



## **INFORME DE AVANCE TECNICO Y DE DIFUSIÓN**

**EJECUTOR:**

**Instituto de Investigaciones Agropecuarias - INIA**

**NOMBRE DEL ESTUDIO:**

**Bases para la determinación de los requerimientos hídricos de los principales cultivos del país según zonas agroecológicas**

**CÓDIGO: UDE-2016-113**

**Nº DE INFORME: 2**

**PERIODO INFORMADO:**

**Desde: 15 de Marzo de 2017**

**Hasta: 17 de Abril de 2017.**

**NOMBRE Y FIRMA DEL COORDINADOR DEL PROYECTO:**

---

**Claudio Balbontín Nesvara**

**USO INTERNO FIA**

**FECHA DE RECEPCIÓN**



## **INDICE**

### **I.- RESUMEN EJECUTIVO DEL ESTUDIO**

### **II.- INFORME TÉCNICO DE AVANCE**

- 1.- Resumen del período**
- 2.- Actividades ejecutadas y análisis de brecha.**
- 3.- Metodología.**
- 4.- Resultados e hitos.**
- 5.- Impactos logrados a la fecha**
- 6.- Problemas enfrentados**
- 7.- Programa próximo período**
- 8.- Otros aspectos de interés.**
- 9.- Conclusiones y recomendaciones.**

### **III.- INFORME DE DIFUSIÓN Y PUBLICACIONES**

### **IV.- ANEXOS**



## I. RESUMEN EJECUTIVO DEL ESTUDIO

El objetivo general del estudio es responder a una de las prioridades establecidas por la Agenda Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación para la Sostenibilidad de los Recursos Hídricos<sup>1</sup>, generando las bases para el desarrollo de un Proyecto Nacional que permita determinar los requerimientos hídricos de los principales cultivos del país por zona agroclimática en cultivos como frutales caducifolios (uva de mesa, manzanos, cerezos), frutales perennifolios (paltos, olivos, cítricos) y cultivos anuales (trigo, maíz, papas), entre otros, a nivel de regiones agroecológicas, a través del trabajo articulado interinstitucional en agricultura y temática hídrica del país.

El resultado esperado de este estudio es la formulación de un Proyecto de cobertura Nacional que permita estimar la demanda hídrica de los principales cultivos en las diferentes regiones geográficas del país, a través de la definición de coeficientes de cultivo locales ( $K_c$ ) y el registro de la demanda ambiental (evapotranspiración de referencia,  $ET_o$ ) mediante estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) pertenecientes a la Red Agrometeorológica Nacional (RAN) que coordina el Ministerio de Agricultura. De esta forma se podrá estimar de manera dinámica la evapotranspiración de los cultivos ( $ET_c$ ) y por tanto las necesidades de riego de acuerdo a la metodología estandarizada FAO 56 (Allen et al., 1998).

La innovación para la obtención de la  $ET_c$  es el uso de series temporales densas de imágenes satelitales que permiten cubrir amplias zonas del territorio nacional registrando la dinámica del índice de vegetación por diferencias normalizado NDVI, el cual recoge el comportamiento del coeficiente de cultivo basal ( $K_{cb}$ ) para cada pixel de la superficie terrestre evaluado (Bausch 1993; Hunsaker et al. 2003; Neale et al. 1989; González-Dugo y Mateos, 2008; González-Dugo et al., 2009; Campos et al., 2010; D'Urso et al., 2010).

El manejo de esta información sería empaquetado en un sistema web (map server), el cual permita a los tomadores de decisiones tener un sistema de consulta y una aproximación de las demandas de agua de las zonas de riego, obteniendo balances hídricos en tiempo real.

Dada la cobertura de las herramientas utilizadas (imágenes satelitales) se podrán realizar balances hídricos a diferentes escalas de análisis de acuerdo a las necesidades de información (o tipo de usuario), desde predios individuales (superiores a 0,5 ha en el caso del satélite gratuito Landsat, inferior a 0,5 ha con imágenes de pago), grupos de predios, sub cuencas, cuencas, zonas geográficas, regiones, determinando asignación de recursos hídricos, zonas críticas, planificación y dimensionamiento de obras de riego entre otras aplicaciones en la organización del uso de los recursos hídricos.

La propuesta congregará las principales capacidades de investigación en materia de recursos hídricos y agricultura de Chile, permitiendo la interacción, articulación y escalamiento del conocimiento entre investigadores de diferentes instituciones.

---

<sup>1</sup> Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo (CNID), 2016

## II. INFORME TÉCNICO DE AVANCE

### 1. Resumen del período

En acuerdo con el cronograma de actividades original, durante el período a informar se realizó la segunda reunión de especialistas en recursos hídricos en la ciudad de Santiago el día 31 de marzo de 2017. En esta instancia se presentó el Informe N°1 entregado a la fuente de financiamiento y se definieron actividades futuras para el siguiente período. Así mismo, se abordó con mayor nivel de detalle las metodologías a implementar en el Proyecto Nacional y se inició el dimensionamiento económico de este proyecto. También se abordaron temas relativos a la propiedad intelectual de los productos a implementar y generados en el Proyecto Nacional y estrategias de financiamiento para la sostenibilidad de la plataforma en el futuro. Además, comenzó el análisis y la evaluación de posibles fuentes de financiamiento para la implementación del Proyecto Nacional, la cual contemplo la posibilidad de implementar la plataforma de manera piloto en algunas regiones del país. Se acordó que la tercera reunión general del grupo se realizará la última semana de abril de 2017 en la ciudad de Concepción.



Fig. 1. Segunda reunión general de la red de investigadores en recursos hídricos realizada en Santiago el día 31 de marzo de 2017.

## 2. Actividades Ejecutadas y Análisis de Brecha (comparativo)

### 2.1 Actividades programadas y actividades ejecutadas

El siguiente cuadro resume las actividades programadas originalmente, que forman parte del Plan Operativo del Estudio y las actividades realizadas a la fecha.

Objetivo	Nº Act	Actividades Programadas	Actividades Ejecutadas	Discrepancias
1	<b>Identificación de las necesidades de información, tipos de usuarios y tipo de información (formato) para las demandas tecnológicas actuales respecto a la determinación de los requerimientos hídricos de los cultivos.</b>			
	2	Reunión de trabajo con todos los investigadores	En ejecución	NO
	3	Reunión de trabajo con grupos de investigación (zona norte, centro y sur)	En ejecución	NO
2	<b>Identificación de la propiedad intelectual de la plataforma y sus componentes.</b>			
	7	Descripción componentes y productos desplegables (descargables)	En ejecución	NO
	8	Generación de un acuerdo marco, entre los participantes del proyecto, sobre los eventuales derechos de propiedad intelectual	Parcialmente ejecutada	SI: Tema abordado en 2 reuniones, pero aún no se establece el acuerdo marco
3	<b>Definición de las especificaciones técnicas y metodologías para la determinación de los requerimientos hídricos de los principales cultivos en las diferentes regiones del país, así como para el desarrollo de una plataforma de consulta Map-server, donde se disponga la información de la demanda hídrica y estado de desarrollo de los cultivos.</b>			
	9	Identificación de información necesaria para consulta y manejo de los recursos hídricos	Finalizada	NO
	10	Establecer requerimientos de información para estimar la demanda hídrica de los cultivos por parte de investigadores, agricultores y tomadores de decisiones y su formato de entrega	Finalizada	NO
	11	Análisis plataformas disponibles a nivel nacional e internacional	Finalizada	NO
	12	Análisis de una estrategia para la sustentabilidad de la plataforma web	Parcialmente ejecutada	SI: Tema abordado en 2 reuniones. Estrategias aún en desarrollo.
4	<b>Coordinación y articulación de grupos de investigación en recursos hídricos y agricultura que permita estructurar una red de trabajo.</b>			

	13	Reunión de trabajo con todos los investigadores	En ejecución	NO
	14	Reunión de trabajo con grupos de investigación (zona norte, centro y sur) incluida la RAN, AGROMET, DMC	Parcialmente ejecutada	SI: En reuniones sólo han participado investigadores
5	<b>Definición de una estrategia de sustentabilidad de la plataforma que establezca costos de operación y participación de otras entidades con plataformas afines con posibilidades de alojamiento.</b>			
	15	Elaboración de un plan de sostenibilidad de la plataforma de monitoreo de las necesidades hídricas de los cultivos para su funcionamiento a nivel nacional.	Parcialmente ejecutada	SI: Tema abordado en 2 reuniones. Estrategias aún en desarrollo.
	16	Comunicaciones con miembros RED	En ejecución	NO
6	<b>Formulación técnica de un Proyecto Nacional que permita determinar los requerimientos hídricos de los principales cultivos del país a nivel de regiones agroecológicas de manera rutinaria a través de una plataforma estable.</b>			
	18	Análisis de la información recabada en los Objetivos Específicos anteriores reportados en informes parciales.	En ejecución	NO
	19	Socialización informes parciales con integrantes de la RED de investigadores en recursos hídricos	En ejecución	NO
	20	Sistematización de la información parcial.	En ejecución	NO

## 2.2 Razones que explican las discrepancias entre las actividades programadas y las efectivamente realizadas.

### Objetivo 2. Identificación de la propiedad intelectual de la plataforma y sus componentes.

#### Actividad 8. Generación de un acuerdo marco, entre los participantes del proyecto, sobre los eventuales derechos de propiedad intelectual

La posibilidad de que surjan eventuales derechos de propiedad intelectual ha sido planteada en las 2 reuniones del grupo de investigadores. Al respecto, se ha manifestado que cada institución (Universidades o Centro de Investigación) tienen políticas propias al respecto y cuentan para esto con oficinas o departamentos de licenciamiento y patentes. El acuerdo preliminar entre el grupo de investigadores sería en los siguientes términos:

“En el caso de que algún componente de la plataforma sea creado y/o adaptado por alguno de los investigadores participantes del Estudio, durante el desarrollo del Estudio o la implementación de la plataforma nacional, la oficina o departamento de licenciamiento y patentes de cada institución será la encargada de registrar la tecnología o el proceso”.



Durante el próximo período se tomará contacto con las oficinas o departamentos de licenciamiento y patentes de cada institución para la redacción de un acuerdo consensuado entre los investigadores participantes.

Se indica que el retraso en esta actividad no afecta el normal desarrollo del resto del Estudio.

**Objetivo 3. Definición de las especificaciones técnicas y metodologías para la determinación de los requerimientos hídricos de los principales cultivos en las diferentes regiones del país, así como para el desarrollo de una plataforma de consulta Map-server, donde se disponga la información de la demanda hídrica y estado de desarrollo de los cultivos.**

**Actividad 12. Análisis de una estrategia para la sustentabilidad de la plataforma web.**

La sustentabilidad de la plataforma web es un tema que se ha abordado en las dos reuniones con todos los investigadores, así como en las reuniones periódicas del equipo de profesional de Estudio. Al respecto, aún existen incertidumbres asociadas a:

(i) Tipo plataforma y su creación a partir de plataformas disponibles (SPIDER o Aquasat por ejemplo) o desde un proveedor de servicio de computo en la nube (Amazon, Google engine, etc.)

(ii) los posibles derechos de propiedad intelectual de una u otra institución pueden afectar la posible estrategia de sustentabilidad de la plataforma web y deberán ser analizados en la reunión con las oficinas de patentes respectivas y con la definición de los productos a entregar en dicha plataforma.

(iii) Funcionamiento de la plataforma inicial dentro del Proyecto Nacional debería estar en un nuevo departamento u oficina dentro de la(s) Universidad(es) o Centro(s) de Investigación y al concluir el(los) proyecto(s) pilotos, estos deberán gestionar fuentes de financiamiento basal que permitan su funcionamiento en el largo plazo. En ese sentido, aparecen como estrategias traspasar el departamento y oficina a:

a. Una institución dependiente del Minagri que cuente con financiamiento basal (ej: IDE Minagri, Ciren, CNR, INIA u otra)

b. Un(os) Centro(s) Regional(es) de investigación.

La versión final de las estrategias de sustentabilidad será definida durante el período final del Estudio, y el retraso no afecta el desarrollo de las otras actividades de la iniciativa.

**Objetivo 4. Coordinación y articulación de grupos de investigación en recursos hídricos y agricultura que permita estructurar una red de trabajo.**

**Actividad 14. Reunión de trabajo con grupos de investigación (zona norte, centro y sur) incluida la RAN, AGROMET, DMC.**

En las reuniones realizadas hasta la fecha sólo han participado investigadores, ya que aún se trabajaba en temas metodológicos específicos. Durante el próximo período se invitará a participar en las actividades de difusión de la iniciativa a autoridades y profesionales de entidades como la RAN, AGROMET, DMC u otras. Las actividades se realizarán en la macrozona norte, centro y sur, ya que se busca implementar los pilotos de proyecto en esas tres zonas.

El hecho de no incluir a RAN, AGROMET y DMC en las reuniones realizadas hasta la fecha no afecta el desarrollo de la iniciativa.



