de precipitación que influirían en ambas magnitudes. A partir de esta serie de temperaturas es posible apreciar un período de estrés hídrico (entre diciembre y marzo), donde los cultivos demandarán mayor volumen de agua que deberá ser entregada mediante sistemas de riego. Este período es crítico, ya que si bien existe una mayor cantidad de agua disponible en los sistemas de acopio y transporte de agua, tales como embalses y canales, la distancia a estos podría generar un riego ineficiente, debido a la falta de densificación e infraestructura en las redes de drenaje, así como pérdidas operativas por la falta de control en la medición de caudales, como es el desconocimiento de la cantidad de agua recibida por cada agricultor. En suma, todo esto contribuiría a una posible pérdida en la eficiencia del uso del agua, no existiendo maneras de priorización de uso del agua según cultivo y superficie, en función de obtener un mejor rendimiento del recurso hídrico.

4.1.2.e. Evapotranspiración de Referencia diaria

En base a los flujos de energía, es posible apreciar (Figura 13) una fuerte estacionalidad entre los meses de verano e invierno, destacando los máximos para enero y los mínimos para julio-agosto. En invierno se aprecia una carencia de datos debido a una falta de los registros medidos por la estación, atribuible a las condiciones propias del mantenimiento y suministro energético. Si bien es cierto, esta falencia de datos es apreciable en los períodos de invierno, también existe un período de registro de datos que permite apreciar los valores mínimos de Radiación Neta (R_n) y Evapotranspiración de Referencia (E_t0). En relación a los valores de Flujo de Calor en el Suelo (G), éstos comienzan a registrarse a partir de julio debido a la instalación de este dispositivo en la estación. Por otra parte, en toda la serie temporal es posible apreciar mínimos abruptos de R_n y E_t0 , los cuales son atribuibles a las condiciones de nubosidad que afectan significativamente estas variables. Es importante destacar también, que durante la estación seca y cálida de verano que es caracterizada por una constante irrigación, se aprecia una diferencia entre R_n y E_t0 , siendo esta diferencia mínima durante los meses de invierno, ya que la superficie no registra eventos de irrigación y el contenido de agua en el suelo solo dependerá del aporte de las precipitaciones. Ésta condición permite destacar que durante los meses de invierno, la demanda de agua para la zona es particular y específica para cultivos que solo se nutren a partir de precipitaciones, disminuyendo la demanda hídrica en la zona de estudio. Por otra parte, en los meses de verano la demanda de agua también es caracterizada por eventos esporádicos de precipitación, así como días con significativa cobertura nubosa. Esto disminuye los valores de E_t0 , y por ende la demanda hídrica podría ser ajustada para mejorar la eficiencia hídrica, reduciendo el tiempo o el volumen requerido para la irrigación de los cultivos.

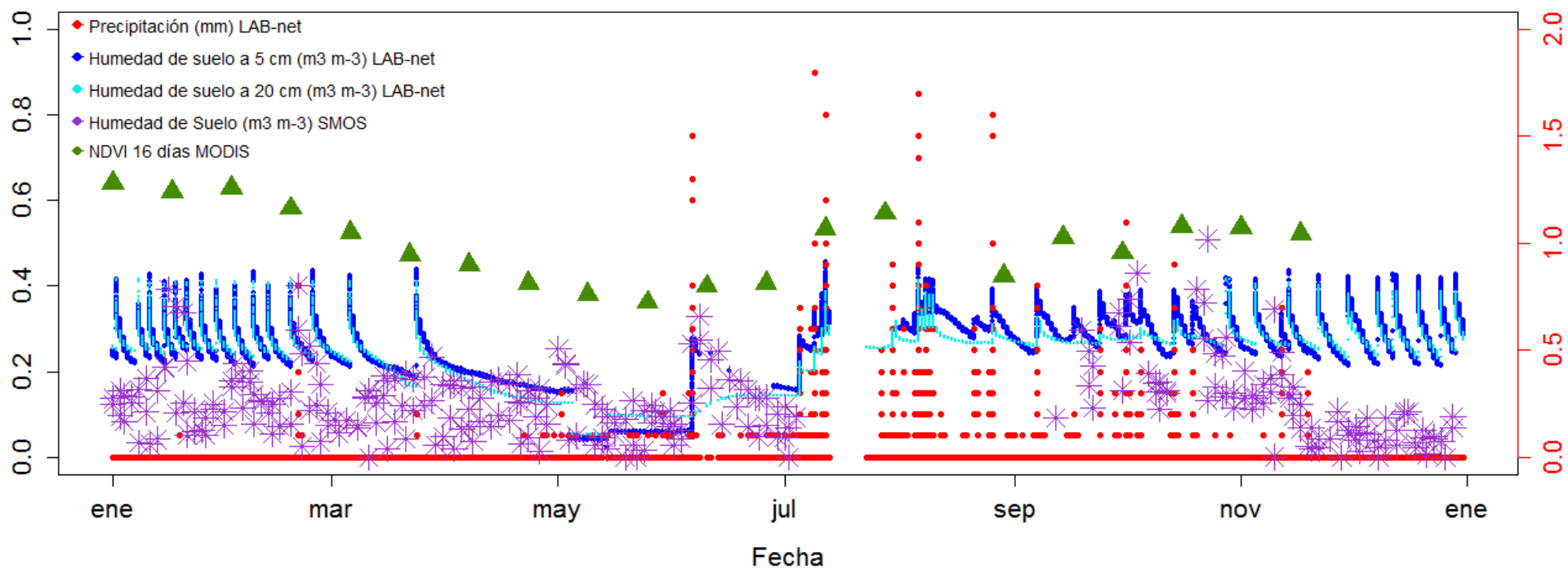


Figura 11. Series de Precipitación (LAB-net), Humedad del Suelo (SMOS y LAB-net) y NDVI (MODIS) (Elaboración propia, 2016).

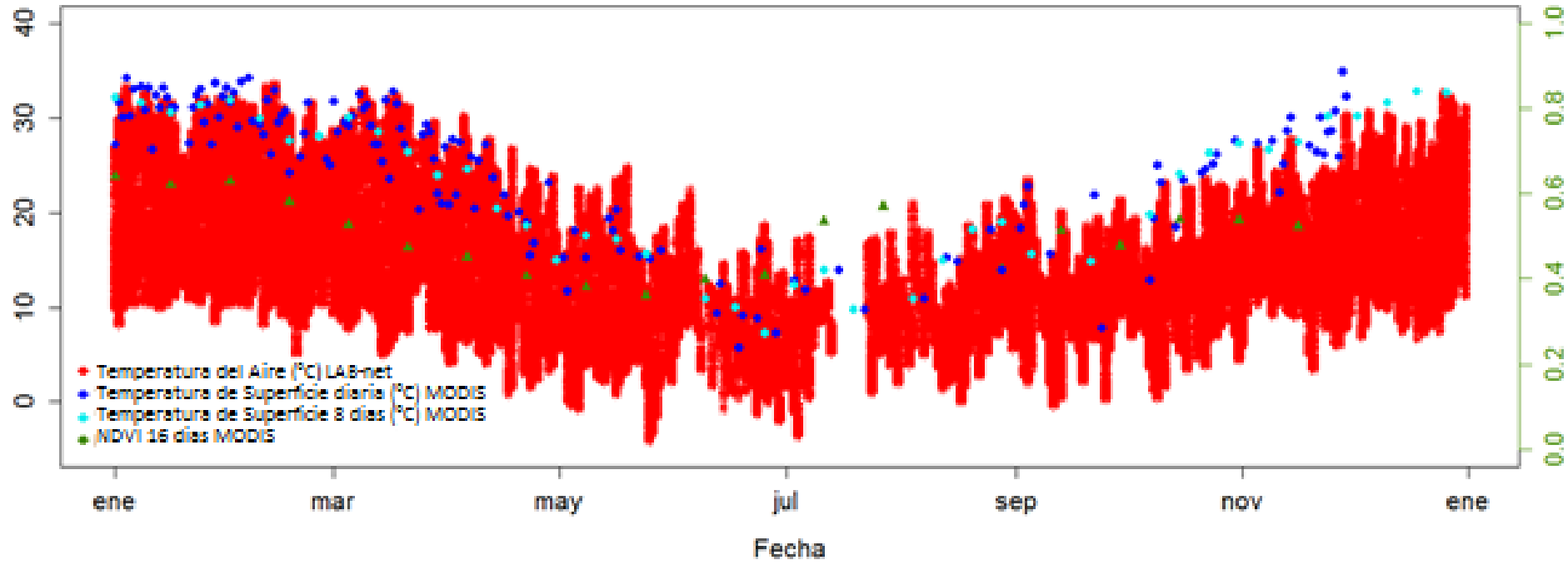


Figura 12. Temperaturas (LAB-net y MODIS) y NDVI (MODIS) (Elaboración propia, 2016).

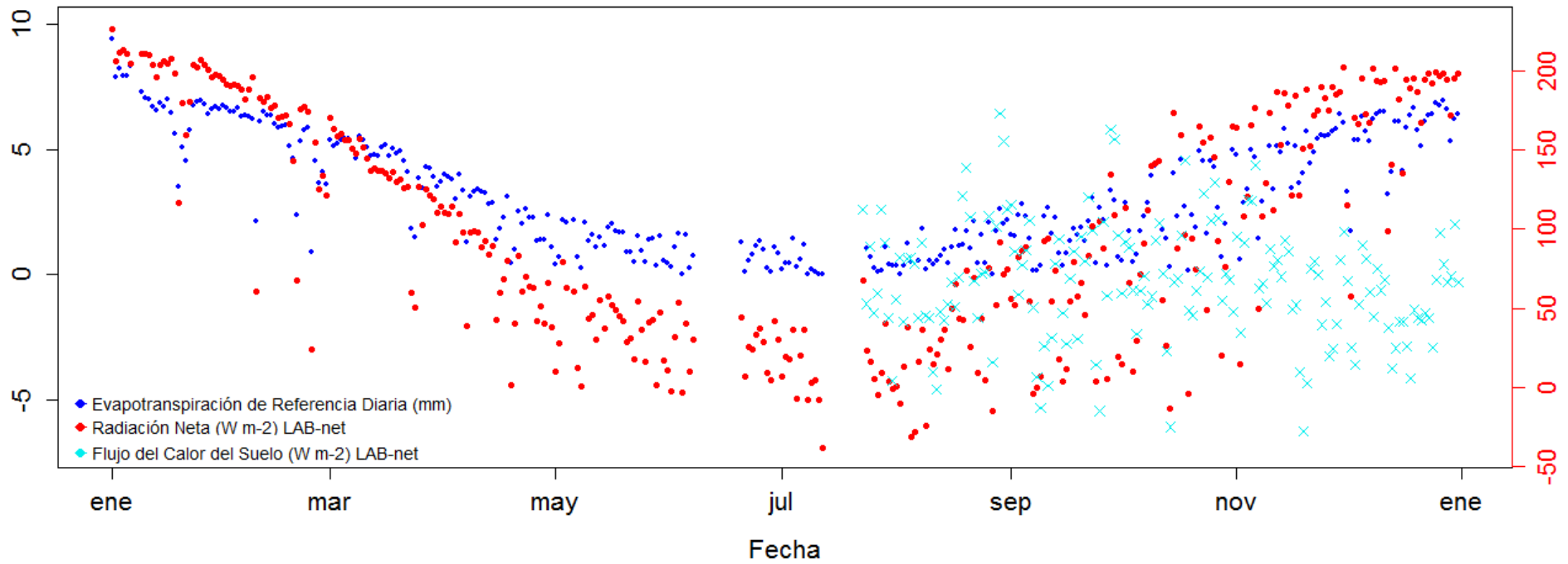


Figura 13. Evapotranspiración de Referencia (ET₀) diaria, Radiación Neta (LAB-net) y Flujo de Calor del Suelo (LAB-net) (Elaboración propia, 2016).

4.1.3. Propuesta de Manejo Sustentable del Agua en el Sector Agrícola

4.1.3.a. Análisis estadístico

A partir del análisis de varianza (ANOVA), se comprueba que la hipótesis nula H_0 (las medias poblaciones son iguales) es falsa, con un $p < 0.05$ y un R cuadrado ajustado de 76.19 %, por lo tanto las muestras generadas por el tratamiento de imágenes (posteriormente abordado) son diferentes entre sí. La figura 14 confirma la validez de las hipótesis, ya que los valores son normales (a), es decir los datos siguen la tendencia lineal (línea azul) y la variabilidad entre grupos es constante (b), es decir para cada media, la variabilidad dentro de cada tratamiento es más o menos igual.

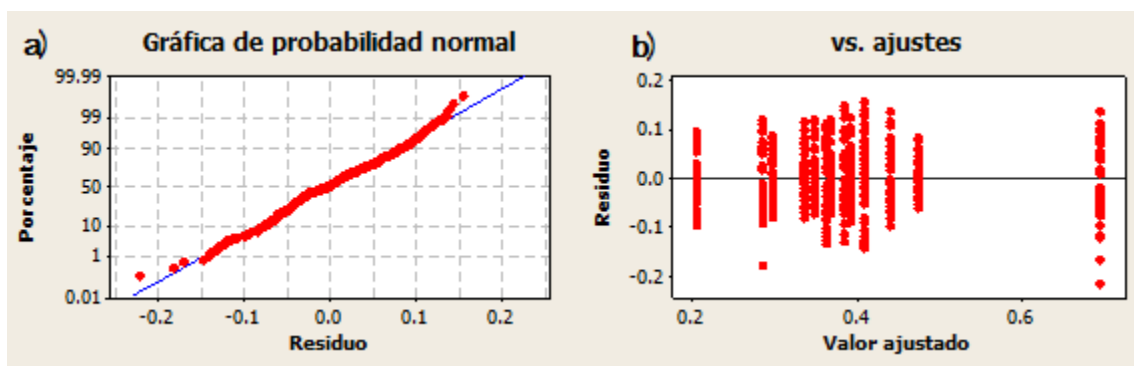


Figura 14. Gráficos ANOVA (Elaboración propia en base a programa Minitab, 2016).