## **Objetivo 5. Definición de una estrategia de sustentabilidad de la plataforma que establezca costos de operación y participación de otras entidades con plataformas afines con posibilidades de alojamiento.**

### **Actividad 15. Elaboración de un plan de sostenibilidad de la plataforma de monitoreo de las necesidades hídricas de los cultivos para su funcionamiento a nivel nacional.**

Durante el período a informar se comenzó a trabajar en el presupuesto de implementación de los pilotos de proyecto y se han evaluado posibles fuentes de financiamiento (FIA, FIC R de asignación directa, Concurso FIC R para Universidades y Centros de Investigación, FNDR, CORFO y otros). En la etapa final del Estudio se elaborará el presupuesto de operación de la plataforma una vez finalizada la etapa de “pilotos regionales” (2 años), y se definirán las estrategias de sustentabilidad (complemento con Actividad 12, Objetivo 3).

Una de las alternativas de financiamiento que pareciera ser viable corresponde al FIC Regional de asignación directa. Los FIC de cada región asignan fondos de manera directa a iniciativas presentadas por Corfo, Conicyt, Consejo Nacional de Producción Limpia, Sercotec, ProChile, CRDP (en el caso de Coquimbo), Programa Científico Milenio y FIA. En este caso, la opción más natural, considerando que FIA cofinancia el presente Estudio y la iniciativa es de su completo interés, es solicitar que algunas de las oficinas regionales de FIA presenten la iniciativa a cada FIC R (idealmente, 3 proyectos piloto), utilizando como insumo el avance actual del Estudio y los formatos FIC R para iniciativas de asignación directa. Al solicitar esta fuente de financiamiento, el conducto regular de las iniciativas presentadas es el siguiente: (i) DIPLAN, (ii) Intendente y (iii) Consejo Regional, siendo este último quien decide si se otorgarán los recursos para su ejecución. En el caso de tener éxito, el FIC Regional asigna los recursos a FIA y posteriormente FIA llamaría a un concurso o licitación para su ejecución en la región. Respecto a los plazos, los FIC R de todas las regiones deben informar el presupuesto disponible para asignación directa, a más tardar, el 30 de Abril de 2017; mientras que las entidades que pueden optar a la asignación directa tienen plazo para presentar sus iniciativas hasta el 31 de Mayo de 2017. De esta forma se lograría apalancar financiamiento regional (no directo de FIA) y, eventualmente, lograr levantar 3 pilotos en las macrozonas norte, centro y sur.

### **3. Metodología**

En los párrafos siguientes se describe la metodología utilizada en las actividades desarrolladas hasta la fecha del informe.

## **Objetivo 1. Identificación de las necesidades de información, tipos de usuarios y tipo de información (formato) para las demandas tecnológicas actuales respecto a la determinación de los requerimientos hídricos de los cultivos.**

### **Actividad 2. Reunión de trabajo con todos los investigadores**

La segunda reunión se realizó el 31 de marzo de 2017. La fecha fue acordada en la primera reunión considerando la posibilidad de participación del mayor número de investigadores posible. La reunión tuvo lugar en el Hotel Panamericana ubicado en la comuna de Providencia, Santiago. Asistieron Gabriel Selles (INIA), Samuel Ortega (U Talca), Jorge Olave (CIDERH), Alejandro Antúnez (INIA), Luis Morales (U Chile), Octavio Lagos (U Concepción), Mario Lillo, Pilar Gil (U Católica), Magali Odi, Víctor Muñoz, Claudio Balbontín, Maurice Streit, Carlos Ovalle (INIA).

### **Actividad 3. Reunión de trabajo con los grupos de investigación (zona norte, centro y sur)**

Esta actividad corresponde a las reuniones de los comités reducidos (Petit Comité). Estas reuniones se realizaron e informaron el período anterior y el equipo profesional del Estudio ha tomado contacto con los investigadores que conforman los comités durante el período a informar.



## **Objetivo 2. Identificación de la propiedad intelectual de la plataforma y sus componentes**

### **Actividad 7. Descripción componentes y productos desplegados (descargables).**

A partir de la información recabada en las reuniones se concluye que los componentes y productos desplegados principales a considerar en una plataforma de consulta dentro de Proyecto Nacional corresponden a:

- (i) Evapotranspiración de Referencia ( $ETo$ , mm/día) a escala diaria (idealmente en una malla de un 1 km por 1 km
- (ii) Coeficiente de Cultivo ( $Kc$ ) a escalas espacial mínima de 1 ha y temporal de 15 días.
- (iii) Evapotranspiración de cultivo ( $ETc$ , mm/día) a escala diaria, a escalas espacial mínima de 1 ha y temporal de 15 días.

### **Actividad 8. Generación de un acuerdo marco, entre los participantes del proyecto, sobre los eventuales derechos de propiedad intelectual.**

Tema abordado en la sección anterior.

## **Objetivo 3. Definición de las especificaciones técnicas y metodologías para la determinación de los requerimientos hídricos de los principales cultivos en las diferentes regiones del país, así como para el desarrollo de una plataforma de consulta Map-server, donde se disponga la información de la demanda hídrica y estado de desarrollo de los cultivos.**

### **Actividad 9. Identificación de información necesaria para consulta y manejo de los recursos hídricos.**

La plataforma considerará aportar información para el manejo de los recursos hídricos a nivel intrapredial mediante la entrega de información climática (demanda ambiental,  $ETo$ ) y del nivel de desarrollo de los cultivos ( $Kc$ ) que sean más o menos demandantes de agua. En ese sentido, la información que aportará corresponde a la  $ETo$  y el  $Kc$ . Adicionalmente, el sistema puede estar implementado con información de contexto como son los límites de los predios (capas vectoriales de límites), los principales usos de suelo (tipo de cultivo), características del suelo (profundidad, limitantes, características hídricas, etc.), así como información relativa a la infraestructura de riego disponible en el predio.

### **Actividad 10. Establecer requerimientos de información para estimar la demanda hídrica de los cultivos por parte de investigadores, agricultores y tomadores de decisiones y su formato de entrega.**

La información para la estimación de la  $ETo$  a escala diaria requiere disponer de registros efectuados en las **estaciones meteorológicas automáticas** (EMA's) distribuidas a nivel nacional. Estas estaciones deberán contar con:

- i) Sensores de temperatura y humedad relativa del aire, velocidad del viento y radiación solar. En caso idealizado sensor de radiación neta.
- ii) Que estén operativas y bajo la supervisión de alguna institución y que reciban mantenimiento periódica.
- iii) Que los registros de datos horarios y resúmenes diarios estén disponibles en algún sistema de consulta en internet y que puedan ser accedidos a través de una API (Application Programming Interface) diseñada para este proceso.
- iv) Tengan una ubicación en el territorio que permita registrar datos meteorológicos con un área de influencia que permita definir las características climáticas de las zonas de riego, considerando la orografía como factor limitante de representatividad.



Por otro lado, con respecto al  $K_c$  se requiere disponer de imágenes satelitales (gratuitas) para realizar las estimaciones quincenales (o semanales en el mejor de los casos). Así mismo, se deberá contar con estaciones micrometeorológicas que permita estimar valores de  $ET_c$  y  $ET_o$  para cultivos representativos y así contrastar con estimaciones del  $K_c$  satelital con estimaciones del  $K_c$  de terreno. En este caso, es posible que se requieran imágenes satelitales pagadas para alcanzar una mejor resolución y mayor precisión en el establecimiento de las relaciones.

#### **Actividad 11. Análisis plataformas disponibles a nivel nacional e internacional.**

Esta Actividad fue realizada e informada en el período anterior. No obstante se realizó una exposición del sistema Aquasat de la Universidad de Concepción por el investigador Mario Lillo.

#### **Actividad 12. Análisis de una estrategia para la sustentabilidad de la plataforma web.**

Tema abordado en la sección anterior.

### **Objetivo 4. Coordinación y articulación de grupos de investigación en recursos hídricos y agricultura que permita estructurar una red de trabajo.**

#### **Actividad 13. Reunión de trabajo con todos los investigadores**

Acción desarrollada durante las reuniones y mediante la conformación de los comités de "Definición de evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ) para las zonas regadas, "Metodologías para la definición del consumo hídrico de los cultivos utilizando información satelital", "Validación del consumo hídrico utilizando métodos micrometeorológicos".

#### **Actividad 14. Reunión de trabajo con grupos de investigación (zona norte, centro y sur) incluida la RAN, AGROMET, DMC**

Tema abordado en la sección anterior.

### **Objetivo 5. Definición de una estrategia de sustentabilidad de la plataforma que establezca costos de operación y participación de otras entidades con plataformas afines con posibilidades de alojamiento.**

#### **Actividad 15. Elaboración de un plan de sostenibilidad de la plataforma de monitoreo de las necesidades hídricas de los cultivos para su funcionamiento a nivel nacional.**

Tema abordado en la sección anterior.

#### **Actividad 16. Comunicaciones con miembros RED**

La comunicación con los miembros de la RED se ha realizado mediante correos electrónicos y videoconferencias.

### **Objetivo 6. Formulación técnica de un Proyecto Nacional que permita determinar los requerimientos hídricos de los principales cultivos del país a nivel de regiones agroecológicas de manera rutinaria a través de una plataforma estable.**

#### **Actividad 18. Análisis de la información recabada en los Objetivos Específicos anteriores reportados en informes parciales**

Esta actividad implica la sistematización de la información recabada en los objetivos específicos y actividades anteriores, e implica (i) revisiones bibliográficas, (ii) reuniones del equipo profesional, (iii) reuniones con todos los investigadores, (iv) reuniones de los comités y (v) revisión de plataformas existentes.

#### **Actividad 19. Socialización informes parciales con integrantes de la RED de investigadores en recursos hídricos**



Los acuerdos de la primera reunión fueron enviados por correo electrónico a los miembros de la RED, mientras que los acuerdos de las reuniones de los comités fueron enviados exclusivamente a quienes integran cada comité. Por otra parte, el Informe N° 2 será enviado en formato PDF a los investigadores participantes del Estudio.

#### **Actividad 20. Sistematización de la información parcial**

Esta actividad considera los aportes identificados en la Actividad 18 para la elaboración del proyecto nacional.

### **4. Resultados e Hitos**

En los párrafos siguientes se describen los resultados alcanzados hasta la fecha del 2° Informe.

#### **Objetivo 1. Identificación de las necesidades de información, tipos de usuarios y tipo de información (formato) para las demandas tecnológicas actuales respecto a la determinación de los requerimientos hídricos de los cultivos.**

##### **Actividad 2. Reunión de trabajo con todos los investigadores**

La segunda reunión realizada el 31 de marzo de 2017, a la que asistieron 13 investigadores (Anexo 1). Durante la reunión el Dr. Claudio Balbontín realizó una exposición del avance de Estudio (Informe 1) y las actividades futuras (Anexo 2). Posteriormente, la Dra. Magali Odi presentó un análisis sobre el procesamiento de imágenes satelitales en Google Engine (Anexo 3) como alternativa para tercerizar el procesamiento de las imágenes; y el Dr. Luis Morales expuso los resultados preliminares del levantamiento de la ETo a nivel nacional usando (i) datos meteorológicos históricos y (ii) la metodología Hartgraves-Samani, la que considera sólo temperaturas y humedad relativa para estimar la ETo (Anexo 4). Además, durante la reunión se abordaron temas como el diseño y implementación de la plataforma, su operatividad y requerimientos técnicos, alternativas de financiamiento a corto plazo (proyectos pilotos) y a mediano plazo (sustentabilidad de plataforma terminados los pilotos). Los acuerdos de la reunión se presentan en el Anexo 5.

##### **Actividad 3. Reunión de trabajo con los grupos de investigación (zona norte, centro y sur)**

No existen resultados a destacar dentro del período a informar.

#### **Objetivo 2. Identificación de la propiedad intelectual de la plataforma y sus componentes.**

##### **Actividad 7. Descripción componentes y productos desplegados (descargables).**

Los componentes y productos fueron definidos y corresponden a la (i) Evapotranspiración de Referencia (ETo, mm/día) a escala diaria e idealmente cada 1 Km; y (ii) el Coeficiente de Cultivo (Kc) a escalas espacial de 1 ha y temporal de 15 días.

##### **Actividad 8. Generación de un acuerdo marco, entre los participantes del proyecto, sobre los eventuales derechos de propiedad intelectual.**

Tema abordado en la sección anterior.

#### **Objetivo 3. Definición de las especificaciones técnicas y metodologías para la determinación de los requerimientos hídricos de los principales cultivos en las diferentes regiones del país, así como para el desarrollo de una plataforma de consulta**



## Map-server, donde se disponga la información de la demanda hídrica y estado de desarrollo de los cultivos.

### Actividad 9. Identificación de información necesaria para consulta y manejo de los recursos hídricos.

Los aportes de información para el manejo de los recursos hídricos serán a nivel intrapredial mediante la identificación de épocas del año (ETo y Kc) y cultivos (Kc) que sean más o menos demandantes de agua. De esta forma, se estableció que la información que aportará la Plataforma corresponde a la ETo y el Kc.

### Actividad 10. Establecer requerimientos de información para estimar la demanda hídrica de los cultivos por parte de investigadores, agricultores y tomadores de decisiones y su formato de entrega.

Requerimientos de información fueron establecidos y corresponden a:

- ETo: Estaciones meteorológicas automáticas (EMA's) que
  - o (i) Sensores de temperatura y humedad relativa del aire, velocidad del viento y radiación solar. En caso idealizado sensor de radiación neta.
  - o (ii) Que estén operativas y bajo la supervisión de alguna institución y que reciban mantención periódica.
  - o (iii) Que los registros de datos horarios y resúmenes diarias estén disponibles en algún sistema de consulta en internet y que puedan ser accedidos a través de una API (Application Programming Interface) diseñada para este proceso
  - o (iv) Tengan una ubicación en el territorio que permita registrar datos meteorológicos con un área de influencia que permita definir las características climáticas de las zonas de riego, considerando la orografía como factor limitante de representatividad.
- Kc satelital. Imágenes satelitales gratuitas para realizar las estimaciones quincenales.
- Kc de terreno (*ground truth*). Estaciones micrometeorológicas para contrastar las estimaciones del Kc satelital con estimaciones del Kc en terreno; e imágenes satelitales de pago para alcanzar una mejor resolución y mayor precisión.

### Actividad 11. Análisis plataformas disponibles a nivel nacional e internacional.

Actividad realizada e informada en el período anterior.

### Actividad 12. Análisis de una estrategia para la sustentabilidad de la plataforma web.

Tema abordado en la sección anterior.

## Objetivo 4. Coordinación y articulación de grupos de investigación en recursos hídricos y agricultura que permita estructurar una red de trabajo.

### Actividad 13. Reunión de trabajo con todos los investigadores

En el Anexo 6 se presentan las estaciones micrometeorológicas (*Kc Terreno*) que disponen las distintas Universidades y Centro de Investigación, su ubicación y los cultivos en los cuales han trabajado y trabajarán. Estos equipamientos serán puestos a disposición de la Plataforma (costo entre 20 y 40 millones de pesos dependiendo del equipo), y en los proyectos piloto se debe considerar presupuesto para su mantenimiento y operación.

### Actividad 14. Reunión de trabajo con grupos de investigación (zona norte, centro y sur) incluida la RAN, AGROMET, DMC

Tema abordado en la sección anterior.



**Objetivo 5. Definición de una estrategia de sustentabilidad de la plataforma que establezca costos de operación y participación de otras entidades con plataformas afines con posibilidades de alojamiento.**

**Actividad 15. Elaboración de un plan de sostenibilidad de la plataforma de monitoreo de las necesidades hídricas de los cultivos para su funcionamiento a nivel nacional.**

Tema abordado en la sección anterior.

**Actividad 16. Comunicaciones con miembros RED**

Se ha planteado coordinación con la RED para ejecución de los workshop a realizar en cada macrozona.

**Objetivo 6. Formulación técnica de un Proyecto Nacional que permita determinar los requerimientos hídricos de los principales cultivos del país a nivel de regiones agroecológicas de manera rutinaria a través de una plataforma estable.**

**Actividad 18. Análisis de la información recabada en los Objetivos Específicos anteriores reportados en informes parciales**

**Propuesta inicial para la discusión y aportes: Luis Morales Salinas (U. de Chile)**

### ***Espacialización de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) para zonas agroecológicas de Chile***

#### **INTRODUCCION**

Debido a que la agricultura chilena se desarrolla principalmente en ambientes áridos y semiáridos (localidades donde la cantidad de lluvia es inferior a la demanda ambiental) es obligatorio el aporte de importantes volúmenes de riego para lograr productividades agrícolas rentables. Por este motivo, la definición correcta de las necesidades de riego de los cultivos, requiere el uso de indicadores precisos de la demanda ambiental que permitan cuantificar el consumo de agua de las plantas bajo las condiciones locales de desarrollo. La evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) es un indicador estandarizado de esta demanda ambiental y su uso, conjuntamente con el coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>, FAO 56), permite establecer las necesidades de riego de los cultivos en cualquier zona cultivada del mundo (Allen et al., 1998).

La ET<sub>o</sub> puede ser estimada mediante métodos indirectos basados en ecuaciones semi-empíricas alimentadas con datos meteorológicos locales. El método más reconocido por su precisión es a través del uso de la ecuación empírica Penman-Monteith (PM), la cual está basada en las bases físicas del fenómeno de evaporación de agua desde los cultivos e incorpora efectos fisiológicos y aerodinámicos en diferentes condiciones climáticas. Así mismo, existen métodos más simples que utilizan un mínimo de variables meteorológicas, como es el caso de la ecuación conocida como Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985) la cual solo requiere temperatura del aire y radiación solar para estimar ET<sub>o</sub>. Este método realiza estimaciones razonables y confiables de ET<sub>o</sub> en comparación con PM (Allen et al., 1998; Campos, 2005; Hargreaves, 1989; Jensen et al., 1997; Droogers y Allen, 2002; Hargreaves y Allen, 2003) para varios intervalos de tiempo (mensual, semanal y diario), sin embargo requiere ajustes locales a sus coeficientes (Allen, 1993; Droogers y Allen, 2002).

**Falta: Importancia de la espacialización de la ET<sub>o</sub> (paso de registros puntuales de ET<sub>o</sub> a valores continuos sobre el territorio)**

Objetivo: La presente propuesta corresponde a la implementación de un modelo (método) para espacializar los valores de evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), estimada a partir de datos meteorológicos registrados en estaciones locales, con objeto de disponer de valores de ET<sub>o</sub>

para las zonas agrícolas de Chile con una resolución de 1 km por 1 km, compatible para la implementación del método Coeficiente de cultivo-Evapotranspiración de Referencia definido por FAO en su Manual FAO-56 (Allen et al., 1998).

## MATERIALES Y METODO

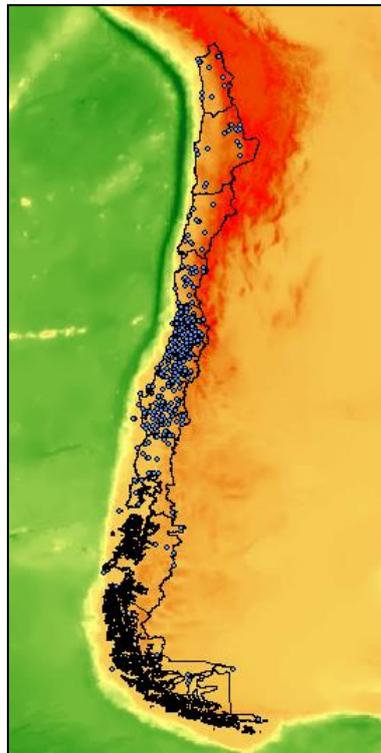
### 1.- Área de estudio

El área donde será implementado el modelo corresponde a las zonas agrícolas ubicadas entre la región de Atacama y la región de La Araucanía (TAL VEZ PODRIAMOS ACOTAR A LAS REGIONES PILOTO DE COQUIMBO Y MAULE).

**Figura 1.-** Área de estudio.

### 2.- Datos meteorológicos y modelo digital de elevación

Los datos utilizados en la implementación del modelo serán recopilados de las estaciones meteorológicas de la Dirección General de Aguas (DGA), de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), de la Red de estaciones INIA (CEAZA locales), además de estudios históricos como Climatología de Chile (PNUD-Gobierno de Chile, 1964) y Mapa Agroclimático de Chile (Novoa et al, 1989). Para cada estación se recopilará información acerca del número de años de funcionamiento y variables meteorológicas registradas. Para el ajuste de los modelos estadísticos, se consideraron aquellas estaciones que contaron con datos iguales o superiores a 10 años de registros continuos, para las cuatro fuentes antes mencionadas.



**Figura 3.-** Inventario preliminar de estaciones meteorológicas disponibles para el estudio en diferentes regiones de Chile.



Para la elaboración, ajuste y representación espacial de modelos topoclimáticos, será necesario uniformizar el sistema de referencia geográfico para la ubicación de las estaciones el cual corresponderá al datum WGS84 19S (discutir el datum SIRGAS 2000). Esta información será utilizada para la calibración, generación y representación espacial de los modelos topoclimáticos. Adicionalmente, la base de datos incluirá para cada estación las variables fisiográficas altitud (m), pendiente (grados) y exposición (grados respecto del norte). Para la caracterización cuantitativa de la dependencia espacial de las variables climatológicas y la altitud del terreno, se utilizará un Modelo Digital de Elevación (DEM) obtenido de The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), perteneciente a la United States Geological Survey (USGS) y reprocesados por la Global Land Cover Facility (GLCF) (2004), con una resolución espacial o tamaño de píxel de 90 metros.

### 3.- Estimación de la ETo

Los valores de ETo serán estimados utilizando la información registrada en las estaciones meteorológicas regionales. En el caso de estaciones completas (con sensores de radiación solar, humedad relativa del aire, velocidad del viento y temperatura del aire) se implementará el cálculo de Penman-Monteith. En el caso de estaciones con registros solo de temperatura y radiación solar se implementará Hargreaves-Samani.

#### a) Penman Monteith:

En términos generales, la evapotranspiración de referencia estimada a partir del método de Penman-Monteith (de ahora en adelante PM) que está dado por la siguiente ecuación (Allen et al., 1998):

$$ET_o = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \left( \frac{900}{T + 273} \right) \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2)} \quad (11)$$

donde ETo es la evapotranspiración sobre un cultivo de referencia ( $\text{mm día}^{-1}$ ),  $R_n$  la radiación neta en la superficie del cultivo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ),  $G$  el flujo de calor del suelo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ),  $T$  la temperatura promedio del aire a 2 metros de altura ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $u_2$  la velocidad promedio diaria del viento a 2 metros de altura (m/s),  $e_s$  la presión de vapor en saturación (kPa),  $e_a$  la presión de vapor actual (kPa),  $\Delta$  la pendiente de la curva de presión de vapor versus temperatura ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) y  $\gamma$  la constante psicrométrica ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ). Para asegurar la integridad de la estimación, las mediciones climáticas se deben realizar a 2 metros de altura y no debe existir otro tipo de vegetación que no sea el cultivo de referencia ya que eventualmente se podrían afectar las mediciones de temperatura y humedad relativa, provocando de esta manera estimaciones erróneas de la ETo (Allen et al., 1994, 1998; Irmak et al., 2002; Ventura et al., 1999; Kite, 2000). Producto de su robusta base física, esta ecuación se ha utilizado para calibrar otros métodos destinados al cálculo de la ETo en zonas específicas (Allen et al., 1994, 1998, 2000; Pereira et al., 1999; Bezerra & Oliveira, 1999; Tyagi et al., 2000).

b) Método Hargreaves-Samani (Hargreaves & Samani, 1985, de aquí en adelante HS): para estimar la evapotranspiración de referencia (ETo) esta relación requiere datos de temperatura del aire y de radiación solar, medida o estimada. La expresión general es la siguiente:

$$ET_o = K_{HS} \cdot \left( \frac{R_g}{\lambda} \right) \cdot (T_a + 17.78) \quad (1)$$



donde,  $E_{To}$  es la evapotranspiración de referencia ( $\text{mm día}^{-1}$ ),  $K_{HS}$  es un coeficiente empírico con valor de 0.0135 y que debe ser ajustado en cada localidad,  $T_a$  es la temperatura media diaria del aire ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $R_g$  es la radiación solar global incidente ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ) y  $\lambda$  es el calor latente de evaporación ( $\text{MJ kg}^{-1}$ ), dado por:

$$\lambda = 2.501 - 0.002361 \cdot T_a \quad (2)$$

En el caso que la radiación global  $R_g$  no pueda ser medida, es posible estimarla a partir de la radiación solar extraterrestre o radiación de Angot ( $R_a$ ) y modificarla por un coeficiente denominado transparencia de la atmósfera, que dependa de la temperatura o la cobertura de nubes:

$$\frac{R_g}{R_a} = K_R(T_a, C) \quad (3)$$

Un método propuesto por Black (1956) para estimar el coeficiente  $K_R$ , como una función de la temperatura, esta dado por (Black et al, 1956):

$$K_R(C) = 0.803 - 0.340 \cdot C - 0.458 \cdot C^2 \quad (4)$$

donde  $C$  es la cobertura de nubes (0 indica cielo despejado y 1 indica cielo totalmente cubierto), pero no se indica el tipo de nubosidad. Hay otros métodos propuestos para calcular el coeficiente  $K_R$ , uno de ellos es (Supit, 1994; Supit & van Kappel, 1998):

$$K_R(T, C) = A_s \cdot \left( \sqrt{(T_{\max} - T_{\min})} + B_s \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{CC}{8}\right)} \right) + C_s \quad (5)$$

donde  $T_{\min}$ ,  $T_{\max}$  corresponde a la temperatura mínima y máxima diaria del aire respectivamente,  $CC$  es la cobertura nubosa en octas,  $A_s$ ,  $B_s$  y  $C_s$  son coeficientes empíricos ajustados mediante regresión. Una aproximación ampliamente usada, principalmente por su sencillez es (Hargreaves et al., 1985):

$$K_R(T) = A_h \cdot \sqrt{(T_{\max} - T_{\min})} + B_h \quad (6)$$

donde  $A_h$  y  $B_h$  son coeficientes empíricos determinados con datos locales. Allen (1997), propone un método muy similar para estimar la radiación global a nivel medio mensual basado en el trabajo de Hargreaves y Samani (1982), dado por:

$$K_R(T, P) = K_{RA} \cdot \sqrt{\left(\frac{P}{P_o}\right)} \cdot \sqrt{(T_{\max} - T_{\min})} \quad (7)$$

donde  $P$  es la presión atmosférica (kPa) para un lugar específico y  $P_o$  la presión atmosférica a nivel del mar (101.3 kPa), y  $K_{RA}$  es un coeficiente empírico, con valores sugeridos de 0.17 para regiones interiores y 0.2 para zonas costeras, sin embargo es necesario calibrarlos a nivel territorial. Bristow and Campbell (1984), encuentra una relación del tipo:

$$K_R(T) = A \cdot \left[ 1 - e^{-B(T_{\max} - T_{\min})^C} \right] \quad (8)$$



donde A, B y C son coeficientes empíricos ajustados localmente, los cuales han sido estimados a nivel mundial como  $A=0.7$ ,  $B= 0.004-0.010$  y  $C=2.4$ . El coeficiente A es el valor de  $K_R$  para un día claro. Para las ecuaciones 7 y 8 han sido calibrados los coeficientes empíricos en muchas localidades, en el caso de Chile estos son  $K_{RA}=0.0114-0.4717$  y  $B=0.0015-0.01944$ , manteniéndose el valor de los otros coeficientes (Meza & Varas, 2000). A partir de datos medios mensuales para 65 estaciones meteorológicas en USA ubicadas entre los 7° y 50° latitud norte, encontraron la siguiente relación para  $K_R$  (Knapp et al., 1980):

$$K_R(\Delta T) = 0.0018 \cdot \Delta T^2 - 0.0433 \cdot \Delta T + 0.4023 \quad (9)$$

donde,  $\Delta T$  corresponde a la diferencia entre las temperatura máxima y mínima diaria.