En relación a las comparaciones entre grupos, el método HSD de Tukey y el método LSD de Fisher (cuadro 13), arrojan con un 95% de confianza 7 y 9 agrupaciones (de la A a la J) respectivamente, a partir de las 13 agrupaciones iniciales definidas por el método K-means. En función de estos resultados, se definen 8 (de la A a la H) agrupaciones (cuadro 13) por criterio propio.

Cuadro 13. Agrupaciones de *clusters* (Elaboración propia, 2016).

Serie	Media	Agrupación Turkey	Agrupación Fisher	Agrupación Final
m	0.6946	A	A	A
l	0.47563	B	B	B
k	0.44092	B C	C	C
j	0.40929	C D	D	D
i	0.39234	D E	D E	D
h	0.38391	D E	D E F	D
g	0.36878	D E F	E F G	E
d	0.362	E F	F G H	E
f	0.34892	E F	G H	F
e	0.33664	F G	H	F

c	0.2971	G H	I	G
b	0.28497	H	I	G
a	0.20601	I	J	H

4.1.3.b. Prioridad en el Uso del Agua para Riego

A partir del algoritmo *K-means*, se obtiene un mapa de 13 coberturas homogéneas (figura 15b) derivado a partir del índice NDVI para el año 2015. Este resultado representa el comportamiento fenológico del área de estudio (figura 15a), la cual está relacionada con el tipo de cultivo y por ende con su demanda hídrica. La figura 15b visualiza una alta heterogeneidad espacial en la caracterización por medio de dicho índice.

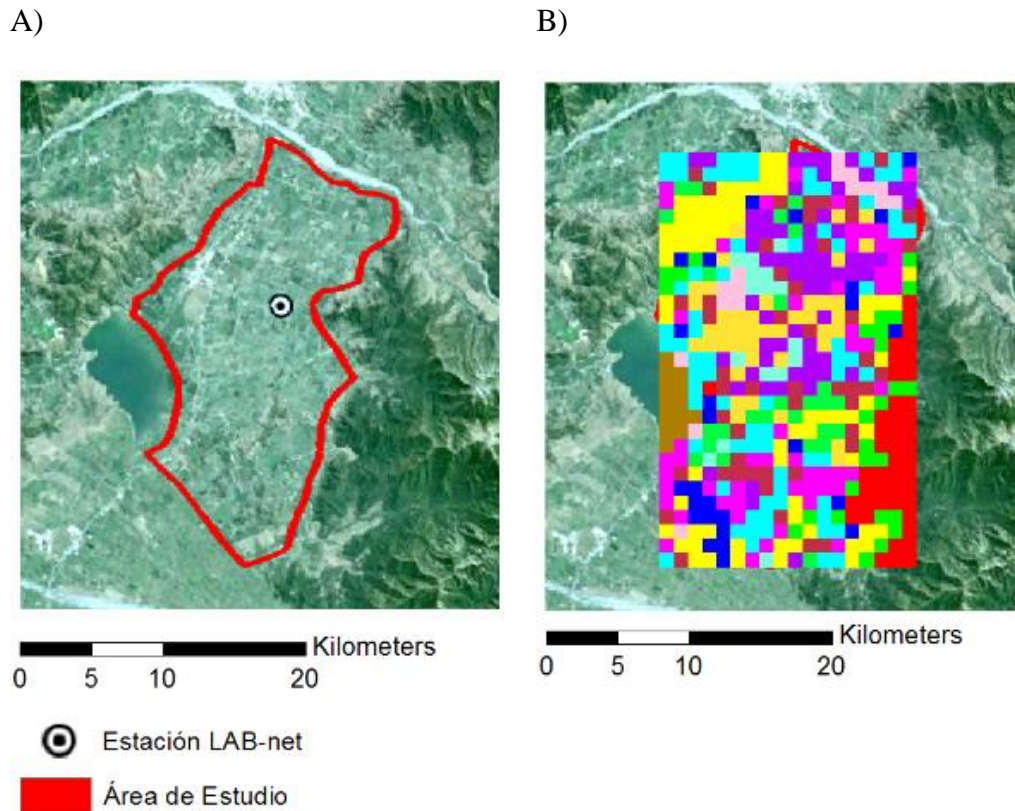


Figura 15. Límite correspondiente al área de estudio (A) y Análisis de conglomerados (B) (Elaboración propia, 2016).

Una vez realizado el análisis estadístico, se obtienen 8 sitios homogéneos de los 13 considerados inicialmente (figura 15b). Estos 8 sitios homogéneos (figura 16) al ser sometidos a un filtro de paso bajo, suaviza la imagen permitiendo visualizar una caracterización espacial más homogénea, en donde se pueden identificar zonas preliminarmente, como el área de pie de monte de la Cordillera de los Andes (amarilla) y las áreas cercanas al embalse Convento Viejo (zona azul). En donde la clasificación 1 corresponde a áreas con mayor NDVI y la clasificación 8 a zonas con NDVI más bajos, es decir representan una vegetación más vigorosa y cuerpos de agua respectivamente. Por otra parte, la generación de un área de influencia derivada de la distancia al río Tinguiririca (figura 16b), muestra la zona *buffer* de éste cada 3 km, en función de la distancia al área de estudio.

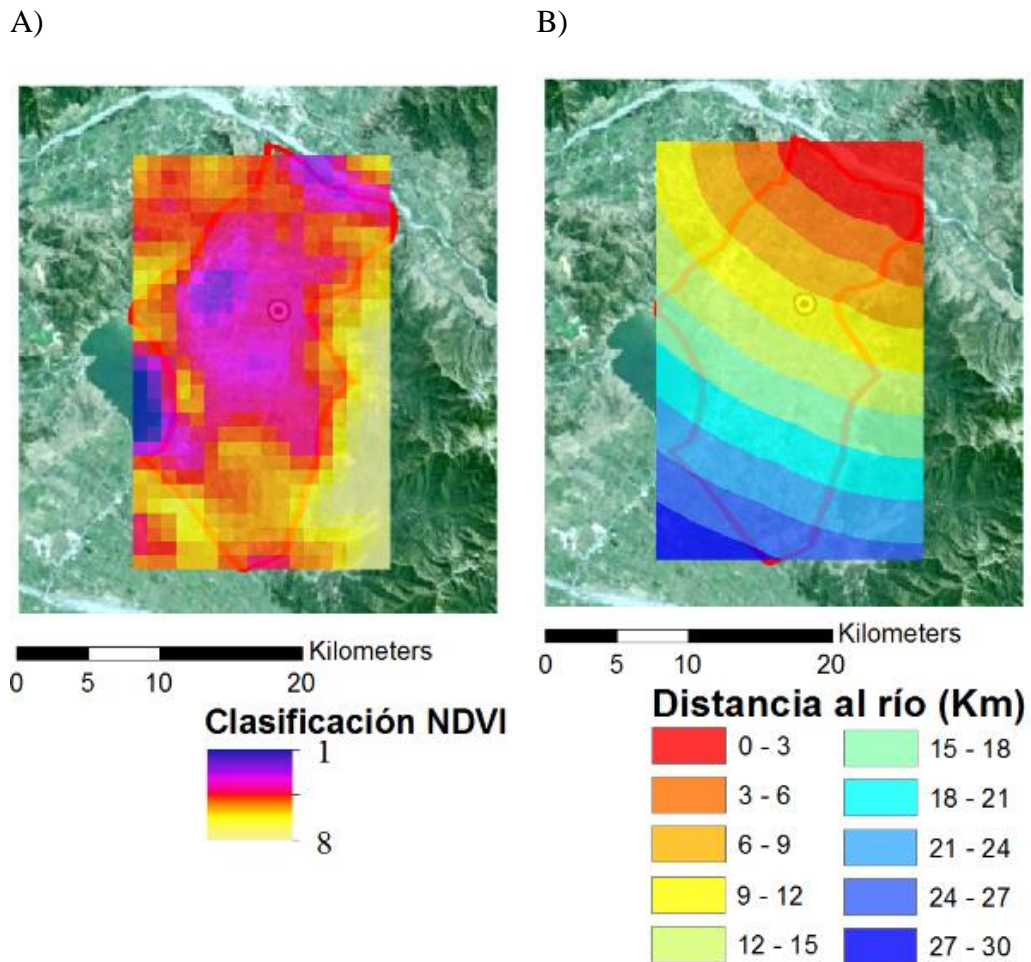


Figura 16. Filtraje post-clasificación NDVI (A) y Distancia al río Tinguiririca cada 3 km (B) (Elaboración propia, 2016).

Como resultado de la intersección del proceso de clasificación de 8 clases (figura 16a) y la distancia al río Tinguiririca (figura 16b), se obtiene la figura 17a. A partir de la reclasificación de esta imagen (en base a criterios de homogeneización de zonas similares), se obtiene la propuesta

de uso eficiente del agua (Figura 17b). Esta última imagen, tiene por objetivo entregar zonas homogéneas, que permitan generar un criterio para la eficiencia en el uso del agua para riego, respecto de la distancia a los afluentes y la curva fenológica del NDVI equivalente al tipo de cultivo. En esta figura se observan 10 clases, las cuales son caracterizadas y descritas en el cuadro 14.

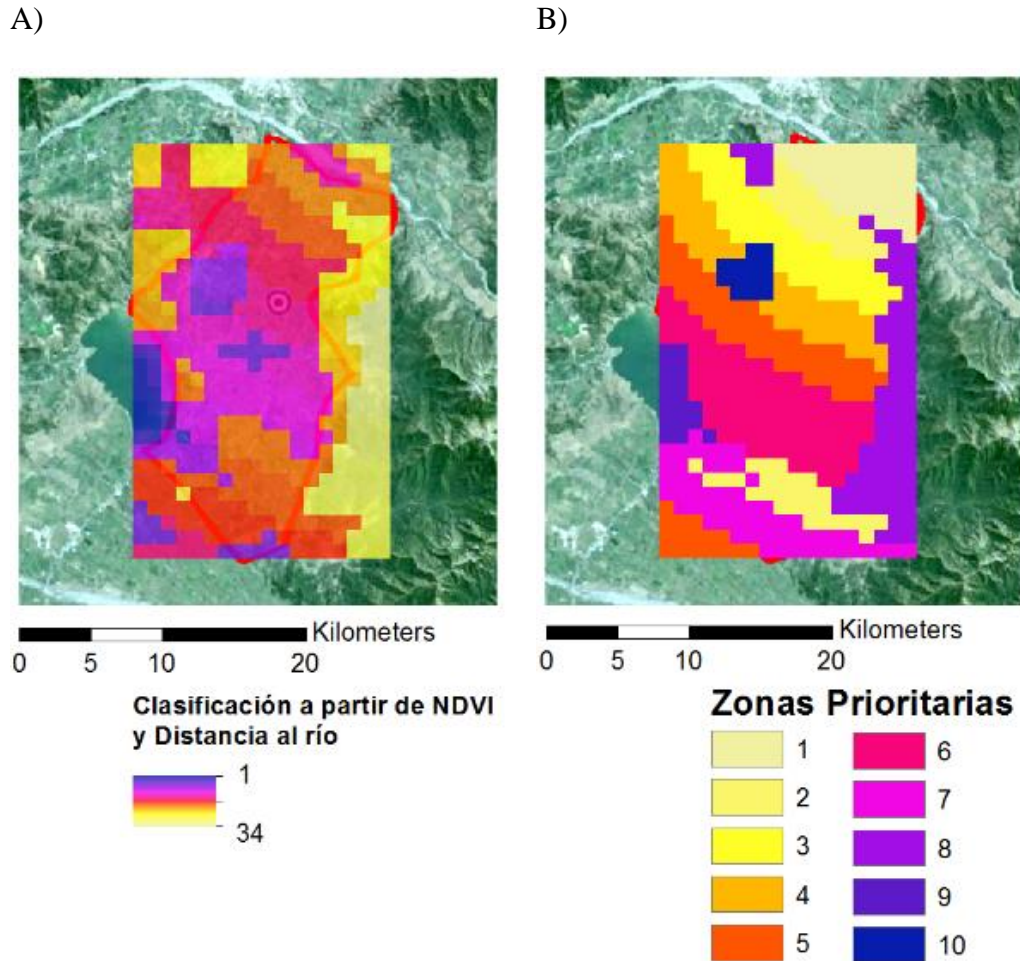


Figura 17. Clasificación NDVI y distancia al río (34 clases) (A) y Zonas prioritarias (10 clases) (B) (Elaboración propia, 2016).

Cuadro 14. Zonas prioritarias para el uso del agua (Elaboración propia, 2016).