Un grave problema de la ecuación de HS es el coeficiente  $K_{HS}$ , el cual debe ser calibrado localmente. Una forma de realizar esta calibración es utilizar la ecuación de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) como estándar para todo Chile, de acuerdo a:

$$K_{HS} = 0.0135 \cdot \frac{ET_{HS}}{ET_{PM}} \quad (10)$$

De esta forma el coeficiente calibrado por HS puede ser adaptado a todo el territorio nacional.

#### 4.- Radiación neta

La radiación neta es estimada mediante la ecuación:

$$R_N = R_g(1 - \alpha) + R^\downarrow - (1 - \varepsilon_s)R^\downarrow - R^\uparrow \quad (12)$$

donde  $R_g$  es la radiación global ( $MJ m^{-2} día^{-1}$ ),  $\alpha$  es el albedo de superficie,  $R^\downarrow$  es la radiación atmosférica infrarroja descendente y  $R^\uparrow$  es la radiación superficial infrarroja ascendente. La radiación infrarroja puede ser medida y/o estimada, y en el caso de la estimación las ecuaciones utilizadas son (Cita)

$$R^\downarrow = \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4 \quad (13)$$

$$R^\uparrow = \varepsilon_s \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (14)$$

donde  $\varepsilon_a$ ,  $\varepsilon_s$  corresponde a la emisividad del aire y de suelos respectivamente, y  $T_a$ ,  $T_s$  es la temperatura de la atmósfera (a) y la superficie (s) respectivamente. La emisividad de la atmósfera y la superficie puede ser mediada o estimada a partir de ecuaciones semi-empíricas o tablas calculadas por laboratorios. La emisividad de la atmósfera puede ser estimada por (Cita)

$$\varepsilon_a = \phi \left( \frac{e}{T_a} \right)^{1/7} \quad (15)$$

donde  $\phi$  tiene un valor promedio de 1.24 (con  $T$  °C) o 0.0124 (con  $T$  °K), e es la presión de vapor actual, la cual puede ser estimada a partir de la ecuación



$$e = 0.6108 \cdot \left( \frac{HR}{100} \right) \cdot e^{\left( \frac{17.27T_a}{237.3+T_a} \right)} \quad (16)$$

donde  $e$  está en kPa y  $T_a$  es la temperatura del aire en °C. El coeficiente  $\phi$  de la ecuación 15 debe ser calibrado a nivel local.

La emisividad de los suelos puede ser estimada a partir del índice de vegetación de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) mediante una parametrización estadística (Van de Griend & Owe, 1993; Valor et al., 1996; Sobrino et al., 2001; Jiménez-Muñoz et al., 2006; Mitraka et al., 2012).

En ausencia de datos medidos de radiación solar global  $R_g$ , es posible estimarla a partir de la radiación de Angot o radiación solar extraterrestre, la cual a nivel diario es una función de la localidad y del día del año, dada por (Iqbal, 1983; Allen et al, 1998):

$$H_o = \left( \frac{1}{\pi} \right) I_{sc} E_o [h_s \cdot \sin(\lambda) \cdot \sin(\delta) \cdot \sin(\omega_s) + \cos(\lambda) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(h_s)] \quad (17)$$

donde  $I_{sc}$  es la constante solar ( $117.5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ),  $\lambda$  es la latitud de la localidad,  $E_o$  es un factor de corrección de la excentricidad de la órbita terrestre dad alrededor del sol (Ecuación 17),  $\delta$  es la declinación solar (Ecuación 18) y  $\omega_s$  el ángulo horario solar (Ecuación 19).

$$E_o = 1.00011 + 0.034221 \cdot \cos(\Gamma) + 0.00128 \cdot \sin(\Gamma) + 0.000719 \cdot \cos(2\Gamma) + 0.000077 \cdot \sin(2\Gamma) \quad (18)$$

$$\delta = 0.006918 - 0.0399912 \cdot \cos(\Gamma) + 0.070257 \cdot \sin(\Gamma) - 0.006758 \cdot \cos(2\Gamma) + 0.000907 \cdot \sin(2\Gamma) - 0.002697 \cdot \cos(3\Gamma) + 0.00148 \cdot \sin(3\Gamma) \quad (19)$$

$$h_s = \cos^{-1}[-\tan(\lambda) \cdot \tan(\delta)] \quad (20)$$

donde  $h_s$  es un parámetro que se relaciona con la longitud del día,  $\Gamma = \left( \frac{2\pi}{365} \right) (DOY - 1)$  es el ángulo diario en radianes y DOY es el día del año, cuya evolución es del 1 de enero (DOY = 1) al 31 de diciembre (DOY = 365). La radiación global en superficie para cada día es estimada utilizando la ecuación 3.

## 5.- Topoclimatología (Espacialización de la ETo???)

### Metodología para la espacialización de la ETo (paso de registros puntuales de ETo a valores continuos sobre el territorio)

La topoclimatología es una rama de la climatología cuyo objetivo, en primera aproximación, es estudiar la influencia del relieve sobre el clima. Esta rama se encontraría situada, a modo comparativo y explicativo, entre el microclima y el macroclima (Schnelle, 1968). Cuando un área posee un clima diferenciado del resto de su zona decimos que estamos en presencia de un topoclima o clima local. El estudio de la variación climática debida fundamentalmente a factores fisiográficos se ha estudiado mediante el denominado "Análisis Topoclimático", definido en términos generales, como el clima característico de un lugar el cual puede ser descrito cuantitativamente como una combinación de parámetros topográficos (Okolowicz, 1969; Kaminski y Radosz, 2002). Sin embargo, esta definición no excluye otros factores de la superficie terrestre de importancia en las variaciones climáticas como son la latitud, longitud, distancia al océano o los cuerpos de agua y estado de superficie, modelado por el uso actual del suelo, entre otros. Por ejemplo, la temperatura en las zonas urbanas es mayor que en las



áreas rurales, y estos patrones espaciales difieren mucho en el transcurso del día y de la noche (Cheval and Dumitrescu, 2009; Van Leewen et al., 2011).

Los procesos de obtención de cartografías climáticas se ven condicionados por la disponibilidad y calidad de datos, los cuales provienen principalmente de estaciones meteorológicas ubicadas en un punto en el espacio. Dada la importancia de contar con dichos datos para la elaboración de estudios en un determinado territorio y, considerando las limitaciones asociada con la falta de una buena cobertura de estaciones meteorológicas y el carácter continuo de la distribución de las variables climáticas se hace necesaria la generación de modelos de estimación de información climática. Estos modelos son útiles para estimar espacialmente el fenómeno de inestabilidad paramétrica continua (Draper and Smith, 1981; Hengl, 2009). Para el caso de datos ambientales las regresiones globales se utilizan para describir mediante una ecuación única el comportamiento espacial de una variable; sin embargo, los coeficientes de esta ecuación varían espacialmente (Morales et al., 1997, 2007, 2010). Esta búsqueda es realizada mediante una metodología denominada mínimos cuadrados ponderados; siendo estos pesos ponderadores de una función de la distancia entre cada punto y el resto (Berry and Feldman, 1985; Fotheringham et al., 2002). En base a lo anterior, la modelación de las distintas variables climáticas puede ser realizada mediante la aplicación de un modelo matemático descrito por la ecuación (21):

$$y_i = a_0(u_i, v_i) + \sum_k a_k(u_i, v_i)x_{ik} + \varepsilon_i \quad (21)$$

donde  $(u_i, v_i)$  indica las coordenadas del punto  $i^{\text{th}}$  en el espacio,  $y_i$  es el valor de la variable dependiente,  $x_{ik}$  es una variable independiente descriptora en el punto  $i$ ,  $a_k(u_i, v_i)$  es un parámetro de la regresión en cada punto de la variable independiente, y  $\varepsilon_i$  es el error en el punto  $i$ . Los coeficientes  $a_k(u_i, v_i)$  se determinan por

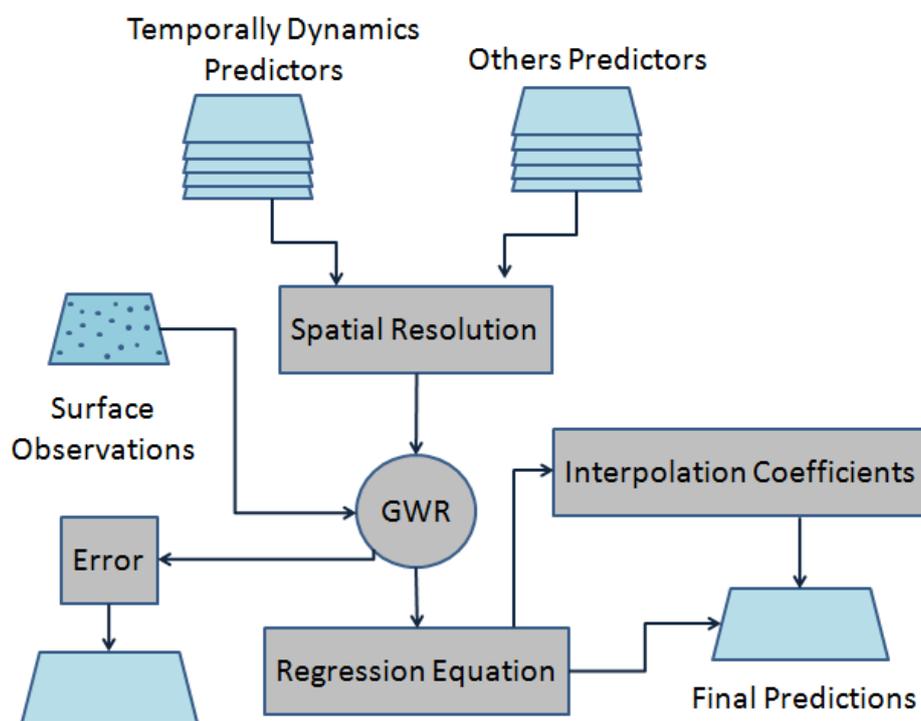
$$a_k(u_i, v_i) = [X^T \cdot W(u_i, v_i) \cdot X]^{-1} \cdot X^T \cdot W(u_i, v_i) \cdot Y \quad (22)$$

donde las observaciones independientes o variables descriptoras, se encuentran en la matriz  $X$  y las dependientes en la matriz  $Y$ .  $W_i$  es una matriz diagonal de orden  $(N, N)$  donde los elementos de la diagonal son los pesos  $w_{ij}$  que son una función de la distancia entre la observación considerada y el resto de las observaciones (Fotheringham *et al.*, 1997), y son calculados mediante la ecuación:

$$W(u_i, v_i) = e^{-\alpha \cdot d_{ij}^2} \quad (23)$$

donde  $\alpha$  es un parámetro que expresa el decrecimiento entre dos puntos en el espacio y  $d_{ij}$  es la distancia entre los puntos  $i$  y  $j$ . Desde el punto de vista práctico mientras un punto este más lejano a  $i$  menos influencia estadística tendrá sobre la relación numérica final (Morales et al., 2007). Es importante mencionar que las variables descriptoras  $x_{ik}$  pueden ser derivadas de interacciones o potencias de las variables fundamentales (Morales et al., 2006). A partir de estos modelos espaciales fundamentales se pueden derivar parámetros bioclimáticos agrupados en cuanto a su carácter hídrico, térmico o energético. La Figura 4 muestra un diagrama del procedimiento para la predicción espacio-temporal de una variable meteorológica usando Geographically Weighted Regression (GWR). Los descriptores espacio- temporales corresponden a imágenes de satélite MODIS, los otros descriptores corresponden a variables como altitud, pendiente, exposición, distancia a la red hídrica, distancia al litoral, uso del suelo, entre algunas.

El estado de la superficie del área en estudio fue caracterizado mediante índices radiométricos o espectrales obtenidos a partir de información del sensor MODIS. Específicamente, se ha observado que el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) es utilizado como un buen descriptor del estado de superficie (Chuvienco, 1996; Morales et al 2006; Díaz et al, 2010). Un ejemplo de este tipo de modelación utilizando la altitud como descriptor, corresponde a los datos WorldClim ([www.worldclim.org](http://www.worldclim.org)) que abarcan la climatología media mensual a nivel global a 1 km de resolución espacial para las variables de temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación (Hijmans et al, 2005; Daly et al, 2008). Existen otras aproximaciones en la estimación de la temperatura utilizando datos de satélite de baja resolución espacial, como por ejemplo la desarrollada por Hengl et al. (2012).



**Figura 4.-** Esquema del procedimiento para la predicción espacio-temporal de una variable meteorológica usando Geographically Weighted Regression (GWR).

Para calcular la distribución espacial de las variables climatológicas con GWR, se utilizó el software estadístico R y la librería SPGWR (R Development Core Team, 2009).

## 6.- Análisis estadístico

Aquí más que comparar las salidas de HS frente a PM (que también estará bien pero solo validad esa metodología) es describir la espacialización de la ETo y su actualización conforme se generaran datos nuevos en las estaciones meteorológicas.

El análisis de los resultados obtenidos se basa en comparar el modelo de HS con el PM, el cual es usado como referencia. La comparación de los resultados es a nivel diario y se utilizan los estadísticos Sesgo (BIAS), Error de sesgo medio (MBE), Error absoluto de sesgo medio (MABE), Error cuadrático medio (RMSE), además se realizó un análisis de regresión lineal para obtener la prueba de homogeneidad de pendiente entre los métodos HSE y HSEc (Rawlings, 1988), y calcular el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el cual ha sido ampliamente usado para evaluar la bondad del ajuste entre los valores observados y calculados. El  $R^2$  ha presentado problemas en algunas situaciones, lo que hace necesario el uso de otros índices estadísticos

en conjunto como el RMSE, el índice de eficiencia del modelo (E) o de Nash-Sutcliffe (Legates and McCabe, 1999) y el índice de acuerdo (d) (Willmott et al., 2012):

$$BIAS = O_i - E_i \quad (24)$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - E_i) \quad (25)$$

$$MABE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |O_i - E_i| \quad (26)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - E_i)^2} \quad (27)$$

$$r^2 = 1 - \frac{RMSE^2}{\sigma^2} \quad (28)$$

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (29)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (30)$$

donde N es el número de observaciones, O es el valor observado, E es el valor estimado y  $\bar{O}$  es el valor medio de los observados y  $\bar{E}$  es el valor medio de los estimados. Adicionalmente, en la evaluación del modelo topoclimático con GWR, se utilizó el Criterio de Información Akaike (AIC), el cual es útil al comparar dos o más modelos estadísticos que utilizan la misma variable dependiente (Sakamoto et al, 1986; Burnham and Anderson, 2002; Akaike, 1973). Este índice entrega un valor relativo de la calidad del modelo, por lo que un AIC menor indicará que un modelo particular es más adecuado que otros. Una expresión numérica para obtener el AIC es (Burnham and Anderson, 2002)

$$AIC = 2 \cdot k + N \cdot \text{Ln} \left( \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - E_i)^2}{N} \right) \quad (31)$$

donde n es el número de datos y k el número de parámetros o variables independientes utilizadas.

### Resultados posibles

Generación de un grid de ETo a 1 km por 1 km

Cartografía de ETo para Chile (o regiones piloto)

Diagrama de funcionamiento del sistema de monitoreo de ETo y producción del raster para la plataforma nacional.

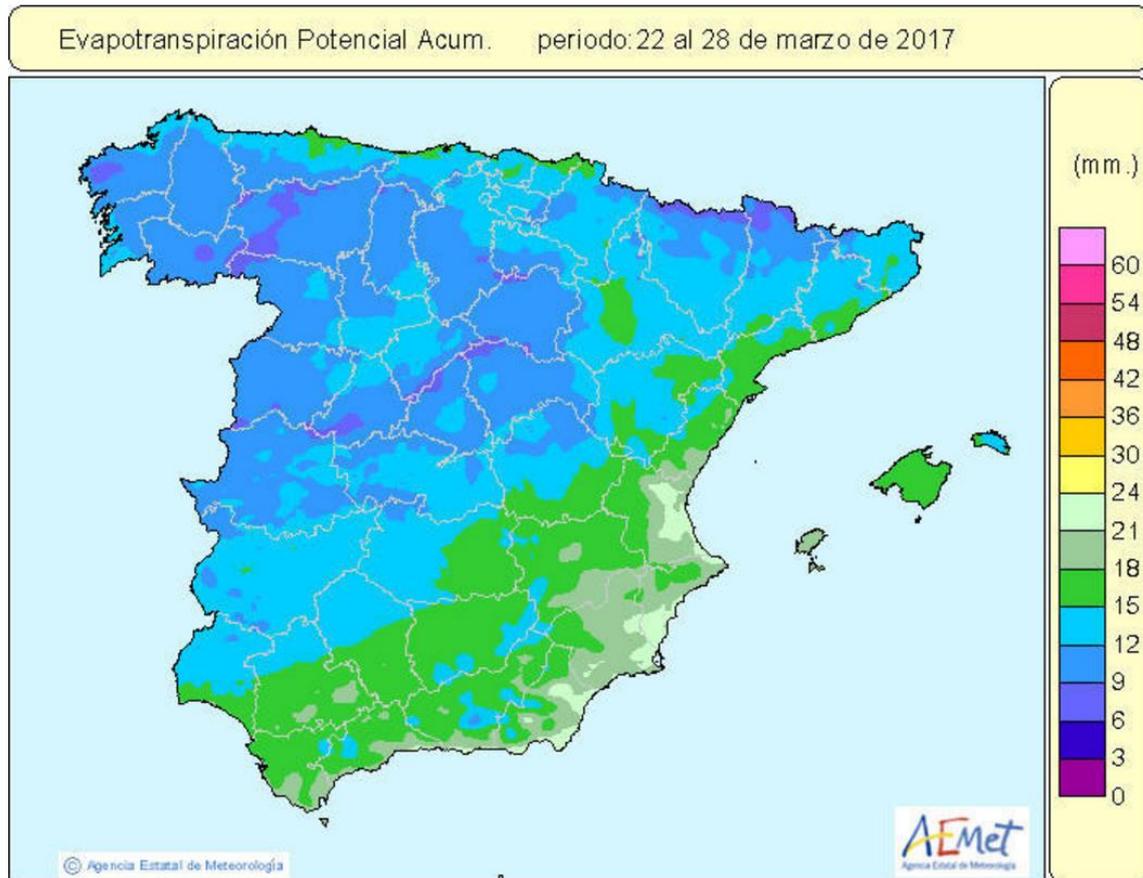


Figura 5.- Ejemplo de mapa raster de ETo para España.

## REFERENCIAS

Allen, R.G., M.E. Jensen, J.L. Wright, and R.D. Burman. 1989 . Operational estimates of reference evapotranspiration. *Agronomy Journal* 81: 650-662.

Allen, R.G.; Smith, M.; Perrier, A. & Pereira, L.S. 1994. An update for the definition of reference evapotranspiration. *ICID Bull.* Vol. 43, No. 2, 1-34.

Allen, R., L. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration. *FAO Drainage and Irrigation paper N° 56.* Rome, Italy. 300 pp.

Allen, R. 2000. Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study. *Journal of Hydrology* 229(1-2): 27-41.

Allen, R.G.; Pruitt, W.O.; Wright, J.L.; Howell, T.A.; Ventura, F.; Snyder, R.; Itenfisu, D.; Steduto, P.; Berengena, J.; Yrisarry, J.B.; Smith, M.; Pereira, L.S; Raes, D.; Perrier, A.; Alves, I.; Walter, I. & Elliott, R. 2006. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO56 Penman-Monteith method. *Agricultural Water Management*, No. 81, 1-22.



- Almorox Javier, Víctor Elisei, María E. Aguirre and Marta Commega. 2012. Calibration of Hargreaves model to estimate reference evapotranspiration in Coronel Dorero, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad nacional de Cuyo, Vol 44(1): 101-109.*
- Bezerra, F.M.L.; Oliveira, C.H.C. Evapotranspiração máxima e coeficientes de cultura para o milho em Fortaleza, CE. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.19, n.1, p.8-17, 1999.*
- Biblioteca del Congreso Nacional (BCN), Chile. 2010.
- Bontemps, S., & Co-Authors. 2011a. GLOBCOVER 2009: Products Description and Validation Report (ESA and UC Louvain).
- Bristow, K., Campbell, G., 1984. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agric. For. Meteorol.* 31, 159–166.
- Campos D., F. 2005. Estimación empírica de la ETP en la república mexicana. *Ingeniería Hidráulica en México* 20 (3): 99-110.
- Castillo, H., Santibáñez, F., 1981. Evaluación de la radiación solar global y luminosidad en Chile I. Calibración de fórmulas para estimar radiación solar global diaria. *Agricultura Técnica* 41, 145–152.
- Droogers P. and R.G. Allen. 2002. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. *Irrigation and Drainage Systems, Volume 16, Issue 1, Pages 33 – 45* doi:10.1023/A:1015508322413.
- Fernandez C. Lazaro, Célia M. Paiva, Otto C. Rotunno. 2012. Evaluation of six empirical evapotranspiration equations. Case Study: Campos Dos Goytacazes/RJ. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 27(3):272-280.
- Hargreaves G.H., Allen R.G. 2003. History and Evaluation of Hargreaves Evapotranspiration Equation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 129(1): 53-63.
- Hargreaves, G.H. 1989. Accuracy of estimated reference crop evapotranspiration. *J. Irrig. Drain. Eng.* 115(6), 1000-1007.
- Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Eng. in Agric.*, 1(2): 96-99.
- Hargreaves, G., Samani, Z., 1982. Estimating potential evapotranspiration. *J. Irrig. Drain. Eng. ASCE.* 108, 225–230.
- Irmak, S., D.Z. Haman, and J. W. Jones. 2002. Evaluation of Class A pan coefficients for estimating reference evapotranspiration in humid location. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering.* 128:153-159.
- Jensen D.T., Hargreaves GH, Temesgen B, Allen RG. 1997. Computation of ETo under non ideal conditions. *J Irrig Drain Eng* 123(5):394–400.
- Jiménez-Muñoz, J. C., Sobrino, J. A., Gillespie, A., Sabol, D., & Gustafson, W. T. (2006). Improved land surface emissivities over agricultural areas using ASTER NDVI. *Remote Sensing of Environment*, 103(4), 474-487.
- Knapp, C.L., T.L. Stoffel and S.D. Whitaker, 1980. *Insulation Solar Radiation Manual*. Solar Energy Research Institute. Golden CO. 281 p.
- Mayaux P., Strahler A., Eva H., Herold M., Shefali A., Naumov S., Dorado A., Di Bella C., Johansson D., Ordoyne C., Kopin I., Boschetti L. and Belward. A. 2006. Validation of the Global Land Cover 2000 Map (2006). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 44: 1728-1739.
- Mitraka, Z., Chrysoulakis, N., Kamarianakis, Y., Partsinevelos, P., & Tsouchlaraki, A. (2012). Improving the estimation of urban surface emissivity based on sub-pixel classification of high resolution satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 117, 125-134.



- Mohawesh Osama E. and Sammer A. Talazi. 2012. Comparison of Hargreaves and FAO56 equations for estimating monthly evapotranspiration for semi-arid and arid environments. Archives of Agronomy and Soil Science, DOI:10.1080/03650340.2010.516253.
- Novoa S. A., R.; Villaseca C., S.; Del Canto S., P; Rouanet M., J. L.; Sierra B. C; Del Pozo L. A., 1989. Mapa Agroclimático de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Ministerio de Agricultura, 221 páginas
- Pereira, L.S., Perrier, A., Allen, R.G., Alves, I., 1999. Evapotranspiration: Review of concepts and future trends. J. Irrig. Drain. Engng. 125(2): 45-51.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)-Gobierno de Chile. 1964. Proyecto Hidrometeorológico. Climatología en Chile. Fascículo I. Valores normales de 36 estaciones seleccionadas. Período 1916-1945. s.e. Santiago de Chile. s.p.
- R Development Core Team. 2009. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Samani, Z. 2000. Estimating Solar Radiation and Evapotranspiration Using Minimum Climatological Data. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 126, No. 4, pp. 265-267.
- Sobrino, J. A., Raissouni, N., & Li, Z. L. (2001). A comparative study of land surface emissivity retrieval from NOAA data. Remote Sensing of Environment, 75(2), 256-266.
- Supit, I., Hooijer, A.A., Van Diepen, C.A., Edts, 1994. System description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMS. Volume 1: Theory and Algorithms. EUR Publication N° 15959 EN of the Office for Official Publications of the EC. Luxembourg, 146 pp.
- Supit, I., Kappel, R.R. van, 1998. A simple method to estimate global radiation. Solar Energy, 63:147-160.
- Tabari, H., and P. Talaei H. 2011. Local of the Hargreaves and Priestley-Taylor equations for estimating reference evapotranspiration in arid and cold climates of Iran based on the Penman-Monteith model. J. Hydrol. Eng. 16 (10): 837-845.
- Trajkovic, S. 2005. Temperature-based approaches for estimating reference evapotranspiration. J. Irrig. Drain Eng. 131 (4): 316-323.
- Trajkovic, S. 2007. Hargreaves versus Penman-Monteith under humid conditions. J. Irrig. Drain Eng. 133(1): 38-42.
- Tyagi, N., D. Sharma and S. Luthra, 2000. Evapotranspiration and crop coefficients of wheat and sorghum. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 126(4): 215-222.
- USGS. 2004. Shuttle radar topography mission, 3 Arc Second scene. Unfilled Unfinished 2.0. Global Land Cover Facility. Febrero 2000. University of Maryland, College Park, Maryland, USA.
- Valor, E., & Caselles, V. (1996). Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas. Remote sensing of Environment, 57(3), 167-184.
- Van de Griend, A. A., & Owe, M. (1993). On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. International Journal of remote sensing, 14(6), 1119-1131.
- Ventura, F., D. Spano, P. Duce, and R.L. Snyder. 1999. An evaluation of common evapotranspiration equations. Irrigation Science 18:163-170.