Categoría	Atributo	Descripción
1	Borde de río	Cultivos heterogéneos, cercanía a cuerpos de agua, por lo cual su prioridad de riego es baja, debido a la existencia de cuerpos de agua a cortas distancias de esta

		clase.
2	Muy cercano al río	Cultivos heterogéneos, donde no existe una masiva presencia de embalses para irrigación.
3	Medianamente cercano al río	Cultivos heterogéneos, donde existe una abundante localización de embalses. También es factible encontrar cultivos frutales de gran extensión.
4	Lejana al río	En esta sección se encuentra la estación LAB-net y el área donde se realizaron las entrevistas. Esta zona presenta conflictos de agua, que se relacionan con la inequidad en el acceso del recurso hídrico, por lo tanto su prioridad de riego es alta.
5	Cultivos de grandes extensiones	Cultivos bien irrigados debido a la construcción de embalses y cultivos de alto vigor de vegetación (maíz y tabaco principalmente), por lo tanto su prioridad de riego es baja.
6	Cultivos y zonas de barbecho	En esta zona se aprecia una zona principalmente barbechada o de alta rotación de cultivos, según condiciones propias de la zona.
7	Zona muy heterogénea	Zona alejada al río, donde existe una gran heterogeneidad en irrigación y tipos de cultivo.
8	Cerros	Cordilleras de los Andes y de la Costa. Bosques que no necesitan de irrigación, por lo tanto su prioridad de riego es nula.
9	Cercano a embalse	Zonas aledañas a embalse, donde existe principalmente vegetación natural o cultivos en barbecho.
10	Zona Urbana	Zona urbana y periurbana que no necesita de un plan de irrigación, por lo tanto su prioridad de riego es nula.

En base al cuadro 14, es posible establecer que las zonas más alejadas a los afluentes como 3, 4, 5 y 7 deberían tener una alta prioridad en el uso del agua para riego, por sobre las zonas más cercanas como 1, 5 y 9. Esto generaría un acceso prioritario tanto en cantidad como tiempo en aquellas zonas que actualmente ven reducido el recurso hídrico para sus procesos productivos. Del mismo modo, este tipo de información permitiría disminuir el uso sobreestimado para las zonas cercanas al río, como se puede ver en la estación LAB-net localizada en la zona 4.

4.2. Discusión

A partir de las necesidades identificadas en relación a los requerimientos hídricos de los usuarios de la zona de estudio, se reconoce una situación basada en una escasez hídrica, bajos niveles de tecnificación de los sistemas de riego, heterogeneidad en el acceso a los recursos hídricos, conflictos de uso, daños económicos y en general una incipiente dificultad en la gestión sustentable del agua en la cuenca. Sin embargo, actualmente es posible observar un alto grado de organización entre los agricultores, materializándose en sistemas de cooperación como préstamos de microembalses, entrega de excedentes de caudales, entre otros. Esto podría cambiar, ya que manifiestan con un 61,9% de las respuestas, que la relación futura entre vecinos podría tornarse conflictiva si la escasez hídrica se agudiza. Por último, creen que sería de gran importancia recibir información principalmente de precipitaciones, humedad de suelo y mercado, con el objetivo de mejorar sus actuales sistemas de riego, incrementando la eficiencia en el uso del agua y mejorando la gestión de los recursos hídricos. Esto en razón de facilitar el acceso del agua, a quiénes se encuentren actualmente en peores escenarios de restricción hídrica.

En relación a la caracterización hídrica del área de estudio, se reconoce la existencia de un desafío importante en función de la validación de datos satelitales para contextos locales. La representatividad espacial en términos de heterogeneidad de superficies, puede ser dificultosa en aquellos productos con una resolución espacial que no evidencie las diferencias entre coberturas. Es por esto que productos como el SM03 de SMOS, si bien permiten contribuir al estudio de la humedad de suelo en una alta gama de contextos, efectos locales como una irrigación superior al 40% no pueden ser visualizadas en escalas de 25x25 km, quedando demostrado en la comparación realizada con la estación *in-situ* LAB-net. Sin embargo, es importante mencionar que la sensibilidad de este producto permitió visualizar eventos máximos de precipitación. En el caso de los productos MODIS, hubo una mayor correlación con respecto a la caracterización abordada por el punto de la estación LAB-net, en donde se pueden visualizar variaciones significativas del NDVI que permiten analizar el vigor de vegetación para diversas coberturas en un período de un año y a la vez sustentan en gran medida la cartografía de prioridad de riego que propone esta memoria. En relación a los productos de temperatura de la superficie terrestre del sensor MODIS, se puede visualizar una importante correlación con los datos *in-situ* de temperatura del aire registrados por LAB-net, permitiendo analizar períodos de estrés hídrico que se vinculan a mayores demandas de agua para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos del área de estudio. En cuanto a los demás datos climatológicos registrados por la estación LAB-net, la precipitación reveló un período marcado por una estación húmeda que se sustenta principalmente entre mayo y octubre, período que coincide con el cese del riego al no disponer de caudales (DDA discontinuos). Las precipitaciones a la vez evidencian una fuerte correlación con los datos caracterizados de humedad de suelo, observándose un marcado período de irrigación para los meses de verano, que pone de manifiesto los escasos niveles de tecnificación de los sistemas de riego, al generarse contenidos de humedad de suelo superiores a los $0.40 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ para 5 y 20 cm de profundidad, es decir, dichos agricultores estarían regando en exceso. Por último, la evapotranspiración de referencia diaria muestra una fuerte estacionalidad entre los meses de verano e invierno, en donde los máximos se encontrarían en enero y los mínimos en julio-agosto,

es decir, es entre diciembre y marzo cuando la vegetación del área de estudio más evapotranspira, correlacionándose con el período de mayores temperaturas y aplicación de riego registrado por la humedad del suelo de LAB-net. Esto tendería a aumentar la demanda hídrica para los meses de verano en el área de estudio, que en función de sistemas de riego con bajos niveles de tecnificación, provocaría la disminución de la eficiencia en el uso del agua y por ende, dificultades en la gestión sustentable de la cuenca. En relación al comportamiento fenológico expresado en las imágenes derivadas del índice NDVI, el área de estudio es caracterizada por una alta heterogeneidad espacial. Por ende, la demanda hídrica en diversos puntos será distinta entre sí, siendo necesaria la generación de algoritmos que permitan caracterizar contextos locales, diversos y heterogéneos, y a la vez evidenciando la importancia de las herramientas satelitales en la contribución de la gestión hídrica. De esta forma, el mapa resultante que muestra 10 tipos de cubiertas en función de la priorización del uso del agua para riego, entrega una propuesta de gestión basada en las distancias a afluentes hídricos, así como en el comportamiento de la vegetación a lo largo del año. Aunque si bien, este mapa es una caracterización espacial de la superficie y por ende no entrega información sobre las redes hídricas que abastecen dichas zonas, es importante la caracterización de las cubiertas con el fin de generar criterios de prioridad para la eficiencia en el uso del agua. Así, es posible visualizar zonas donde existe un consumo sobreestimado del recurso hídrico y zonas donde existe un consumo reducido, que se hace fundamental gestionar sustentablemente. Sin embargo, si bien el método utilizado permite identificar zonas homogéneas en términos de demanda hídrica, éste debe ser validado. Por último, es importante indicar que la cartografía presentada puede ser útil en la generación de un sistema eficiente de transporte de recursos hídricos hacia zonas de mayor demanda y menor satisfacción de ésta, ya que permitiría disminuir la actual situación de inequidad existente entre los cultivos que están más y menos cercanos a las fuentes hídricas.

En base a lo anterior, la propuesta resultante de esta memoria intenta rescatar los criterios de estacionalidad de la demanda hídrica identificados por las entrevistas, los cuales se sustentan en función de la demanda hídrica y la fenología de los cultivos, que son las variables críticas de zonificación del área de estudio. Sin embargo, dicha propuesta no fue ponderada en función del actual sistema de distribución de aguas (acciones de agua en relación al caudal de riego). Esto no es trivial de ser observado a una resolución de 1x1 km, como los datos generados por los productos MODIS, y no necesariamente podría contribuir a mejorar una priorización según la repartición actual del recurso hídrico. Además, las acciones de riego están ligadas a un marco legal cuyo objetivo de análisis no está dentro de los objetivos de esta memoria. Este tipo de propuestas podría ser de gran utilidad, en el sentido de planificar redes hídricas basadas en canales de regadío y así mejorar el uso eficiente del agua, evitando a la vez la escasez hídrica que sufren los cultivos que están más lejanos a las fuentes de agua. Por último, se aprecia una necesidad de adaptar dicha propuesta (cartografía de clasificación de riego, en función de la prioridad en el uso del agua según tipo de cobertura de suelo), a un *landcover* (mapa de coberturas de uso de suelo) para mejorar la resolución espacial abordada en esta memoria, con el fin de optimizar la clasificación de las zonas generadas, así como mejorar la representatividad de los productos satelitales, con el

fin de generar propuestas basadas en estimaciones de demanda hídrica a partir de monitoreos satelitales regionales.

Finalmente, en función de los pronósticos que advierten sobre posibles cambios en los patrones de precipitación, se destaca la importancia de generar programas de apoyo gubernamentales para incrementar la eficiencia en el uso del agua. En donde dicha memoria argumenta la necesidad de aumentar la tecnificación de los sistemas de riego y generar estrategias de priorización en términos de uso del agua, ya sea tanto para satisfacer requerimientos hídricos humanos como ecológicos. En relación a esto, el desarrollo del conocimiento es fundamental en la resolución de problemas por medio de mejoras tecnológicas, donde la transferencia tecnológica ocupa un lugar preferencial en términos de traspasar información a quienes hacen uso de los recursos hídricos, como son los y las agricultoras de todo el mundo. Más aún, si existe evidencia empírica sobre la disminución de precipitaciones en climas mediterráneos a causa del cambio climático, aumentando la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas a los efectos meteorológicos como las sequías (UNESCO, 2003; Bascopé, 2013; Valdés-Pineda *et al*, 2014; Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015).

5. CONCLUSIONES

La presente investigación presenta una propuesta de manejo sustentable del agua, que se fundamenta en información satelital, datos medidos *in-situ* e información socioambiental recabada en terreno. Estas bases son representadas por una cartografía, en donde se exponen prioridades de uso del agua para riego basada en 10 clases, que son el resultado del análisis de índices espectrales como es el NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) que caracterizan la fenología de la vegetación, y el análisis espacial de la distancia a afluentes de agua tales como el río Tinguiririca y embalses.

La cartografía resultante fue generada luego de analizar las necesidades en relación a los requerimientos hídricos identificadas por la investigación social, que permitieron idear una propuesta de zonificación del área de estudio, en función de la demanda hídrica y la fenología de los cultivos. Posteriormente, el análisis de la caracterización de la dinámica hídrica en función de variables climatológicas como precipitación, temperatura del aire, humedad de suelo, radiación neta, humedad relativa, velocidad del viento y flujo de calor en el suelo, entregadas por la estación LAB-net CCS (*Chimbarongo Calibration Site*), así como los datos satelitales entregados por diversos productos, tal como humedad de suelo, temperatura de la superficie terrestre e índice de vegetación NDVI de las misiones SMOS y Terra/Aqua, permitieron ser un insumo más para el análisis y propuesta de zonificación del área de estudio.

En base a lo anterior, se pretende que a futuro dicha cartografía pueda ser validada para ser utilizada como un futuro insumo para la gestión sustentable de los sistemas agropecuarios de la VI región de Chile, dotando a agricultores y agricultoras de información relevante para hacer un uso más eficiente del agua, por medio de herramientas tecnológicas que antes no se encontraban a su alcance, ya sea por acceso a la información o desconocimiento de ésta. Es por esto, que la finalidad de esta memoria es continuar dicho proceso de transferencia tecnológica, permitiendo que la información satelital se encuentre a disposición de todos los usuarios del recurso hídrico, más aún si es la agricultura quién hace mayor uso del agua (69%) a escala mundial. Para esto se pretende en un futuro la aplicación de este trabajo, en donde se generen formas de transferir información de utilidad tal como temperaturas, humedad de suelo, evapotranspiración -entre otras-, a agricultores y usuarios en general del agua, con el fin de lograr un manejo real en la gestión de los recursos hídricos a escala regional.

Finalmente, se coloca de manifiesto la necesidad de generar información que aporte a la toma de decisiones relacionadas al manejo hídrico, en razón de los escenarios de escasez hídrica y cambio climático en que se encuentra nuestro país. Es por esto que nuestra capacidad de adaptación debe estar acompañada de una robusta relación entre los generadores de conocimiento y tecnología, tal como universidades y el sector privado, con los tomadores de decisiones a nivel nacional como es la entidad institucional, y el sector productivo, como son los agricultores y usuarios en general del recurso hídrico, con el fin de producir soluciones tecnológicas y sustentables, acordes a los contextos locales.

6. BIBLIOGRAFÍA

Abdi, H. and L. Williams. 2010. Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) Test. In Neil Salkind (Ed.), Encyclopedia of Research Design. California, Estados Unidos. 5 pp.

Aguilar, A. 2013. [En línea]. Red Agroclimática Nacional. Disponible en el WWW: http://www.odepa.cl/noticia_institucion/red-agroclimatica-nacional/. Citado el 07 de diciembre de 2015.

Ali, M. 2008. Deficit Irrigation for Wheat Cultivation Under Limited Water Supply Condition. In Partial fulfillment of the Requirments for the Degree of Doctor of Philosophy. Bangladesh Agricultural University, Department of Irrigation and Water Management. Mymensingh, Bangladesh. 183 pp.

Allen, R., Pereira, L., Raes, D. and M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. 299 pp.

Allen, R., Walter, I., Elliott, R., Howell, T., Itenfisu, D. and M. Jensen. 2005. The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration of the Environmental and Water Resources Institute. Virginia, Estados Unidos. 59 pp.