**Actividad 19. Socialización informes parciales con integrantes de la RED de investigadores en recursos hídricos**

El Informe N° 2 será enviado el 19 de Abril en formato PDF a los investigadores participantes del Estudio.

**Actividad 20. Sistematización de la información parcial**

La sistematización de la información se ha realizado en los informes de avance 1 y 2 (presente informe).









## 6. Conclusiones y Recomendaciones

El Estudio se está desarrollando de acuerdo a lo planificado, sin encontrar hasta el momento dificultades para su ejecución. El equipo de trabajo del Estudio está bien complementado y las reuniones con todos los investigadores integrantes se han desarrollado con buena disposición y cooperación.

En esta segunda etapa se logró consolidar y potenciar la red de investigadores, reforzando los objetivos de información requerida y la definición de roles y asignación de responsabilidades de los integrantes, donde cada uno puede alcanzar un mayor nivel de aporte en la iniciativa final, el Proyecto Nacional.

La tercera reunión general del grupo será la última semana de abril 2017 en Concepción.

Uno de los aspectos de mayor relevancia que el grupo visualiza es la necesidad de establecer una estrategia de financiamiento para la implementación del Proyecto Nacional en diferentes zonas pilotos del país. Para esto se concluye la necesidad de realizar una sensibilización de los gestores de la planificación en cada región de manera de que conozcan la iniciativa, sus potencialidades y la capacidad de incorporarla dentro de sus sistemas de análisis y gestión de los recursos hídricos.



### **III. ANEXOS**

## Anexo 1. Lista asistencia 2da Reunión



### LISTA DE ASISTENCIA

Segunda Reunión Estudio "Bases para la determinación de los requerimientos hídricos de los principales cultivos del país según zonas agroecológicas".

FECHA 31 3 2017

LUGAR

Sala de reuniones en Dirección Nacional INIA, Santiago.

NOMBRE	RUT	INSTITUCIÓN/ EMPRESA	E-MAIL	TELEFONO	RUBROS O CULTIVOS MAS RELEVANTES	FIRMA
1. Joffre Olave Voz		UNAP - CHILE			Cilindros Ultravioleta	
2. Víctor Jara D.		CEPA - UDELV			Tubos Juntas Arandel	
3. Claudio Balboa		INIA			Frotales	
4. Maurice Streit		FIA			REC. Hídricos	
5. Magali Odi		INIA			Teledetección	
6. Páez Gil		P Universidad Católica			Frotales	
7. María Lillo		UDEC			Teledetección	



NOMBRE	RUT	INSTITUCIÓN/ EMPRESA	E-MAIL	TELEFONO	RUBROS O CULTIVOS MAS RELEVANTES	FIRMA
8. Gabriel Sella		INIA			Frotales	
9. Carlos Qualle		INIA			Prados	
10. OCTAVIO LAGOS		UDEC			ET	
11. ALEJANDRO ANTUNEZ		INIA			HORTICULTIVAS	
12. Luis Morales		UChile			ET Cilindros	
13.						
14.						
15.						
16.						

## Anexo 2. Presentación Dr. C. Balbontín - 2da Reunión

17/04/2017

Estudio cofinanciado por la Fundación para la Innovación Agraria – FIA

**Bases para la determinación de los requerimientos hídricos de los principales cultivos del país según zonas agroecológicas**

Instituto de Investigaciones Agropecuarias – INIA  
www.inia.cl



### Segunda Reunión General Santiago, 31 de marzo de 2017

### CARTA GANTT

Objetivo N°	Actividades	Año 2016-2017																			
		Semanas																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	Identificación de las necesidades de información, tipos de usuarios y tipo de información (formato) para las demandas tecnológicas actuales respecto a la determinación de los requerimientos hídricos de los cultivos.																				
	1. Reunión equipo de trabajo	X	X																		
	2. Reunión de trabajo con todos los investigadores			X	X							X	X					X	X	X	X
	3. Reunión de trabajo con grupos de investigación (zona norte, centro y sur)					X	X		X	X					X	X					
	4. Reunión de trabajo con INDAP, CNR, DGIR y RAN			X	X																
	<b>Informe 1: Información e infraestructura necesaria para la estimación de los recursos hídricos y formatos de información útil para la administración de los RRHH en la agricultura</b>											X									
2	Identificación de la propiedad intelectual de la plataforma y sus componentes.																				
	5. Análisis de plataformas nacionales disponibles con información de los cultivos y necesidades de riego								X	X											
	6. Análisis de plataformas internacionales disponibles con información de los cultivos y necesidades de riego								X	X											
	7. Descripción componentes y productos desplegables (descargables)										X	X									
	8. Generación de un acuerdo marco, entre los participantes del proyecto, sobre los eventuales derechos de propiedad intelectual										X	X									
3	Definición de las especificaciones técnicas y metodologías para la determinación de los requerimientos hídricos de los principales cultivos en las diferentes regiones del país, así como para el desarrollo de una plataforma de consulta Map-server, donde se disponga la información de la demanda hídrica y estado de desarrollo de los cultivos.																				
	9. Identificación de información necesaria para consulta y manejo de los recursos hídricos											X	X								
	10. Establecer requerimientos de información para estimar la demanda hídrica de los cultivos por parte de investigadores, agricultores y tomadores de decisiones y su formato de entrega.											X	X								
	11. Análisis plataformas disponibles a nivel nacional e internacional											X									
	12. Análisis de una estrategia para la sustentabilidad de la plataforma web												X								
	<b>Informe 2: Requerimientos de infraestructura para la implementación de una plataforma de consulta tipo "map-server" y su sustentabilidad</b>													X							

17/04/2017

## CARTA GANTT

Objetivo N°	Actividades	Año 2016-2017																				
		Semanas																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
4	Coordinación y articulación de grupos de investigación en recursos hídricos y agricultura que permita estructurar una red de trabajo																					
	13. Reunión de trabajo con todos los investigadores					X	X							X	X					X	X	X
	14. Reunión de trabajo con grupos de investigación (zona norte, centro y sur) incluida la RAN, AGROMET, DMC					X	X			X	X					X	X					
5	Definición de una estrategia de sustentabilidad de la plataforma que establezca costos de operación y participación de otras entidades con plataformas afines con posibilidades de alojamiento.																					
	15. Elaboración de un plan de sostenibilidad de la plataforma de monitoreo de las necesidades hídricas de los cultivos para su funcionamiento a nivel nacional.														X	X	X	X				
	16. Comunicaciones con miembros RED			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	17. Workshop investigadores miembros RED																				X	X
6	Formulación técnica de un Proyecto Nacional que permita determinar los requerimientos hídricos de los principales cultivos del país a nivel de regiones agroecológicas de manera rutinaria a través de una plataforma estable.																					
	18. Análisis de la información recabada en los Objetivos Específicos anteriores reportados en informes parciales.								X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	19. Socialización informes parciales con integrantes de la RED de investigadores en recursos hídricos								X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	20. Sistematización de la información parcial								X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Informe Final Proyecto Nacional																			X	X	X

Discusión estrategia de financiamiento al final

## Resultados esperados

Objetivo Específico	Resultados esperados
1. Identificación de las necesidades de información, tipos de usuarios y tipo de información (formato) para las demandas tecnológicas actuales.	1. Definición de la información necesaria para la determinación de los requerimientos hídricos de los cultivos. 2. Infraestructura tecnológica requerida para la determinación de los requerimientos hídricos de los principales cultivos en las diferentes regiones de Chile. 3. Identificación de los diversos tipos de usuarios de la información generada. 4. Identificación de diferentes niveles de agregación espacial de la información para su uso por parte de los usuarios. 5. Identificación del tipo de información (formato) para su adaptación a otras tecnologías.
2. Identificación de la propiedad intelectual de la plataforma y sus componentes.	6. Especificaciones acerca de la propiedad intelectual de la plataforma y su vinculación con servicios de asesoramiento al manejo de los cultivos. 7. Definición de la gestión estable de la plataforma considerando la mantención y el soporte técnico estable.
3. Definición de las especificaciones técnicas y metodologías para la determinación de los requerimientos hídricos de los principales cultivos en las diferentes regiones del país, así como para el desarrollo de una plataforma de consulta Map-server, donde se disponga la información de la demanda hídrica y estado de desarrollo de los cultivos.	8. Especificaciones técnicas para la entrega de diversos tipos de información acerca de la demanda hídrica y estado de desarrollo de los cultivos de acuerdo a los tipos de usuarios definidos.
4. Coordinación y articulación de grupos de investigación en recursos hídricos y agricultura que permita estructurar una red de trabajo.	9. Red de trabajo y espacios de confianza y colaboración creada entre las diferentes instituciones nacionales de investigación en recursos hídricos agrícolas. 10. Generación de un Proyecto Nacional con una metodología estandarizada y compromisos de colaboración establecidos por los investigadores miembros de la red.
5. Definición de una estrategia de sustentabilidad de la plataforma que establezca costos de operación y participación de otras entidades con plataformas afines con posibilidades de alojamiento.	11. Estrategia de sustentabilidad establecida con costos de operación y mantención y participación de otras entidades con plataformas afines con posibilidades de alojamiento (ej. IDE MINAGRI).
6. Formulación de un Proyecto Nacional que permita determinar los requerimientos hídricos de los principales cultivos del país a nivel de regiones agroecológicas de manera rutinaria a través de una plataforma estable.	12. Proyecto Nacional formulado a través de espacios de colaboración entre investigadores de instituciones nacionales.

INFORME 1

INFORME 2

INFORME 3 (final)

17/04/2017

## PRODUCTOS ESTUDIO

Informe N°	Productos
1	Contenido Informe 1: Informe parcial con la presentación, discusión y conclusiones de los resultados esperados 1 al 5.
2	Contenido Informe 2: Informe parcial con la presentación, discusión y conclusiones de los resultados esperados 6 al 11.
Final	Contenido Informe 3 (final): a. Informe completo con la presentación, discusión y conclusiones de los resultados finales, incluyendo la decisión de formular el Proyecto Nacional. b. Proyecto Nacional formulado para la determinación de los requerimientos hídricos de los principales cultivos del país, a nivel de regiones agroecológicas. c. Carta de compromiso de las instituciones integrantes de la red donde manifiesten su intención y roles de colaboración en la ejecución del proyecto.

## INFORME 1

Objetivo	N° Act	Actividades Programadas	Actividades Ejecutadas	Discrepancias
Identificación de las necesidades de información, tipos de usuarios y tipo de información (formato) para las demandas tecnológicas actuales respecto a la determinación de los requerimientos hídricos de los cultivos.	1	Reunión equipo de trabajo	En ejecución	NO
	2	Reunión de trabajo con todos los investigadores	En ejecución	NO
	3	Reunión de trabajo con grupos de investigación (zona norte, centro y sur)	En ejecución	NO
	4	Reunión de trabajo con INDAP, CNR, DGIR y RAN	No ejecutada	SI: Se eliminó por acuerdo en 1ª Reunión
Identificación de la propiedad intelectual de la plataforma y sus componentes.	5	Análisis de plataformas nacionales disponibles con información de los cultivos y necesidades de riego	En ejecución	NO
	6	Análisis de plataformas internacionales disponibles con información de los cultivos y necesidades de riego	En ejecución	NO
Coordinación y articulación de grupos de investigación en recursos hídricos y agricultura que permita estructurar una red de trabajo.	13	Reunión de trabajo con todos los investigadores	En ejecución	NO
	14	Reunión de trabajo con grupos de investigación (zona norte, centro y sur) incluida la RAN, AGRONOMET, DMC	En ejecución	NO
Definición de una estrategia de sustentabilidad de la plataforma que establezca costos de operación y participación de otras entidades con plataformas afines con posibilidades de alojamiento.	15	Comunicaciones con miembros RED	En ejecución	NO
	16	Formulación técnica de un Proyecto Nacional que permita determinar los requerimientos hídricos de los principales cultivos del país a nivel de regiones agroecológicas de manera rutinaria a través de una plataforma estable.		
Análisis de la información recabada en los Objetivos Específicos anteriores reportados en informes parciales.	18	Socialización informes parciales con integrantes de la RED de investigadores en recursos hídricos	En ejecución	NO
	19	Sistematización de la información parcial.	En ejecución	NO
	20			



→ INFORMADO  
→ INFORMADO



**Estrategia**  
Socialización de la iniciativa con representantes de gobiernos locales  
WORKSHOP: "Determinación de los requerimientos hídricos...."  
Lugares? Asistentes??