Andreú, J. 2000. Las técnicas de análisis del contenido: una revisión actualizada. Fundación Centro de Estudios Andaluces, Universidad de Granada 10 (2): 1-34.

Araneda, N. y J. Medina. 2015. Modelos Alternativos de las Universidades en Chile. Seminario para optar al título de Ingeniero Comercial, Mención Economía. Universidad de Chile, Facultad de Economía y Negocios. Santiago, Chile. 64 pp.

Araujo, V. 1979. Estudo dos canais informais de comunicação técnica: seu papel na transferência de tecnologia e na inovação tecnológica. Ciência da Informação 8(2): 79-100.

Asesorías Agrícolas y Agroindustriales (ASAGRIN). 2011. Portafolio de propuestas para el programa de adaptación del sector silvoagropecuario al cambio climático en Chile. Centro de Agricultura y Medio Ambiente (AGRIMED), Universidad de Chile. Ministerio del Medio Ambiente, (MMA) y Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Santiago, Chile. 300 pp.

Ashby, J. 1991. Manual para la Evaluación de Tecnología con Productores. Proyecto de Investigación Participativa en Agricultura (IPRAI, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 102 pp.

Aspiazú, I., Sedyama, T., Ribeiro Jr., J., Silva, A., Concenco, G., Galon, L., Ferreira, E., Silva, A., Borges, E. y W. Araujo. 2010. Eficiencia fotosintética y de uso del agua por malezas. *Planta Daninha*, 28(1), 87-92.

Asún, R. 2006. Metodologías de la investigación social: 31-38. In: *Medir la realidad social: el sentido de la metodología cuantitativa*. LOM (Ed). Santiago, Chile. 408 pp.

Bauer, C. 1997. Bringing water markets down to Earth: The political economy of Water Rights in Chile, 1976-95. *World Development* 25(5): 639-656

Baldocchi, D. 2003. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future. *Global Change Biology* 9: 479-492.

Baldocchi, D., Falge, E., Gu, L., Olson, R., Hollinger, D., Running, S., Anthoni, P., Bernhofer, C., Davis, K., Evans, R., Fuentes, J., Goldstein, A., Katul, G., Law, B., Lee, X., Malhi, Y., Meyers, T., Munger, W., Oechel, W., Paw, K., Pilegaard, K., Schmid, H., Valentini, R., Verma, S., Vesala, T., Wilson, K. and S. Wofsyn. 2001. FLUXNET: A New Tool to Study the Temporal and Spatial Variability of Ecosystem-Scale Carbon Dioxide, Water Vapor, and Energy Flux Densities. *Bulletin of the American Meteorological Society* 82: 2415-2434.

Barrientos, E. 2007. Impacto de la Reforma al Código de Aguas en la constitución originaria de derechos de aprovechamiento de aguas, en la Región de Los Lagos y Región de Los Ríos. Memoria Licenciado en Ciencias Jurídicas y Sociales. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales. Valdivia, Chile. 41pp

Bascopé, J. 2013. Estudio: “Cambio Climático Impacto en la Agricultura Heladas y Sequía”. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile. 36 pp.

Bastiaanssen, W., Molden, D. y I. Makin. 2000. Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. *Agricultural Water Management* 46(2): 137 – 155.

Bates, B., Kundzewicz, Z., Wu, S. y J.P. Palutikof. 2008. El Cambio Climático y el Agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Secretaría del IPCC. Ginebra, Suiza. 224 pp.

Beca, S. 2007. Clustering difuso con Selección de atributos. Tesis para optar al grado de Magister en Gestión de Operaciones y Memoria para optar al título de Ingeniero Civil en Computación. Universidad de Chile, Facultad de Ciencia Físicas y Matemáticas, Escuela de Postgrado. Santiago, Chile. 92 pp.

Bergkamp, G., Orlando, B. and I. Burton. 2003. Change. Adaptation of Water Management to Climate Change. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN). Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 53 pp.

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN). 2015. Informe: Situación de Sequía en el país. Gobierno de Chile. 5 pp.

Bierwirth, F. 2015. [En línea]. INIA creará Centro de Análisis de Riego para enfrentar sequía. Disponible en el WWW: <http://www.inia.cl/blog/2015/05/28/inia-creara-centro-de-analisis-de-riego-para-enfrentar-sequia/>. Citado el 29 de diciembre de 2015.

Bircher, S., Skou, N., Jensen, K., Walker, J. and L. Rasmussen. 2012. A soil moisture and temperatura network for SMOS validation in Western Denmark. *Hydrology and Earth System Sciences* 16: 1445-1463.

Bitran, E. 2014. El rol de las universidades chilenas en los desafíos de innovación y desarrollo productivo de Chile: La perspectiva de CORFO. Corporación de Fomento de la Producción, Gobierno de Chile. Santiago, Chile.

Blum, A. 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress: Review. *Field Crops Research* 112: 119-223.

Boisier, J., Rondanelli, R., Garreaud, R. and F. Muñoz. 2016. Natural and anthropogenic contributions to the Southeast Pacific precipitation decline and recent mega-drought in central Chile. *Geophysical Research Letters* 43: 413-421.

Boisier, M. 2010. Ciencia y Tecnología en Chile: ¿Para qué? Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT). Gobierno de Chile. Santiago, Chile. 127 pp.

Boutraa, T. 2010. Improvement of Water Use Efficiency in Irrigated Agriculture: A Review. *Journal of Agronomy* 9 (1): 1-8.

Bozeman, B. 2000. Technology transfer and public policy: a review of research and Theory. *Research Policy* 29: 627-655.

Braswell, B., Sacks, W., Linder, E. and D. Schimel. 2005. Estimating diurnal to annual ecosystem parameters by synthesis of a carbon flux model with eddy covariance net ecosystem exchange observations. *Global Change Biology* 11: 335-355.

Brodzik, M. and K. Knowles. 2002. EASE-Grid: A Versatile Set of Equal-Area Projections and Grids, in *Discrete Global Grids*. M. Goodchild (Ed). 165 pp.

Burman, R., Cuenca, R. and A. Weiss. 1983. Techniques for estimating irrigation water requirements. *Advances in Irrigation* 2: 335-394.

Cáceres, P. 2003. Análisis cualitativo de contenido: una alternativa metodológica alcanzable. *Revista Psicoperspectivas* 2: 53-82.

Cáceres, D., Silveti, F., Soto, G., y W. Rebolledo. 1997. La Adopción Tecnológica En Sistemas Agropecuarios De Pequeños Productores. *Agro Sur* 25 (2). 18 pp.

Canales, M. 2006 *Metodologías de la investigación social: Introducción a los oficios*. LOM (Ed). Santiago, Chile. 408 pp.

Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología (CITRA) y Comisión Nacional de Riego (CNR). 2010. Proyecto SEPOR. Servicio de Programación y Optimización del Uso del Agua de Riego: boletín informativo. República de Chile, Santiago, Chile.

Centro Regional de Estudios Agronómicos de la Universidad de Chile (UCHILECREA) e InnovaChile (CORFO). Nudo de Riego: Difusión y Transferencia Tecnológica para el Uso Eficiente del Agua de Riego en la Región de Atacama. Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile e InnovaChile de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). 199 pp.

Christoplos, I. 2010. Mobilising the potential of rural and agricultural extensión. The Global Forum for Rural Advisory Services. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Roma, Italia. 58 pp.

Coffey, A. y P. Atkinson. 2003. Encontrar el sentido a los datos cualitativos. Estrategias complementarias de investigación. Universidad de Antioquia (Ed). Medellín, Colombia. 249 pp.

Comisión Nacional de Riego (CNR). 2014. Cuenta Pública. Gobierno de Chile. 29 pp.

Costa, C., Barbosa, B. and T. Ramana. 2010. Analysis of the evaporative fraction using eddy covariance and remote sensing techniques. *Revista Brasileira de Meteorologia* 25 (4): 427-436.

Cruz, J. y J. Bielsa. 2001. Sobre la eficiencia, el uso sostenible del recurso del agua y la gestión del territorio. *Journal of Depopulation and Rural Development Studies* 1: 85 – 112.

Di Rienzo, J., Casanoves, F., Gonzales, L., Tablada, E., Díaz, M., Robledo, C. y M. Balzarini. 2008. *Estadística para las Ciencias Agropecuarias*. 7ª Ed. Editorial Brujas. Córdoba, Argentina. 372 pp.

DiCicco-Bloom, B. y B. Crabtree. 2006. The qualitative research interview. *Medical education* 40: 314–321.

Dirección General de Aguas (DGA). 2015. [En línea]. Director General de Aguas expone reformas al Código de Aguas en Seminario Hídrico. Disponible en el WWW: <http://www.dga.cl/noticias/Paginas/DetalledeNoticias.aspx?item=357>. Citado el 29 de noviembre de 2015.

Donoso, G. 2003. Mercados de Agua: Estudio de Caso del Código de Aguas de Chile de 1981. . Departamento de Economía Agraria, Pontificia Universidad Católica de Chile. 44 pp.

Dorst, K. 2011. The core of ‘design thinking’ and its application. *Design Studies* 32(6): 521-532.

Durán-Alarcón. 2013. Análisis de la tendencia espacio / temporal de NDVI y la Temperatura de la Superficie Terrestre en la Tundra Ártica. Memoria para optar al título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 62 pp.

Erzurumlu, S. y Y. Erzurumlu. 2015. Sustainable mining development with community using design thinking and multi-criteria decision analysis. *Resources Policy* 46: 6-14.

Escorihuela, M. 2013. Uso eficiente y sustentable del agua. Implicancias y condicionantes. *Derecho y Ciencias Sociales* 9: 24-31.

Esparza, J. 2013. Contraste espacio-temporal de indicadores de interés hidrológico derivados desde teledetección. Proyecto fin de carrera específico: Ingeniería Técnica de Obras Públicas Especialidad en Hidrología. Universidad Politécnica de Cartagena, Escuela de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y de Ingeniería de Minas. Murcia, España. 96 pp.

European Commission. 2009. Metrics for Knowledge Transfer from Public Research Organisations in Europe. Report from the European Commission’s Expert Group on Knowledge Transfer Metrics. Bruselas, Bélgica. 80 pp.

Falkenmark, M. 2003. Freshwater as shared between society and ecosystems: from divided approaches to integrated challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 358: 2037-2049.

Fan, Y., Wang, C y Z. Nan. 2014. Comparative evaluation of crop water use efficiency, economic analysis and net household profit simulation in arid Northwest China. *Agricultural Water Management* 146: 335–345.

Fereres, E. and M. Soriano. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany* 58 (2): 147-159.

Fernández, F. 2002. El análisis de contenido como ayuda metodológica para la investigación. *Ciencias Sociales* 96: 35-53.

Figuroa, M. y S. Redondo. 2007. Los sumideros naturales de CO₂: Una estrategia sostenible entre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto, desde las perspectivas urbana y territorial. Muñoz Moya (Ed). Universidad de Sevilla, España. 218 pp.

Flick, U. 2004. Introducción a la investigación cualitativa. Morata S. L. (Ed). Madrid, España. 51 pp.

Frey, R. 1987. Is there a philosophy of technology? Paper presented at the 74th Mississippi Valley Industrial Teacher Education Conference, Chicago.

Fujisaka, S. 1994. Learning from Six Reasons Why the farmers not adopt innovations Intended to Improve sustainability of upland agriculture. *Agricultural Systems* 46(4): 409-425.

Fundación Chile. 2010. Impacto de los instrumentos de Transferencia Tecnológica Agropecuaria en Chile. Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad (CNIC). 154 pp.

Fundación de Comunicaciones, Capacitación y Cultura del Agro (FUCOA). 2013. Nueva Ley de Riego optimizará el uso y gestión del agua en Chile. *Revista Nuestra Tierra* edición 286: 14-16

Fuster, R., Gonzáles, L., Morales, L., Cerda, C., Hernández, J., Sotomayor, D., Lillo, G., Gonzáles, M. y C. Escobar. 2009. Estudio gestión integrada de los recursos hídricos en Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 393 pp

Gadanakis, Y., Bennett, R., Park, J. y F. Areal. 2015: Improving productivity and water use efficiency: A case study of farms in England. *Agricultural Water Management* 160: 22-32.

García, A., Campos, A. and C. Di Bella. 2011. Estimación de et a partir del uso de sensores remotos e información meteorológica usando el método propuesto por Jackson. 12 pp. In: Maathuis, B. y C. Mannaerts. *GEONETCast – DevCoCast: Manual de Aplicaciones*. Universidad de Twente, Departamento de Recursos Hídricos. Enschede, Países Bajos. 61 pp.

García, C. y I. Gómez. 2006. Algoritmos de aprendizaje: KNN & KMEANS. Inteligencia en Redes de Comunicación, Universidad Carlos III de Madrid, España. 8 pp.

Gómez-Lobo, A. y R. Paredes. 2001. *Mercado de derechos de agua: Reflexiones sobre el proyecto de modificación del Código de Aguas*. *Estudios Públicos* 82: 83-104.

Gordon, L., Finlayson, C. y M. Falkenmark. 2010. Managing water in agriculture for food production and other ecosystem services. *Agricultural Water Management* 97: 512-519.

Green, T., Yu, Q., Ma, L. y T. Wang. 2010. Crop water use efficiency at multiple scales. *Agricultural Water Management* 97(8): 1099-1101.

Hamdy, A. 2007. Water Use Efficiency in Irrigated Agriculture: an analytical review. *Série B. Etudes et Recherches* 57: 9-19.