17/04/2017

## INFORME 1

### Discrepancia

**Objetivo 1. Identificación de las necesidades de información, tipos de usuarios y tipo de información (formato) para las demandas tecnológicas actuales respecto a la determinación de los requerimientos hídricos de los cultivos.**

**Actividad 4. Reunión de trabajo con INDAP, CNR, DGIR y RAN**

- Las principales necesidades de información para la determinación de las necesidades de riego de los cultivos corresponden a la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) y los coeficientes de cultivo (K<sub>cb</sub>).
- El tipo de usuario de la información corresponde a agricultores, asesores y grupos de apoyo técnico individuales.
- El tipo de dato o formato que permite la mejor operatividad de la plataforma es la ET<sub>o</sub> y ET<sub>c</sub> en mm/día, con una resolución temporal diaria. Por su parte y dadas las tecnologías disponibles, el coeficiente de cultivo satelital (K<sub>cb</sub>) deberá permitir hacer estimaciones a escala espacial de 1 ha. Para la validación de estas estimaciones se realizarán registros de evapotranspiración de cultivo real en condiciones de campo, en cultivos con mayor representatividad e importancia en cada región.

De este modo, el grupo de investigadores del Estudio, y dado que cuentan con una vasta experiencia en actividades científicas y transferencia tecnológica en riego para gran parte de la zona regada del país, manifestaron su convicción en que la ET<sub>o</sub> y el K<sub>cb</sub> corresponden efectivamente a la información más consultada por agricultores y asesores públicos y privados, por lo que consideraron innecesario consultar esta información a INDAP, CNR y DGIR, y propusieron priorizar los esfuerzos del equipo profesional del Estudio en otras actividades.

## INFORME 1

**Objetivo 1. Identificación de las necesidades de información, tipos de usuarios y tipo de información (formato) para las demandas tecnológicas actuales respecto a la determinación de los requerimientos hídricos de los cultivos.**

**Actividad 3. Reunión de trabajo con grupos de investigación (zona norte, centro y sur)**

### Petit comités

Tema	Integrantes
"Definición de evapotranspiración de referencia (ET <sub>o</sub> ) para las zonas regadas"	Samuel Ortega, Luis Morales, Francisco Meza
"Metodologías para la definición del consumo hídrico de los cultivos utilizando información satelital"	Octavio Lagos, Magali Odi, Samuel Ortega, Mario Lillo
"Validación del consumo hídrico utilizando métodos micrometeorológicos"	Octavio Lagos, Claudio Balbontín, Samuel Ortega, Raúl Ferreyra, Gabriel Selles, Francisco Meza, Pilar Gill



17/04/2017

### “Metodologías para la definición del consumo hídrico de los cultivos utilizando información satelital”

#### COMITÉ 1: Metodologías para la definición del consumo hídrico de los cultivos utilizando información satelital

**Participantes:** Samuel Ortega, Octavio Lagos, Mario Lillo, Claudio Balbontín, Magali Odi, Víctor Muñoz.

**Temas:**

- 1- Uso de metodologías para la definición del consumo hídrico de los cultivos: Balance de Energía Superficial y Relación Índice de Vegetación-Kcb. Complementariedad de las técnicas.
  - Se acordó ampliar el Balance de Energía en Superficie, ya que así se podrán usar varias técnicas (Metric, 1 fuente, 2 fuentes, otras).
- 2- Uso de imágenes de los satélites Landsat y Sentinel 2.
  - Inicialmente existía incertidumbre respecto a que sólo habría 1 satélite disponible para el canal térmico, pero se planteó que posteriormente habrán más disponibles.
  - Se solicitó considerar financiamiento para comprar imágenes de satélites privados (térmico).
  - Mario Lillo propuso considerar “tercerizar” el visor. Costo almacenamiento de información: \$500.000.- aprox. (Housing)
- 3- Revisión de literatura internacional y nacional orientada a trabajos donde se haya determinado coeficiente de cultivo a partir de imágenes satelitales utilizando índices de vegetación o aplicando un Balance de Energía Superficial
  - Se creará un repositorio.

### “Definición de evapotranspiración de referencia (ET<sub>0</sub>) para las zonas regadas”

#### COMITÉ 2: Definición de evapotranspiración de referencia (ET<sub>0</sub>) para las zonas regadas

**Participantes:** Francisco Meza, Luis Morales, Octavio Lagos, CBN, MOL, VM

LM y FM son los investigadores con experiencia en la generación de ET<sub>0</sub> espacialmente y temporalmente continua.

Tipo de dato: ET<sub>0</sub> estandarizada ASCE 2005

- 1- Modelo de generación valores de ET<sub>0</sub> diaria y espacialmente continua (raster)
  - Interpolación de la ET<sub>0</sub> diaria considera orografía y/o otras variables. LM y FM se encargan de la revisión bibliográfica de modelos publicados y/o metodologías propias en desarrollo.
- 2- Definición resolución (espacial y temporal) de acuerdo a las redes meteorológicas e información disponible
  - El valor de ET<sub>0</sub> se calculará con una resolución temporal diaria y adicionalmente un acumulado semanal.
  - La red de EMAS de Chile permite generar un valor de ET<sub>0</sub> a una resolución espacial de 5 Km. Algunas metodologías que utilizan imágenes MODIS permitirían llegar a una resolución de 1 Km, pero hace falta evaluar si todos los parámetros meteorológicos disponibles para calcular ET<sub>0</sub> permiten generar un dato confiable a esta resolución (temperatura, humedad relativa, radiación solar). Luis Morales y Francisco Meza se pondrán en contacto para trabajar en este tema.
  - Conclusión: llegar a una resolución con los datos que se tienen disponibles, 5 km es una resolución mayor a la que se tiene en la actualidad.
  - Se contempla la incorporación de nuevas estaciones
- 3- Infraestructura computacional necesaria
  - LM: Considerar computador 2 TB, array 1 TB/año
  - PENDIENTE: Procesamiento de datos en tiempo real, acuerdos con redes de EMAS para lectura de datos online, tipos de control de calidad
- 4- Definición de Algoritmos o metodologías con y sin uso de información satelital (sensor MODIS)

Se probará la ecuación de Hargreaves-Samani con el propósito de incorporar datos de estaciones meteorológicas que sólo cuentan con sensores de temperatura.  
Datos MODIS que se utilizan para interpolar: NDVI, temperatura de brillo, perfiles de temperatura del aire (tesis de Fabiola Flores, Chillán)

5- Formatos de salida útiles para la demanda ambiental

Los formatos de salida útiles serán mm/día, mm/semana  
Tipo de dato: raster, texto plano  
Se considera un control de calidad de los datos

6- Implementación metodologías para pronóstico semanal de ET<sub>0</sub>

Red Agroclimática Nacional (RAN) : INIA, AgroDMC, Creza, Metovid, FDF. Faltaría incorporar datos de otras redes DGA, UTAca

Averiguar qué control de calidad de datos tiene la RAN

Estandarización de cálculo de ET<sub>0</sub>

Se propone realizar una evaluación del pronóstico de la RAN, comparar dato que fue pronosticado vs dato real (3 años)

Estado del arte del pronóstico: DMC genera grilla a 5 km de las variables meteorológicas temperatura mínima y precipitación a 4 y 6 días respectivamente

Octavio Lagos propone presentar dato de ET<sub>0</sub> con 85% de probabilidad (Ver mapa de CNR)

LM:

Base de datos para estimar ET<sub>0</sub> con distintos métodos

Calibrar todos los modelos de estimación de ET<sub>0</sub> que se usan en Chile: coeficientes por zonas

Proponer modelos simples para zonas identificadas (10 zonas)

A partir de esto generar cartografía histórica

17/04/2017

### "Validación del consumo hídrico utilizando métodos micrometeorológicos"

**COMITÉ 3: Validación del consumo hídrico utilizando métodos micrometeorológicos**

**Participantes:** Samuel Ortega, Octavio Lagos, Raúl Ferreyra, Mario Lillo, Claudio Balbontín, Magali Odi, Víctor Muñoz.

**Temas tratados:**

- 1- Disponibilidad de equipos micrometeorológicos entre los integrantes del Estudio (Eddy Covariance y Surface Renewal). Se anexa Cuadro para completar información.

- 2- Cultivos actualmente bajo monitoreo micrometeorológico

**Samuel Ortega (U TALCA)**

- o Eddy covariance en viñedo Cabernet Sauvignon. Parte de un proyecto Fondecyt por 2 años más. Ubicada en la localidad de Pencabue.
- o Eddy covariance en avellano europeo. Se usará 1 año más y luego queda disponible. El investigador propone su uso preferentemente en: Olivo, Arándano, Manzano o Maíz.
- o Eddy covariance en laboratorio CITRA. Requiere renovar sensor de radiación.
- o Surface renewal en viñedo.
- o Surface renewal disponible.

**Raúl Ferreyra (INIA)**

- o Eddy covariance en palto.
- o Surface renewal palto
- o Surface renewal en palto en invernadero

**Gabriel Selles (INIA)**

- o Eddy covariance en uva de mesa.

**Claudio Balbontín (INIA)**

- Surface Renewal en uva de mesa
- Eddy covariance en laboratorio INIA. Requiere instalar en terreno

**Octavio Lagos (Universidad de Concepción)**

- o Eddy Covariance Arándano.
- o Eddy Covariance actualmente no operativa: debe reparar IRGA. Se instalaría en: Nopal, Avellano o Cerezo.
- o Surface Renewal en kiwi
- o Surface Renewal en Manzano

**Pontificia Universidad Católica:**

- o Eddy Covariance en uva vinífera (Cabernet Sauvignon). Pirque.
- o Eddy Covariance en uva vinífera (Chardonnay). Pirque.

- 3- Disponibilidad de trabajos con micrometeorología para afianzar relaciones entre información satelital y datos de evapotranspiración real (verdad de terreno)

**UTALCA**

- Kc-NDVI Manzano (MOL y SO).
- Kc: Viñas y olivo (próximamente, manzano, METRIC
- Varios trabajos con Metric

**INIA**

- Uva de mesa, trabajos publicados (Ceptometría?)
- Informes técnicos internos y papers en preparación (junto a C. Poblete).

**UDC**

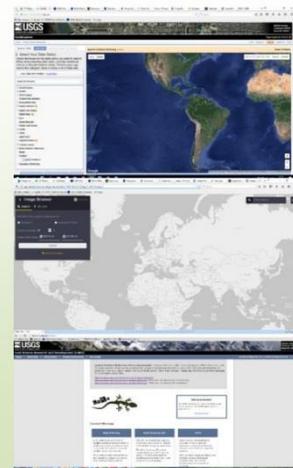
- Kc: Remolacha (Surface), Arándano (Eddy), ¿Kiwi?

**PUC**

### 2. Infraestructura tecnológica requerida para la determinación de los requerimientos hídricos de los principales cultivos en las diferentes regiones de Chile.



### INFORMACIÓN SATELITRAL

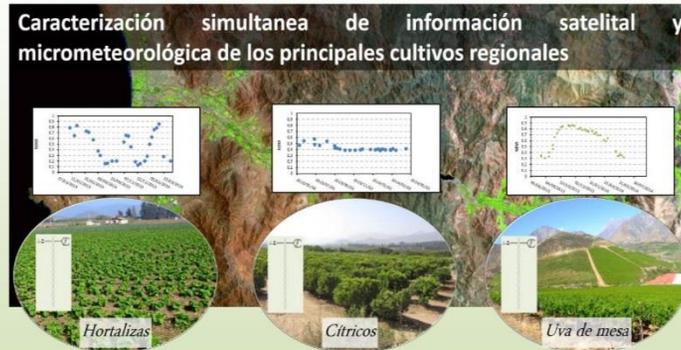




17/04/2017

2. Infraestructura tecnológica requerida para la determinación de los requerimientos hídricos de los principales cultivos en las diferentes regiones de Chile.

## TORRES DE FLUJO



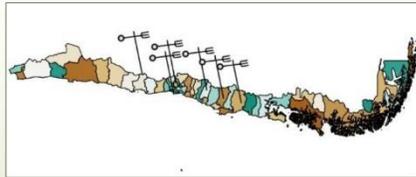
## 2) Estructura de costos

### TORRES DE FLUJO

Sitio	Cultivo	Equipos	Ubicación	Datos anteriores
Coquimbo	Uva de mesa	EC SR	?	?
Metropolitana	Uva de mesa / Vinífera	EC		
Valparaíso	Palto	EC SR		
Talca	Olivos	EC		
Concepción	Arándano / Avellano	EC SR		

17/04/2017

## TORRES DE FLUJO



Equipo	Costo
Eddy Covarianza	40.000.000
Surface renewal	10.000.000

- Sitios
- Cultivos
- Prop. intelectual

Cuadro 3. Equipos utilizados en las estaciones micrometeorológicas EC y Surface renewal.