Hearne, R. y K. Easter. 1997. The economic and financial gains from water markets in Chile. *Agricultural Economics* 15: 187-199

Hernández, R., Fernández, C. y P. Baptista. 2010. Metodología de la investigación. 5a. ed. D.F., México: McGraw-Hill Interamericana Editores. 613p.

Heydari, N. 2014. Water productivity in agriculture: Challenges in concepts, terms and values. *Irrigation and Drainage* 63: 22-28.

Iglesias, A. y L. Garrote. 2015. Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. *Agricultural Water Management* 115: 113–124.

Iglesias, A., Garrote, L., Diz, A., Schlickerrieder, J. y F. Martin-Carrasco. 2011. Re-thinking water policy priorities in the Mediterranean region in view of climate change. *Environmental science & policy* 14(7): 744–757.

Instituto Nacional de Desarrollo Agropecuario (INDAP). 2011. Manual básico para la capacitación en gestión de recursos hídricos, segunda versión. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. 112 pp. Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP). 2014. [En línea]. Ministerio de Agricultura anuncia plan para mitigar sequía en Región de O'Higgins. Disponible en el WWW: <http://indap.gob.cl/noticia/ministerio-de-agricultura-anuncia-plan-para-mitigar-sequia-en-region-de-ohiggins>. Citado: 06 de julio de 2015.

Instituto Nacional de Propiedad Intelectual (INAPI). S/a. [En línea]. Propiedad Industrial y Transferencia de tecnología. Disponible en el WWW: <http://www.inapi.cl/portal/orientacion/602/w3-article-1600.html>. Citado: 01 de noviembre de 2015.

Instituto Nacional de Propiedad Industrial (INAPI). 2011. CORFO, INAPI y FIA organizan primer Encuentro de Transferencia Tecnológica en Chile. Gobierno de Chile. Santiago, Chile. 3 pp.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1535 pp.

Janssen, W., Rajalahti, R., Edmeades, S. y B. Nussbaumer. 2011. Una visión de la Innovación Agraria Chilena hacia el 2030. Ministerio de Agricultura (MINAGRI), Fundación para la Innovación Agraria (FIA) y Banco Mundial. Santiago, Chile.

Jensen, M., Burman, R. and R. Allen. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice N°70. 332 pp.

Jia, Y. and Shao, M. 2013. Temporal stability of soil water storage under four types of revegetation on the northern Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management* 117: 33-42.

Johnson, R. and A. Onwuegbuzie. 2008. Mixed research: 439-459. In: Educational research: Quantitative, qualitative, and mixed approaches. R.B. Johnson and L.B. Christensen (Eds.). 369 pp.

Jones, G. and C. Garforth. 1997. Improving agricultural extension. A reference manual: 1-9. In: Chapter 1 - The history, development, and future of agricultural extensión. Addison H. Maunder (Ed). 336 pp.

Johnson, S., Gatz, E. and D. Hicks. 1997. Expanding the content base of technology education: Technology transfer as a topic of study. *Journal of Technology Education* 8(2): 35-49.

Kerr, Y. 2007. Soil moisture from space: Where are we? *Hydrogeology Journal*, 15: 117-120.

Kerr, [Y.](#), [Philippe, H.](#), Wigneron, J., Delwart, S., Cabot, F., Boutin, J., [Escorihuela](#), M., Font, [J.](#), [Reul, N.](#), Gruhier, [Claire.](#), Enache, S., Drinkwater, M., Hahne, A., [Martín-Neira](#), M. y [S. Mecklenburg](#). 2010. The SMOS Mission: New Tool for Monitoring Key Elements of the Global Water Cycle. [Proceedings of the IEEE 98\(5\)](#): 666-687.

Kerr, Y., Waldteufel, P., Richaume, P., Wigneron, J. P., Ferrazzoli, P., Mahmoodi, A., Al Bitar, A., Cabot, F., Gruhier, C., Juglea, S. E., Leroux, D., Mialon, A. y S. Delwart. 2012. The SMOS Soil Moisture Retrieval Algorithm. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 50:1384-1403.

Kuglitsch, F., Reichstein, M., Beer, C., Carrara, A., Ceulemans, R., Granier, A., Janssens, I., Koestner, B., Lindroth, A., Loustau, D., Matteucci, G., Montagnani, L., Moors, E., Papale, D., Pilegaard, K., Rambal, S., Rebmann, C., Schulze, E., Seufert, G., Verbeeck, H., Vesala, T., Aubinet, M., Bernhofer, C., Foken, T., Grünwald, T., Heinesch, B., Kutsch, W., Laurila, T., Longdoz, B., Miglietta, F., Sanz, M. and R. Valentini. 2008. Characterisation of ecosystem water-use efficiency of european forests from eddy covariance measurements. *Biogeosciences Discussions* 5: 4481-4519.

Lu, X.L. and Q. Zhuang. 2010. Evaluating evapotranspiration and water-use efficiency of terrestrial ecosystems in the conterminous United States using MODIS and AmeriFlux data. *Remote Sensing Environmental* 114: 1924-1939.

Mas, J. 2011. Aplicaciones del sensor MODIS para el monitoreo del territorio. 1a. ed. D.F., México: Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (Eds).317 p.

Matos, C., Teixeira, C., Duarte, A. e I. Bentes. 2013. Domestic water uses: Characterization of daily cycles in the north region of Portugal. *Science of The Total Environment* 458-460: 444-450.

Mattar, C., Franch, B., Sobrino, J.A., Corbari, C., Jiménez-Muñoz, J.C., Olivera-Guerra, L., Skokovic, D., Sória, G., Oltra-Carriò, R., Julien, Y. y M. Mancini. 2014. Impacts of the broadband albedo on actual evapotranspiration estimated by S-SEBI model over an agricultural área. *Remote Sensing of Environment* 147: 23-42

Mattar, C., Santamaría-Artigas, A., Durán-Alarcón, C., Olivera-Guerra, L. and R., Fuster. 2014. LAB-net the First Chilean soil moisture network for Remote Sensing Applications. *Proc. IV Recent Advances in Quantitative Remote Sensing (RAQRS)*: 22 – 26.

Mattar, C., Santamaría-Artigas, A., Durán-Alarcón, C., Olivera-Guerra, L., Fuster, R. and D. Borvarán. 2016. The LAB-net soil moisture network: application to termal remote Sensing and Surface energy balance. 5 pp. [Article in Press].

Medrano, H., Bota, J., Cifre, J., Flexas, J., Ribas-Carbó, M. y J. Gulías. 2007. Eficiencia en el Uso del Agua por las Plantas. *Investigaciones Geográficas* 43: 63-84.

Medrano, H., Tomás, M., Martorell, S., Flexas, J., Hernández, E., Roselló, J., Pou, A., Escalona, J. y J. Bota. 2015. From leaf to whole-plant water use efficiency (WUE) in complex canopies: Limitations of leaf WUE as a selection target. *The Crop Journal* 3(3): 220-228.

Meier, U. 2006. A note on the power of Fisher's least significant difference procedure. *Pharmaceutical Statistics* 5(4): 253-263.

Merlin, O., Escorihuela, M., Mayoral, M., Hagolle, O., Al Bitar, A. and Y. Kerr. 2013. Self-calibrated evaporation-based disaggregation of SMOS soil moisture: an evaluation study at 3 km and 100 m resolution in Catalunya, Spain. *Remote Sensing of Environment*, 130: 25-38.

Merlin, O., Al Bitar, A., Rivalland, V., Béziat, P., Ceschia, E. and G. Dedieu, 2011. An Analytical Model of Evaporation Efficiency for Unsaturated Soil Surfaces with an Arbitrary Thickness. *Journal of Applied Meteorology Climatology* 50: 457–471.

Meza, L., Corso, S. y S. Soza. 2010. Gestión del riesgo de sequía y otros eventos climáticos extremos en Chile. Organización de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Santiago, Chile. 117 pp.

Meza, L., Soza, S. y P. Valle. 2011. Apoyo al Diseño e Implementación de un Modelo de Gestión del Riesgo Agroclimático. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (UNEA) y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Santiago, Chile. 86 pp.

Ministerio de Agricultura (MINAGRI). 1990. Ley N° 18.910 Sustituye Ley Orgánica del Instituto de Desarrollo Agropecuario. República de Chile, Santiago, Chile. 03 de febrero de 1990.

Ministerio de Agricultura (MINAGRI). 2013. Modifica Ley N° 18.450, con el fin de fomentar la inversión privada en obras de riego o drenaje, comprendidas en proyectos integrales y de uso múltiple, cuyo costo supere las 30.000 unidades de fomento. República de Chile, Santiago, Chile. 15 de noviembre de 2013.

Ministerio de Agricultura (MINAGRI). 2014. Nuevo Modelo para un Sistema de Extensión y Transferencia Tecnológica en el Sector Silvoagropecuario Chileno. Unidad de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i), Ministerio de Agricultura, República de Chile. Santiago, Chile. 45 pp.

Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. 2010. Sistema Nacional de Innovación 2010-2013: Principales avances y hechos relevantes desde la Política Pública. División de Innovación del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, Gobierno de Chile. Santiago, Chile. 74 pp.

Ministerio de Justicia. 1981. Decreto con Fuerza de Ley N° 1.222 Fija Texto del Código de Aguas. República de Chile, Santiago, Chile. 13 de agosto de 1981.

Ministerio de Obras Públicas (MOP). 1993. Resolución D.G.A. N° 193 Declara zona de prohibición para nuevas explotaciones de aguas subterráneas en la cuenca del río Copiapó, provincia de Copiapó, III Región. República de Chile, Santiago, Chile. 16 de junio de 1993.

Ministerio de Obras Públicas. 2011. Resolución D.G.A. N° 1.189 Crea la Unidad Organizaciones de Usuarios y Eficiencia Hídrica de la Dirección General de Aguas con los objetivos y funciones que indica. República de Chile, Santiago, Chile. 12 de abril de 2011.

Ministerio de Obras Públicas (MOP). 2013. Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012 – 2025. Santiago, Chile. 40 pp.

Ministerio del Interior y Seguridad Pública. 2015. Política Nacional para los Recursos Hídricos 2015. Santiago, Chile. 101 pp.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). 2011. Informe del estado del medio ambiente: 319-366. In: Capítulo 8 – Recursos Hídricos. Gobierno de Chile. 512 pp

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). 2012. Decreto N°14 Aprueba Reglamento para la Determinación del Caudal Ecológico Mínimo. República de Chile, Santiago, Chile. 22 de mayo de 2012.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). 2013. Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Silvoagropecuario. Cooperación Alemana Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit y Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. 63 pp.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). 2014. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Oficina del Cambio Climático. Santiago, Chile. 55 pp.

Ministerio Secretaría General de la Presidencia. 2012. Ley 20.417 Crea el Ministerio, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente. República de Chile, Santiago, Chile. 26 de enero de 2010.

Miranzadeh, H., Emam, Y., Pilesjö, P. and H. Seyyedi. 2011. Water Use Efficiency of Four Dryland Wheat Cultivars under Different Levels of Nitrogen Fertilization. *Journal of Agricultural Science and Technology* 13: 843-854.

Leiva, N. 2012. Metodología para el cálculo de la humedad del suelo usando parámetros topográficos (MDE), climáticos y edáficos en un sector del piedemonte depositacional del municipio de Villavicencio. Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Magister en Geomática. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Escuela de Posgrados. Bogotá, Colombia. 129 pp.

Leroux, D. J., Kerr, Y., Richaume, P., y R. Fieuzal. 2013. Spatial distribution and possible sources of SMOS errors at the global scale. *Remote Sensing Environment* 133: 240–250.

Liu, F., Shahnazari, A., Andersen, M., Jacobsen, S. and C. Jensen. 2006. Effects of deficit irrigation (DI) and partial root drying (PRD) on gas exchange, biomass partitioning, and water use efficiency in potato. *Scientia Horticulturae* 109: 113-117.

Nagel, U. 1997. Improving agricultural extension. A reference manual: 10-21. In: Chapter 2 - Alternative approaches to organizing extensión. Addison H. Maunder (Ed). 336 pp.

Olivera-Guerra, L., Mattar, C. y M. Galleguillos. 2014. Estimation of the Real Evapotranspiration and its variation in mediterranean landscapes of central-southern Chile. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 28: 160 – 169.

Olivera-Guerra, L., Merlin, O., Mattar, C., Durán-Alarcón, C., Santamaría-Artigas, A. and V. Stefan. 2015. Combining meteorological and lysimeter data to evaluate energy and water fluxes over a row crop for remote sensing applications. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*: 26 – 31.

Organización de las Naciones Unidas (ONU). 1992. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo: Programa 21 - Cumbre para la Tierra. Programa de acción de las Naciones Unidas del Río. In: Capítulo 18 - [Protección de la calidad y el suministro de los recursos de agua dulce: aplicación de criterios integrados para el aprovechamiento, ordenación y uso de los recursos de agua dulce](#). Río de Janeiro, Brasil.

Organización de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1997. *Small-scale Irrigation for Arid Zones: Principles and Options*. Francia. 35 pp.

Organización de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2013. *Afrontar la escasez de agua: Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria*. Roma, Italia. 78 pp.

- Organización de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2002. Agua y Cultivos: Logrando el uso óptimo del agua en la agricultura. Roma, Italia. 22 pp.
- Organización de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2014. Water with drawal by sector, around 2007. AQUASTAT. 2 pp.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). 2013. Water for people, water for life. Executive Summary of the UN World Water Development Report. Paris, Francia. 34 pp.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). 2015. Water For a Sustainable World: The United Nations World Water Development Report 2015. Paris, Francia. 122 pp.
- Passioura, J. 2006. Increasing crop productivity when water is scarce from breeding to field management. *Agricultural Water Management* 80: 176-196.
- Peña, J. 2008. Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio. 3ª ed. Editorial Club Universitario, Universidad de Alicante. San Vicente, España. 451 pp.
- Peterson, W. 1997. Improving agricultural extension. A reference manual: 23-47. In Chapter 3 - The context of extension in agricultural and rural development. Addison H. Maunder (Ed). 336 pp.
- Piles, M., Camps, A., Vall-llossera, M., Corbella, I., Panciera, R., Rüdiger, C., Kerr, Y. and J. Walker. 2011. Downscaling SMOS-Derived Soil Moisture Using MODIS Visible/Infrared Data. *Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 49 (9): 3156-3166.
- Piñeiro, M. 2007. Agricultural technology transfer to Developing Countries and the public sector. *Science and Development Network*: 1-6.
- Piñuel, J. 2002. Epistemología, metodología y técnicas del análisis de contenido. *Estudios de Sociolingüística* 3(1): 1-42.
- Ponton, S., Flanagan, L., Alstad, K., Johnson, B., Morgenstern, K., Kljun, N., Black, T., and A. Barr. 2006. Comparison of ecosystem water-use efficiency among Douglas-fir forest, aspen forest and grassland using eddy covariance and carbon isotope techniques. *Global Change Biology* 12: 294-310.
- Porta, L. y M. Silva. 2003. La investigación cualitativa: el análisis de contenido en la investigación educativa. *Revista Investigación para una mejor educación* [s/n]: 18 p.
- Reichstein, M., Ciais, P., Papale, D., Valentini, R., Running, S., Viovy, N., Cramer, W., Granier, A., Ogée, J., Allard, V., Aubinet, M., Bernhofer, C., Buchmann, N., Carrara, A., Grünwald, T., Heimann, M., Heinesch, B., Knohl, A., Kutsch, W., Loustau, D., Manca, G., Matteucci, G., Miglietta, F., Ourcival, J., Pilegaard, K., Pumpanen, J., Rambal, S., Schaphoff, S., Seufert, G., Soussana, J., Sanz, M., Vesala, T. and M. Zhao. 2007.

Reduction of ecosystem productivity and respiration during the European summer 2003 climate anomaly: a joint flux tower, remote sensing and modelling analysis. *Global Change Biology* 13: 634-651.

Repetto, N. y s/n, De Los Reseros. 2012. Procesamiento de datos medidos con sistema Eddy Covarianza. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CNIA) e Instituto de Clima y Agua. Buenos Aires, Argentina. 85 pp.

Reul, N., Tenerelli, J., Chapron, B., Vandermark, D., Quilfen, Y. y Y. Kerr. 2012. SMOS satellite L-band radiometer: a new capability for ocean surface remote sensing in hurricanes. *Journal of Geophysical Research*, 117: C02006

Reyes-Mendy, F., Arriagada, R., Reyes-Paecke, S. y A. Tobar. 2014. Policy statement coherence: A methodological proposal to assess environmental publica policies applied to water in Chile. *Environmental Science and Policy* 42: 169-180

Rhoades, R. and R. Booth. 1982. Farmer-back-to-farmer: a model for generating acceptable agricultural technology. *Agricultural Administration* 11: 127-137.

Rodríguez-Pimentel, L., Silva-Romo, R. y N. Wachter-Rodarte. 2006. Estudios económicos y análisis de decisiones en la autogestión de recursos. *Revista Medica del Instito Mexicano del Seguro Social* 2007 45 (3): 297-304.

Röling, N., and P. Engel. 1990. The development of the concept of agricultural knowledge information systems (AKIS): Implications for extension. In *Agricultural extension: Worldwide institutional evolution and forces for change*. W.M. Rivera and D.J. Gustafson (Eds): 125-138.

Röling, N. and J. Pretty. 1997. Improving agricultural extension. A reference manual. In: *Chapter 20 - Extension's role in sustainable agricultural development*. Addison H. Maunder (Ed). 336 pp.

Rötzer, K., Montzka, C., Bogen, H., Wagner, W., Kidd, R. and H. Vereecken. 2012. Time series analysis of SMOS and ASCAT: Soil Moisture Product Validation in the rur and erft catchments. *Geoscience & Remote Sensing Symposium (IGARSS)*: 3716-3719.

Sánchez, M. 2015. La dicotomía cualitativo-cuantitativo: posibilidades de integración y diseños mixtos. *Campo Abierto* 1: 11-30.

Sánchez, M. y A. Romero. 2005. Estado actual de los métodos de estimación de la evapotranspiración. Aplicación a la cuenca del río Quipar (Murcia). *Nimbus* 15-16: 189-202.

Santamaría-Artigas, A., Mattar, C. and J-P. Wigneron, J-P. 2016. Application of a Combined Optical-Passive Microwave Method to Retrieve Soil Moisture at Regional Scale

Over Chile. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 9(4): 1493-1504.

Serrano, R. 2003. *Introducción al análisis de datos experimentales: tratamiento de datos en bioensayos*. Publicacions de la Universitat Jaume I (Ed). Castellón de la Plana, España. 190 pp.

Schmidt, N., da Silva, C., Hinca, A. and H. Gomes. 2014. Controversies about the Process of Technology Transfer from Public Research Institutions in Brazil: The Case of the Brazilian Agricultural Research Corporation - Embrapa. *Journal of Technology Management and Innovation* 9 (3): 182-195.

Shi, H., Li, L., Eamus, D., Cleverly, J., Huete, A., Beringer, J., Yu, Q., Gorsel, E. and L. Hutley. 2014. Intrinsic climate dependency of ecosystem light and water-use efficiencies across Australian biomes. *Environmental Research Letters* 9: 104002.

Sobrino, J.A., Mattar, C., JiménezMuñoz, J.C., Franch, B. y C. Corbari. 2013. On the Synergy between Optical & TIR observations for the retrievals of soil moisture content: exploring different approaches: 363–390. In: *Remote Sensing of Energy Fluxes and Soil Moisture Content*. G. Petropoulos (ed.); CRC Press. Florida, USA. 562 pp.

Sobrino, J., Raissouni, N., Kerr, Y., Olioso, A., López-García, M., Belaid, A., El Kharraz, M., Cuenca, J. and L. Dempere. 2000. *Teledetección*. Sobrino, J. A. (Ed.). Universidad de Valencia, España. 468 pp.

Solano, R., Didan, K., Jacobson, A. and A. Huete. 2010. *MODIS Vegetation Indices (MOD13) C5 User's Guide*. The University of Arizona, Tucson, Arizona, Estados Unidos. 38pp.

Soza, S. y L. Meza. 2010. *Gestión del Riesgo de Sequía y otros Eventos Climáticos Extremos en Chile: Estudio Piloto sobre Vulnerabilidad y la Gestión Local del Riesgo*. Informe Región de O'Higgins. Organización de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Santiago, Chile. 128 pp.

Suárez, F., Muñoz, J., Fernández, B., Dorsaz, JM., Hunter, C., Karavitis, C. and J. Gironás. *Integrated Water Resource Management and Energy Requirements for Water Supply in the Copiapó River Basin, Chile*. *Water* 6: 2590-261.

Sultana, M., Uddin, M., Ridoutt, B. y K. Peters. 2014. Comparison of water use in global milk production for different typical farms. *Agricultural Systems* 129: 9-21.

Swanson, B., Sands, C. and W. Peterson. 1990. Analysing agricultural technology systems: Some methodological tools. In *Methods for Diagnosing Research System Constraints and Assessing the Impact of Agricultural Research*. R. G. Echeverria (Ed): 55-108.

Tang, X., Ding, Z., Li, H., Luo, J. and J. Xie. 2015. Characterizing ecosystem water-use efficiency of croplands with eddy covariance measurements and MODIS products. *Ecological Engineering* 85: 212-217.

Taylor, S y R. Bogdan. 1987. *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. 2a. ed. Barcelona, España: Ediciones Paidós Básica. 345p.

Tian, H., Chen, G., Liu, M., Zhang, C., Sun, G., Lu, C., Xu, X., Ren, W., Pan, S. y A. Chappelka. 2010. Model estimates of net primary productivity, evapotranspiration, and water use efficiency in the terrestrial ecosystems of the southern United States during 1895–2007. *Forest Ecology and Management* 259: 1311 – 1327.

Tu, K., Knohl, A., Mambelli, S., Ma, S., Baldocchi, D. and T. Dawson . 2008. Observations and scaling of water use efficiency from leaf to globe. *Geophysical Research Abstracts* 10: EGU2008-A-07012.

United Nations Environment Programme (UNEP). 2014. Eficiencia en el uso del agua y la energía. Conferencia Anual 2014 de ONU Agua en Zaragoza. Nota informativa. Zaragoza, España. 7 pp.

Valdés-Pineda, R., Pizarro, R., García-Chevesich, P., Valdés, J., Olivares, C., Vera, M., Balocchi, F., Pérez, F., Vallejos, C., Fuentes, R., Abarza, A. y B. Helwig. 2014. Water Governance in Chile: Availability, management and climate change. *Journal of Hydrology* 519: 2538-2567.

Vergara, A. 1997. La libre transferibilidad de los Derechos de Agua. El caso chileno. *Revista Chilena de Derecho* 24(2): 369-395.

Villagra, A., Guzmán, A., Pandolfi, D. y G. Leguizamón. 2009. Análisis de medidas no-supervisadas de calidad en clusters obtenidos por K-means y Particle Swarm Optimization. Congreso de Inteligencia Computacional Aplicada (CICA), Revista C & T. Universidad de Palermo, Argentina. 8 pp.

Wallace, J. 2000. Increasing Agricultural Water Use Efficiency to Meet Future Food Production. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 82: 105-119.

Wan, Z. 2006. Collection-5 MODIS Land Surface Temperature Products Users' Guide. ICES, University of California, Santa Bárbara, Estados Unidos. 26 p.

Warner, K. 2008. Agroecology as Participatory Science: Emerging Alternatives to Technology Transfer Extension Practice. *Science, Technology and Human Values* 33 (6): 754-777.

Wigneron, J., Kerr, Y., Waldteufel, P., Saleh, K., Escorihuela, M., Richaume, P., Ferrazzoli, P., de Rosnav, P., Gurney, R., Calvet, J., Grant, J., Guglielmetti, M., Hornbuckle, B., Mätzler, C., Pellarin, T. and M. Schwank. 2007. L-band Microwave Emission of the Biosphere (L-MEB)

Model: Description and calibration against experimental data sets over crop fields. *Remote Sensing of Environment* 107(4): 639-655.

Willaarts, B., Volk., M. y P. Aguilera. 2012. Assessing the ecosystem services supplied by freshwater flows in Mediterranean agroecosystems. *Agricultural Water Management* 105: 21-31.

Wilson, C. 2013. User interface inspection methods: A user-centered design method: 23-41. In: Chapter 2 – Semi-Structured Interviews. Elsevier Morgan Kaufmann (Ed). 122 pp.

Winter, M. 1997. New Policies and New Skills: Agricultural Change and Technology Transfer. *European Society for Rural Sociology* 37 (3): 363-381.

Xue, Q., Zhu, Z., Musick, J., Stewart, B. and D. Dusek. 2003. Root growth and water uptake in winter wheat under deficit irrigation. *Plant and Soil* 257: 151-161.

Yaksic, A., Villanueva, L., Ormazábal, B., Sánchez, J. y N. Alvear. 2014. Control del Riesgo Agroclimático y de las Emergencias Agrícolas. Unidad Nacional de Emergencias Agrícolas y Gestión del Riesgo Agroclimático (UNEA). Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile, Santiago, Chile. 63 pp.

Yutronic, J. 2004. Ciencia, tecnología e innovación en Chile a las puertas del siglo XXI. *Temas de Iberoamérica. Globalización, Ciencia y Tecnología*: 115-142.

Zhang, L., Tian, J., He, H., Ren, X., Sun, X., Yu, G., Lu, Q. and L. Lv. 2015. Evaluation of Water Use Efficiency Derived from MODIS Products against Eddy Variance Measurements in China. *Remote Sensing* 7: 11183-11201.

Zhao, M., Heinsch, F., Nemani, R. and S. Running. 2005. Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set. *Remote Sensing Environmental* 95: 164–176.

Zhu, X., Yu, G., Wang, Q., Hu, Z., Zheng, H., Li, S., Sun, X., Zhang, Y., Yan, J., Wang, H., Zhao, F., Zhang, J., Shi, P., Li, Y., Zhang, F y Y. Hao. 2015. Spatial variability of water use efficiency in China's terrestrial ecosystems. *Global and Planetary Change* 129: 37-44.

7. APÉNDICES

Apéndice 1. Esquema de entrevista a realizar en terreno basada en FAO y ODEPA (2010).



Fondecyt Iniciación - 11130359

Investigación: Identificación de las necesidades de usuarios del agua de la zona agrícola de Chimbarongo, VI Región

Entrevistado/a: _____

Sección 1: Tenencia de Tierras

1. ¿Usted es... del predio?

Propietario

Arrendatario

Usufructuario

Otro...

2. ¿De cuántas hectáreas?

Sección 2: Cultivos

3. ¿Qué cultiva?

Producto

Hectáreas

Meses siembra

Meses cosecha

4. ¿Por qué no cultiva el resto de las hectáreas?

5. ¿Hace rotación de cultivos? (explicar)

Sección 3: Riego

6. ¿Usted riega su cultivo?

7. ¿Cuántas veces a la semana y por cuánto tiempo? ¿Por qué esa cantidad de veces?

8. ¿Cómo es la dinámica en invierno (barbecho) y en verano (cultivo)?

9. ¿Tiene usted alguna infraestructura de riego? ¿Cuál?

Tranque o
estanque
(capacidad en
m³)

Pozo o noria
(profundidad en
m)

Bomba (potencia)

Otra...

10. Infraestructura de riego faltante...

11. Tipo de riego

Goteo

Tendido

Surcos

Aspersores

Otros...

12. Acceso al agua de riego (conocer restricción)

No tengo acceso al agua para regar

Tengo acceso (especificar Há de riego)

13. Si tiene acceso, ¿cuáles son sus fuentes de abastecimiento?

Canal

Pozo o noria

Quebrada o
vertiente

Otras...

14. Si tiene acceso, ¿Cuán frecuentemente puede sacar agua de estas fuentes?

15. ¿Posee derechos de agua? ¿Cuántos?

Sección 4: Sequía

16. ¿Conoce usted lo que es una sequía y como le podría afectar?

17. ¿Ha notado disminución de sus fuentes de agua?

¿Cuándo?

¿Cuánto?

18. A pesar de que ha notado sequía, ¿Siembra lo mismo de siempre?, Si cambia de cultivos ¿Cuál es? ¿Qué siembra siempre (sin sequía)?

19. ¿La cantidad cosechada fue menor o de menor calidad? ¿Cuánto menor?

20. ¿Tuvo otras pérdidas económicas durante la sequía? (explicar)

21. Otros cambios que implicó la sequía...

Sección 5 Percepción de la sequía (esto se responde sólo si en la sección anterior conocen lo que es sequía y los ha afectado)

22. ¿En qué época lo afectaría más una sequía? ¿Por qué?

23. ¿Qué le indica que se está en un período de sequía?

24. ¿A que le atribuye que haya sequía?

25. ¿Qué haría/ha hecho para enfrentar una sequía?

Sección 6: Asistencia durante una sequía

26. ¿Dio aviso a alguna institución sobre problemas que le haya causado la sequía? ¿A cuál?
(explicar ayuda recibida y responder sólo si sabe lo que es una sequía)

27. ¿Qué recomienda para mejorar el apoyo durante una emergencia de sequía?

Sección 7: Organización

28. ¿Pertenece a alguna asociación, agrupación campesina, cooperativa, otra?

29. ¿Cómo se organizan? ¿Cuándo?

30. ¿Cómo es su relación con sus vecinos? (especificar conflictos)

Sección 8: Necesidades (Imagen a futuro)

31. ¿Cómo cree que será la disponibilidad de agua en el futuro?

32. ¿Cómo afectará esto su relación con los demás usuarios e instituciones?

33. ¿Qué herramientas o información necesita para sus cultivos? (precipitaciones, humedad de suelo, etc)

34. ¿Tiene manejo de computador, internet, celular, facebook, mails, redes en general? (ver como se comunica)

35. ¿Usted usaría informáticas que le ayuden a usar más eficientemente el agua?

36. ¿Usted instalaría algún aparato que le avisara cuando regar en su predio en medio del cultivo?

¿Cuál sería su condición para aceptar esto? (que no moleste, que esté lejos del cultivo, etc)

37. ¿Confiaría más en su experiencia, en un aparato o en alguna institución que le avisara cuando y/o como regar?

Apéndice 2. Filtro DQX para datos satelitales de Humedad de Suelo de SMOS.

ID	Año	Mes	Día	Hora	Minutos	H° de Suelo	DQX	Confiabilidad
1	2014	11	16	11	0	0.0596026	0.0127262	Confiable
2	2014	11	16	22	10	0.131932	0.0171361	Confiable
3	2014	11	18	11	22	0.111209	0.0206458	Confiable
4	2014	11	18	22	32	0.155492	0.0186926	Confiable
5	2014	11	19	10	43	3.05E-05	0.00448622	Confiable
6	2014	11	21	11	5	0.00030519	0.00271615	Confiable
7	2014	11	21	22	15	0.0997345	0.0190283	Confiable
8	2014	11	23	11	27	0.0509964	0.0130467	Confiable
9	2014	11	23	22	37	0.175695	0.023133	Confiable
10	2014	11	24	10	48	0.00759911	0.0230415	Confiable
11	2014	11	24	21	59	0.11948	0.0196844	Confiable
12	2014	11	26	11	10	0.023133	0.00680563	Confiable
13	2014	11	26	22	20	0.106357	0.0182043	Confiable
14	2014	11	28	11	32	3.05E-05	0.00840785	Confiable
15	2014	11	28	22	42	0.130131	0.0166326	Confiable
16	2014	11	29	10	54	0.0646077	0.0135807	Confiable
17	2014	11	29	22	4	0.370708	0.0363781	Confiable
18	2014	12	1	11	16	0.22779	0.0183874	Confiable
19	2014	12	1	22	26	0.268868	0.0202338	Confiable
20	2014	12	4	10	59	0.146336	0.0161901	Confiable
21	2014	12	4	22	9	0.213752	0.0169378	Confiable
22	2014	12	6	11	21	0.595233	0.114475	Relativo
23	2014	12	6	22	31	0.304819	0.033784	Confiable
24	2014	12	7	10	43	0.114536	0.0217444	Confiable
25	2014	12	9	11	4	0.1301	0.015183	Confiable
26	2014	12	9	22	14	0.239235	0.0266121	Confiable
27	2014	12	11	11	26	0.119907	0.0179449	Confiable
28	2014	12	11	22	36	0.215491	0.032609	Confiable

29	2014	12	12	10	48	0.00720237	0.0212409	Confiable
30	2014	12	12	21	58	0.245705	0.0410474	Confiable
31	2014	12	14	11	10	0.0544755	0.0108951	Confiable
32	2014	12	14	22	20	0.182104	0.020661	Confiable
33	2014	12	16	11	32	0.0491653	0.0171819	Confiable
34	2014	12	16	22	41	0.163366	0.0228278	Confiable
35	2014	12	17	10	53	0.0300302	0.00979644	Confiable
36	2014	12	17	22	3	0.135838	0.0183264	Confiable
37	2014	12	19	11	15	0.0544145	0.00985748	Confiable
38	2014	12	19	22	25	0.106113	0.017716	Confiable
39	2014	12	22	10	58	0.144047	0.0133976	Confiable
40	2014	12	22	22	8	0.263283	0.0253456	Confiable
41	2014	12	24	11	20	0.126926	0.012833	Confiable
42	2014	12	24	22	30	0.215308	0.0229041	Confiable
43	2014	12	25	10	42	0.0300607	0.0240944	Confiable
44	2014	12	27	11	3	0.0567339	0.0116428	Confiable
45	2014	12	27	22	13	0.206519	0.028779	Confiable
46	2014	12	29	11	25	0.128208	0.020661	Confiable
47	2014	12	29	22	35	0.174902	0.0268105	Confiable
48	2014	12	30	10	47	3.05E-05	0.00451674	Confiable
49	2014	12	30	21	57	0.272256	0.0501419	Confiable
50	2015	1	1	11	9	0.123661	0.016068	Confiable
51	2015	1	1	22	19	0.137242	0.0169378	Confiable
52	2015	1	3	11	31	0.0962859	0.0328532	Confiable
53	2015	1	3	22	41	0.155248	0.022187	Confiable
54	2015	1	4	10	52	0.0823084	0.0200964	Confiable
55	2015	1	4	22	2	0.143681	0.0286721	Confiable
56	2015	1	6	11	14	0.125553	0.0163274	Confiable
57	2015	1	6	22	24	0.139683	0.015717	Confiable
58	2015	1	9	10	58	0.0332347	0.00918607	Confiable
59	2015	1	9	22	7	0.15717	0.0230262	Confiable
60	2015	1	11	11	19	0.105167	0.0181585	Confiable
61	2015	1	11	22	29	0.184271	0.0236366	Confiable
62	2015	1	12	10	41	0.0298776	0.023957	Confiable
63	2015	1	14	11	3	0.0415052	0.00926237	Confiable
64	2015	1	14	22	13	0.15656	0.0192267	Confiable
65	2015	1	16	11	25	0.209174	0.0414747	Confiable
66	2015	1	16	22	35	0.211463	0.0342112	Confiable
67	2015	1	17	10	46	0	0.002472	Confiable
68	2015	1	17	21	56	0.392712	0.0824	Confiable

69	2015	1	19	11	8	0.104038	0.0175176	Confiable
70	2015	1	19	22	18	0.353435	0.0467086	Confiable
71	2015	1	21	11	30	0.126469	0.022721	Confiable
72	2015	1	21	22	40	0.337474	0.0500046	Confiable
73	2015	1	22	10	52	0.0524003	0.0130009	Confiable
74	2015	1	22	22	2	0.223853	0.0309458	Confiable
75	2015	1	24	11	14	0.0595721	0.0110477	Confiable
76	2015	1	24	22	24	0.1077	0.0172124	Confiable
77	2015	1	26	22	46	0.0630818	0.0337535	Confiable
78	2015	1	27	10	57	0.0515458	0.0112156	Confiable
79	2015	1	27	22	7	0.0919828	0.0153661	Confiable
80	2015	1	29	11	19	0.124699	0.0169836	Confiable
81	2015	1	29	22	29	0.11066	0.0136418	Confiable
82	2015	2	1	11	2	0.0742515	0.0135044	Confiable
83	2015	2	1	22	12	0.106174	0.0162816	Confiable
84	2015	2	3	11	24	0.177801	0.0306558	Confiable
85	2015	2	3	22	34	0.164708	0.023133	Confiable
86	2015	2	4	10	46	0	0.00207526	Confiable
87	2015	2	4	21	56	0.218757	0.0388653	Confiable
88	2015	2	6	11	7	0.114628	0.0137181	Confiable
89	2015	2	6	22	17	0.18305	0.0220344	Confiable
90	2015	2	8	11	29	0.202246	0.0370952	Confiable
91	2015	2	8	22	39	0.176397	0.0228278	Confiable
92	2015	2	9	10	51	0.0767846	0.0192572	Confiable
93	2015	2	9	22	1	0.146001	0.0269631	Confiable
94	2015	2	11	11	12	0.131901	0.0173803	Confiable
95	2015	2	11	22	22	0.12833	0.014893	Confiable
96	2015	2	13	22	44	0.102664	0.0230262	Confiable
97	2015	2	14	10	56	0.0549333	0.0120853	Confiable
98	2015	2	14	22	6	0.124149	0.0175634	Confiable
99	2015	2	16	11	18	0.0707724	0.012772	Confiable
100	2015	2	16	22	28	0.139286	0.0154881	Confiable
101	2015	2	19	11	1	0.0775781	0.0136723	Confiable
102	2015	2	19	22	11	0.151494	0.0182043	Confiable
103	2015	2	21	11	23	0.402112	0.0813471	Confiable
104	2015	2	21	22	33	0.298196	0.0309458	Confiable
105	2015	2	22	10	45	0.0257271	0.0187384	Confiable
106	2015	2	22	21	55	0.242988	0.039964	Confiable
107	2015	2	24	11	7	0.110202	0.0123753	Confiable
108	2015	2	24	22	17	0.260903	0.0264443	Confiable

109	2015	2	26	11	29	0.120334	0.0191809	Confiable
110	2015	2	26	22	39	0.219855	0.0315409	Confiable
111	2015	2	27	10	50	0.0359508	0.0113681	Confiable
112	2015	2	27	22	0	0.17011	0.0222785	Confiable
113	2015	3	1	11	12	0.0757469	0.0125431	Confiable
114	2015	3	1	22	22	0.104617	0.0160527	Confiable
115	2015	3	3	22	44	0.0852992	0.0191961	Confiable
116	2015	3	4	10	56	0.0557268	0.0115207	Confiable
117	2015	3	4	22	5	0.0966216	0.0199744	Confiable
118	2015	3	6	11	17	0.0856349	0.0145878	Confiable
119	2015	3	6	22	27	0.0963775	0.0159612	Confiable
120	2015	3	9	11	1	0.0678426	0.013123	Confiable
121	2015	3	9	22	11	0.0732139	0.0149846	Confiable
122	2015	3	11	11	23	0.138951	0.0191198	Confiable
123	2015	3	11	22	33	0.139927	0.0178838	Confiable
124	2015	3	12	10	44	3.05E-05	0.002884	Confiable
125	2015	3	12	21	54	0.155217	0.0303659	Confiable
126	2015	3	14	11	6	0.0802026	0.0129093	Confiable
127	2015	3	14	22	16	0.127232	0.0146184	Confiable
128	2015	3	16	11	28	0.142949	0.0204321	Confiable
129	2015	3	16	22	38	0.188818	0.0240181	Confiable
130	2015	3	17	10	49	0.0192267	0.00946074	Confiable
131	2015	3	17	21	59	0.179907	0.027131	Confiable
132	2015	3	19	11	11	0.0828272	0.0128025	Confiable
133	2015	3	19	22	21	0.184088	0.0222175	Confiable
134	2015	3	21	22	43	0.120121	0.0160985	Confiable
135	2015	3	22	10	55	0.0431532	0.0103	Confiable
136	2015	3	22	22	5	0.194617	0.0340129	Confiable
137	2015	3	24	11	17	0.109287	0.0114902	Confiable
138	2015	3	24	22	26	0.182073	0.0142216	Confiable
139	2015	3	27	11	0	0.120975	0.0100864	Confiable
140	2015	3	27	22	10	0.187841	0.0194098	Confiable
141	2015	3	29	11	22	0.131443	0.0124668	Confiable
142	2015	3	29	22	32	0.234779	0.0321665	Confiable
143	2015	3	30	10	43	0.0281381	0.0131077	Confiable
144	2015	4	1	11	5	0.0474258	0.00848415	Confiable
145	2015	4	1	22	15	0.169317	0.0194861	Confiable
146	2015	4	3	11	27	0.0919828	0.0163579	Confiable
147	2015	4	3	22	37	0.167272	0.0250404	Confiable
148	2015	4	4	10	49	0.0200812	0.00852992	Confiable

149	2015	4	4	21	59	0.177679	0.0274972	Confiable
150	2015	4	6	11	10	0.0646382	0.0101169	Confiable
151	2015	4	6	22	20	0.160131	0.0187994	Confiable
152	2015	4	8	11	33	0.0704367	0.0224158	Confiable
153	2015	4	8	22	42	0.112613	0.0156255	Confiable
154	2015	4	9	10	54	0.0377514	0.00903348	Confiable
155	2015	4	9	22	4	0.163793	0.0269478	Confiable
156	2015	4	11	11	16	0.0831324	0.0130467	Confiable
157	2015	4	11	22	26	0.139042	0.0139622	Confiable
158	2015	4	14	10	59	0.0717185	0.0112308	Confiable
159	2015	4	14	22	9	0.174413	0.0225532	Confiable
160	2015	4	16	11	21	0.0983001	0.0183874	Confiable
161	2015	4	16	22	31	0.182134	0.0231941	Confiable
162	2015	4	17	10	43	0	0.00103763	Confiable
163	2015	4	19	11	5	0.0868862	0.0130619	Confiable
164	2015	4	19	22	15	0.169836	0.0175634	Confiable
165	2015	4	21	11	27	0.129765	0.0156407	Confiable
166	2015	4	21	22	37	0.19187	0.0303812	Confiable
167	2015	4	22	10	48	0.032197	0.0100711	Confiable
168	2015	4	22	21	58	0.126347	0.0176397	Confiable
169	2015	4	24	11	10	0.0466323	0.00852992	Confiable
170	2015	4	24	22	20	0.156102	0.0174261	Confiable
171	2015	4	26	11	32	0.0937834	0.0245674	Confiable
172	2015	4	26	22	42	0.137425	0.0182806	Confiable
173	2015	4	27	10	54	0.0147099	0.00843837	Confiable
174	2015	4	27	22	3	0.160466	0.0255287	Confiable
175	2015	4	29	11	16	0.0759911	0.0131535	Confiable
176	2015	4	29	22	25	0.122684	0.0135502	Confiable
177	2015	5	2	22	9	0.25428	0.0247658	Confiable
178	2015	5	4	11	21	0.218848	0.0315714	Confiable
179	2015	5	4	22	31	0.214972	0.0198218	Confiable
180	2015	5	5	10	43	0.0402234	0.0162969	Confiable
181	2015	5	7	11	4	0.0500809	0.0101779	Confiable
182	2015	5	7	22	14	0.161473	0.0175787	Confiable
183	2015	5	9	22	36	0.171087	0.0275887	Confiable
184	2015	5	10	10	48	0	0.00059511	Confiable
185	2015	5	10	21	58	0.16953	0.0259255	Confiable
186	2015	5	12	11	10	0.0285348	0.00679037	Confiable
187	2015	5	12	22	20	0.122471	0.0141453	Confiable
188	2015	5	14	11	32	0.045381	0.0154576	Confiable

189	2015	5	14	22	42	0.111942	0.0162053	Confiable
190	2015	5	15	10	53	0.0191961	0.00798059	Confiable
191	2015	5	15	22	3	0.0959197	0.0177465	Confiable
192	2015	5	17	11	15	0.0559404	0.0102847	Confiable
193	2015	5	17	22	25	0.0807215	0.0144658	Confiable
194	2015	5	20	10	58	6.10E-05	0.00111393	Confiable
195	2015	5	20	22	8	0.0875881	0.0171514	Confiable
196	2015	5	22	11	20	0.0283212	0.00943022	Confiable
197	2015	5	22	22	30	0.132572	0.0145116	Confiable
198	2015	5	23	10	42	3.05E-05	0.0255135	Confiable
199	2015	5	25	11	4	0.0158391	0.00560015	Confiable
200	2015	5	25	22	14	0.109134	0.0126652	Confiable
201	2015	5	27	11	25	0.0789209	0.0166478	Confiable
202	2015	5	27	22	35	0.120762	0.0157476	Confiable
203	2015	5	28	10	47	0	0.00068667	Confiable
204	2015	5	28	21	57	0.106204	0.0196081	Confiable
205	2015	5	30	11	9	0.0950652	0.0128941	Confiable
206	2015	6	1	11	31	0.108188	0.0155797	Confiable
207	2015	6	1	22	41	0.0708945	0.0166173	Confiable
208	2015	6	2	10	52	0.0287484	0.00903348	Confiable
209	2015	6	2	22	2	0.0766015	0.015305	Confiable
210	2015	6	4	11	14	0.0428175	0.00801111	Confiable
211	2015	6	4	22	24	0.0637532	0.0110477	Confiable
212	2015	6	7	10	57	0.126102	0.00996429	Confiable
213	2015	6	7	22	7	0.265877	0.0224158	Confiable
214	2015	6	9	11	19	0.329508	0.0349132	Confiable
215	2015	6	9	22	29	0.274392	0.0195776	Confiable
216	2015	6	12	11	3	0.161565	0.014069	Confiable
217	2015	6	12	22	13	0.22779	0.0159612	Confiable
218	2015	6	14	11	24	0.248482	0.0362407	Confiable
219	2015	6	15	10	46	0.0761437	0.0159917	Confiable
220	2015	6	17	11	8	0.182562	0.0157933	Confiable
221	2015	6	19	11	30	0.118839	0.0121769	Confiable
222	2015	6	20	22	1	0.17777	0.0201727	Confiable
223	2015	6	22	11	13	0.0706198	0.00915555	Confiable
224	2015	6	22	22	23	0.157292	0.0109561	Confiable
225	2015	6	24	22	45	0.137791	0.0158238	Confiable
226	2015	6	25	10	57	0.0472732	0.00859096	Confiable
227	2015	6	25	22	6	0.137974	0.014008	Confiable
228	2015	6	27	11	18	0.0757469	0.0122074	Confiable

229	2015	6	27	22	28	0.139561	0.011536	Confiable
230	2015	6	30	11	2	0.0458693	0.00886563	Confiable
231	2015	6	30	22	12	0.101413	0.0135807	Confiable
232	2015	7	2	11	24	0.0466628	0.0121158	Confiable
233	2015	7	2	22	34	0.118442	0.0118259	Confiable
234	2015	7	3	10	45	3.05E-05	0.00186163	Confiable
235	2015	7	3	21	55	0.0688192	0.0182501	Confiable
236	2015	7	5	11	7	0.0936003	0.0126652	Confiable
237	2015	9	13	10	43	0.0921354	0.0307779	Confiable
238	2015	9	20	22	20	0.296548	0.0198218	Confiable
239	2015	9	22	11	32	0.168035	0.0411847	Confiable
240	2015	9	22	22	42	0.248665	0.0284433	Confiable
241	2015	9	23	10	53	0.115085	0.0134739	Confiable
242	2015	9	23	22	3	0.214698	0.0263527	Confiable
243	2015	9	30	11	21	0.338908	0.0405896	Confiable
244	2015	9	30	22	31	0.306009	0.0252998	Confiable
245	2015	10	1	10	42	0.156865	0.0226753	Confiable
246	2015	10	3	11	4	0.268441	0.0190435	Confiable
247	2015	10	3	22	14	0.368236	0.0260781	Confiable
248	2015	10	5	11	26	0.429701	0.0758232	Confiable
249	2015	10	8	11	9	0.196265	0.0124668	Confiable
250	2015	10	10	11	31	0.172033	0.0168615	Confiable
251	2015	10	10	22	41	0.151341	0.0208899	Confiable
252	2015	10	11	10	53	0.112644	0.0104526	Confiable
253	2015	10	11	22	3	0.17655	0.020539	Confiable
254	2015	10	13	11	15	0.149846	0.012421	Confiable
255	2015	10	13	22	25	0.155278	0.0120243	Confiable
256	2015	10	21	22	14	0.392285	0.0345012	Confiable
257	2015	10	23	11	26	0.276437	0.0427717	Confiable
258	2015	10	23	22	35	0.360698	0.0533006	Confiable
259	2015	10	24	10	47	0.133488	0.0169683	Confiable
260	2015	10	24	21	57	0.509812	0.0709403	Confiable
261	2015	10	26	11	9	0.165593	0.0140996	Confiable
262	2015	10	26	22	19	0.24308	0.0220954	Confiable
263	2015	10	28	11	31	0.140721	0.0182653	Confiable
264	2015	10	28	22	41	0.237251	0.0241859	Confiable
265	2015	10	29	10	52	0.149052	0.0125736	Confiable
266	2015	10	29	22	2	0.279519	0.0436415	Confiable
267	2015	10	31	11	14	0.149236	0.0135655	Confiable
268	2015	10	31	22	24	0.115696	0.0104831	Confiable

269	2015	11	3	10	58	0.138951	0.0128788	Confiable
270	2015	11	3	22	8	0.200323	0.0234993	Confiable
271	2015	11	5	11	20	0.111423	0.0126194	Confiable
272	2015	11	5	22	30	0.144749	0.0161138	Confiable
273	2015	11	6	10	41	0.139348	0.0302286	Confiable
274	2015	11	8	11	3	0.125797	0.016068	Confiable
275	2015	11	8	22	13	0.170232	0.0194555	Confiable
276	2015	11	10	11	25	0.15247	0.0208289	Confiable
277	2015	11	10	22	35	0.185095	0.0257576	Confiable
278	2015	11	11	10	47	0.0004883	0.122669	Relativo
279	2015	11	11	21	57	0.345164	0.0532701	Confiable
280	2015	11	13	11	8	0.192907	0.0197302	Confiable
281	2015	11	13	22	18	0.245003	0.0239418	Confiable
282	2015	11	15	11	30	0.14716	0.0226295	Confiable
283	2015	11	15	22	40	0.138066	0.0156713	Confiable
284	2015	11	16	10	52	0.096469	0.0157018	Confiable
285	2015	11	16	22	2	0.164617	0.0250557	Confiable
286	2015	11	18	11	14	0.124119	0.0149846	Confiable
287	2015	11	18	22	24	0.067568	0.0114902	Confiable
288	2015	11	20	22	46	0.0262459	0.021424	Confiable
289	2015	11	21	10	57	0.0693075	0.0141758	Confiable
290	2015	11	21	22	7	0.0202948	0.0109104	Confiable
291	2015	11	23	11	19	0.0214545	0.00889615	Confiable
292	2015	11	23	22	29	0.0438856	0.0138554	Confiable
293	2015	11	26	11	2	0	0.00062563	Confiable
294	2015	11	26	22	12	0.0426344	0.0117344	Confiable
295	2015	11	28	11	24	0.083285	0.021485	Confiable
296	2015	11	28	22	34	0.107486	0.0183111	Confiable
297	2015	11	29	10	46	3.05E-05	0.0161596	Confiable
298	2015	12	1	11	8	0.0617389	0.0147252	Confiable
299	2015	12	1	22	18	0.051973	0.0129856	Confiable
300	2015	12	3	11	30	0.0715659	0.0205847	Confiable
301	2015	12	3	22	39	0.0396741	0.0146947	Confiable
302	2015	12	4	10	51	0.0145573	0.0145726	Confiable
303	2015	12	4	22	1	0.057741	0.021897	Confiable
304	2015	12	6	11	13	0.0912503	0.0180517	Confiable
305	2015	12	6	22	23	0.0544145	0.0160375	Confiable
306	2015	12	8	22	45	0.040437	0.0188757	Confiable
307	2015	12	9	10	56	0.0223701	0.00923185	Confiable
308	2015	12	9	22	6	6.10E-05	0.0040437	Confiable

309	2015	12	11	11	18	0.0914945	0.0186316	Confiable
310	2015	12	11	22	28	0.040376	0.0133976	Confiable
311	2015	12	14	11	1	0.0629902	0.0138401	Confiable
312	2015	12	14	22	11	0.0282296	0.0116123	Confiable
313	2015	12	16	11	23	0.099826	0.0224616	Confiable
314	2015	12	16	22	33	0.106326	0.0273904	Confiable
315	2015	12	17	10	45	0	0.00167852	Confiable
316	2015	12	17	21	55	0.106449	0.0356304	Confiable
317	2015	12	19	11	7	0.0336009	0.00976592	Confiable
318	2015	12	19	22	17	0.0215155	0.016129	Confiable
319	2015	12	21	11	29	0.0441298	0.0143895	Confiable
320	2015	12	21	22	38	0.0636921	0.0224921	Confiable
321	2015	12	22	10	50	0	0.00083926	Confiable
322	2015	12	22	22	0	0.00671407	0.130894	Relativo
323	2015	12	24	11	12	0.0492264	0.0108493	Confiable
324	2015	12	24	22	22	0.0415052	0.0173345	Confiable
325	2015	12	26	22	44	0.0382092	0.0322428	Confiable
326	2015	12	27	10	56	6.10E-05	0.0206	Confiable
327	2015	12	27	22	5	9.16E-05	0.00111393	Confiable
328	2015	12	29	11	17	0.0685446	0.0151677	Confiable
329	2015	12	29	22	27	0.0942106	0.017365	Confiable