Equipo	Variable	Instrumento-modelo
Covarianza Turbelinos	Flujo calor sensible	Anemómetro sónico CSAT-3 (Campbell Sci.)
	Flujo de CO <sub>2</sub>	Anemómetro sónico CSAT-3 (Campbell Sci.) & IRGA LI-7500 (LI-Cor Inc.)
	Calor latente	Anemómetro sónico CSAT-3 (Campbell Sci.) & IRGA LI-7500 (LI-Cor Inc.)
	Radiación Neta	Radiómetro neto 4 vías CNR11 (Kipp & Zonen)
	Flujo de calor en suelo	Termopares TCAV (Campbell)
	Humedad del suelo	Platos HFP01-SC (Hukseflux, Holanda) CS616 (Campbell Sci., USA)
	Almacenado datos	LI-COR o Campbell Sci. Inst.
	Temperatura y humedad relativa del aire	HMP45 (Vaisala)
	Temperatura de aire	Termopares de hilo fino tipo E (mod. ASPTC + 107 T. P. (Campbell Sci. Inst., USA)
	Humedad del suelo	CS616 (Campbell Sci., USA)
Surface renewal	Radiación neta	NR Lite (Campbell Sci., USA)
	Flujo de calor en suelo	Termopares TCAV (Campbell)
		Platos HFP01-SC (Hukseflux, Holanda)
	Almacenado datos	Campbell Sci. Inst., USA

### 7.- Conclusiones y Recomendaciones

El Estudio se está desarrollando de acuerdo a lo planificado sin encontrar hasta el momento dificultades para su ejecución. El equipo de trabajo del Estudio está bien complementado y las reuniones con todos los investigadores integrantes se han desarrollado con buena disposición y cooperación.

En esta primera etapa se logró establecer la red de investigadores, los objetivos de información buscada y la definición de roles de los integrantes, donde cada uno puede alcanzar un mayor nivel de aporte en la iniciativa final, el Proyecto Nacional.

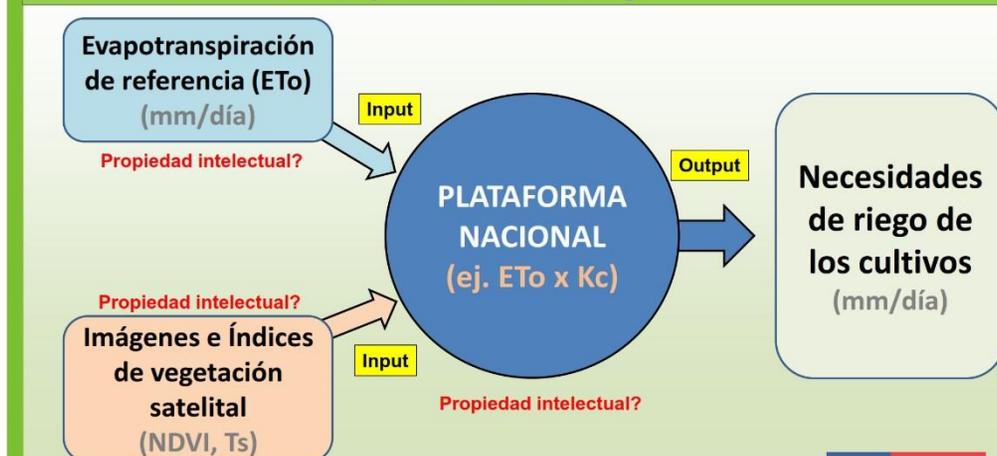
En la siguiente etapa se realizará una segunda reunión general donde se abordarán con mayor detalle las metodologías a implementar y se realizará un dimensionamiento económico de la propuesta. Así mismo, se profundizará en la propiedad intelectual de los productos generados y la sostenibilidad de la plataforma.

De acuerdo a lo conversado en las reuniones, para el desarrollo de la plataforma on line se prevé un alto costo, por lo que se abrirá una línea de participación de informáticos que puedan dimensionar el trabajo, tiempo y costo de desarrollar y mantener un visor nacional o evaluar la contratación de este servicio a terceros.

La segunda reunión general del grupo será el 31 de marzo de 2017 en Santiago.

17/04/2017

2) Identificación de la propiedad intelectual de la plataforma y sus componentes: Análisis de plataformas internacionales disponibles con información de los cultivos y necesidades de riego



2) Identificación de la propiedad intelectual de la plataforma y sus componentes: Análisis de plataformas internacionales disponibles con información de los cultivos y necesidades de riego

This diagram details the data flow into the National Platform. It shows 'Evapotranspiración de referencia (mm/día)' as the primary input, which is derived from various sources including satellite imagery (ASCE, ASCE) and ground-based measurements (MeteoVID, Agroclima.cl). The process involves 'especialización' (specialization) of the data, which is then used to create a 'Raster ETo' map of Chile. The raster map is then processed by the 'PLATAFORMA NACIONAL'. A central box lists key questions regarding the platform's intellectual property and data handling:

- Propiedad intelectual? espacialización
- ✓ Como se realizarán las consultas?
- ✓ Convenio con dueños de EMAs para que generen los archivos compatibles?
- ✓ Que formato de datos requiere un cálculo automatizado de Penman-Monteth?

Below these questions is a table with two parts: station characteristics and a daily data table.

Estación	Vicuña
Latitud (grados)	36.51
Altitud (m)	870
Altura sensor (m)	2.00
Altitud	5.23

Episodios de Riego	Ta máx	Ta mín	H8 máx	H8 mín	H8	Viento
09/08/2016	29.27	15.58	80.68	61.12	2132.75	2.18
10/08/2016	25.68	9.29	84.00	51.05	2148.05	2.04
11/08/2016	25.07	6.33	84.80	51.02	2084.50	1.81
12/08/2016	27.98	9.53	80.50	51.50	2228.14	1.98
13/08/2016	24.04	10.48	80.38	51.84	1986.48	1.82
14/08/2016	24.37	9.29	80.40	51.84	2085.45	1.87
15/08/2016	30.39	12.83	80.85	5.85	2125.42	1.84
16/08/2016	25.11	9.33	80.80	51.02	2272.78	2.00
17/08/2016	24.37	7.93	85.31	50.30	2340.95	1.85
18/08/2016	23.96	9.72	87.39	54.84	2412.19	1.92
19/08/2016	18.35	5.22	97.73	51.51	2100.82	1.92
20/08/2016	21.96	5.44	85.00	51.50	2072.58	1.90
21/08/2016	31.52	8.28	87.06	4.38	2460.88	2.14
22/08/2016	22.80	12.48	86.00	51.50	2413.58	2.08
23/08/2016	23.18	4.81	86.90	28.34	2314.03	1.88
24/08/2016	19.28	4.88	88.50	41.73	2006.78	1.89

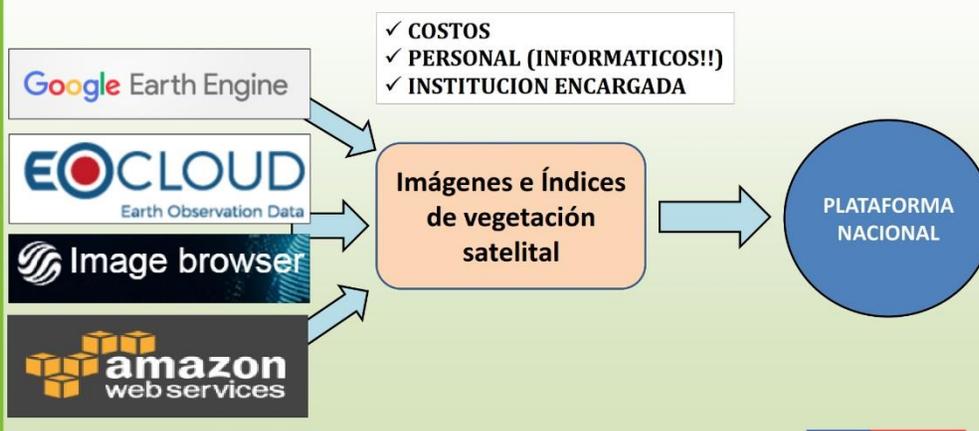
17/04/2017

**2) Identificación de la propiedad intelectual de la plataforma y sus componentes: Análisis de plataformas internacionales disponibles con información de los cultivos y necesidades de riego**



- COSTOS
- SOPORTE
- CAPACITACIÓN
- HERRAMIENTAS

**2) Identificación de la propiedad intelectual de la plataforma y sus componentes: Análisis de plataformas internacionales disponibles con información de los cultivos y necesidades de riego**





17/04/2017

**2) Definición de una estrategia de sustentabilidad de la plataforma que establezca costos de operación y participación de otras entidades con plataformas afines con posibilidades de alojamiento**

11. Estrategia de sustentabilidad establecida con costos de operación y mantención y participación de otras entidades con plataformas afines con posibilidades de alojamiento (ej., IDE MINAGRI).

## Anexo 3. Presentación Dra. Magali Odi - Google Engine

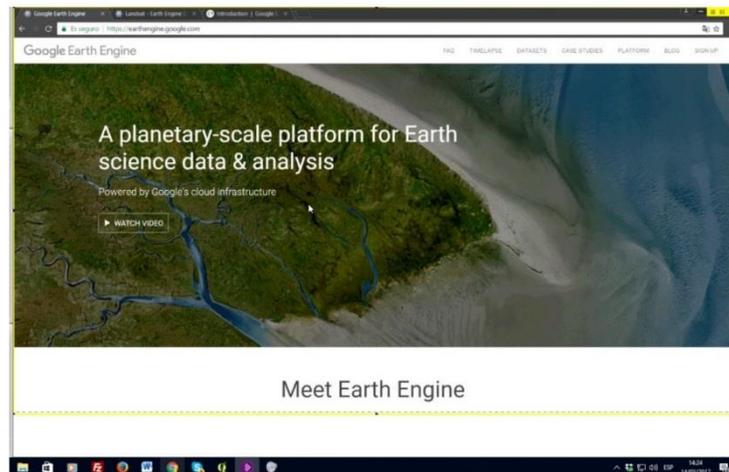
16/04/2017



### EO CLOUDS

Nuevas herramientas de entrega y  
procesamiento de datos de  
observación de la tierra

### Google Earth Engine



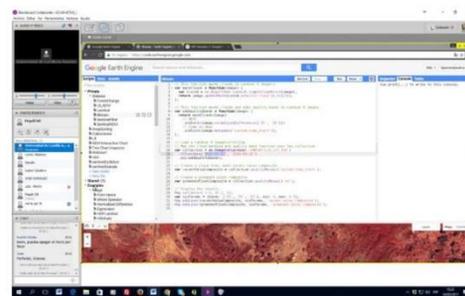




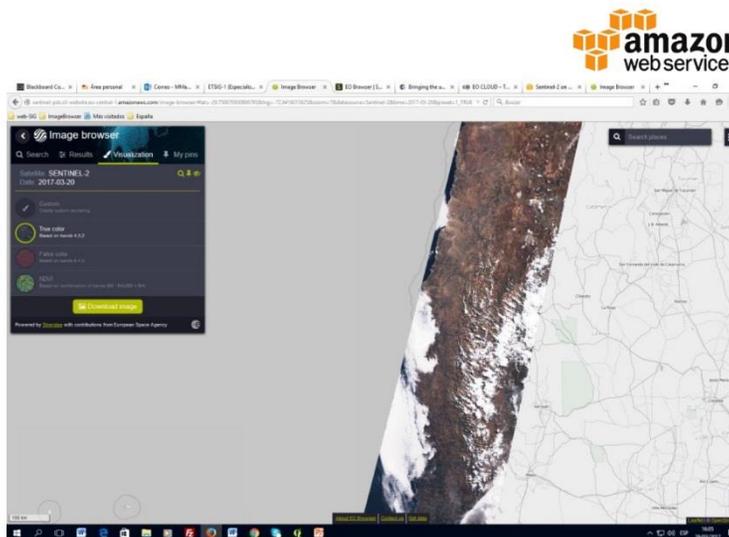
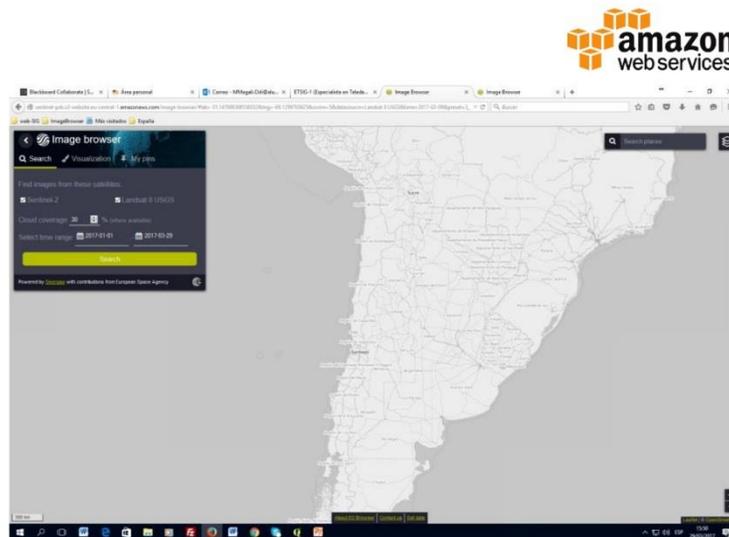
16/04/2017

## SPIDERwebGIS Google Earth Engine

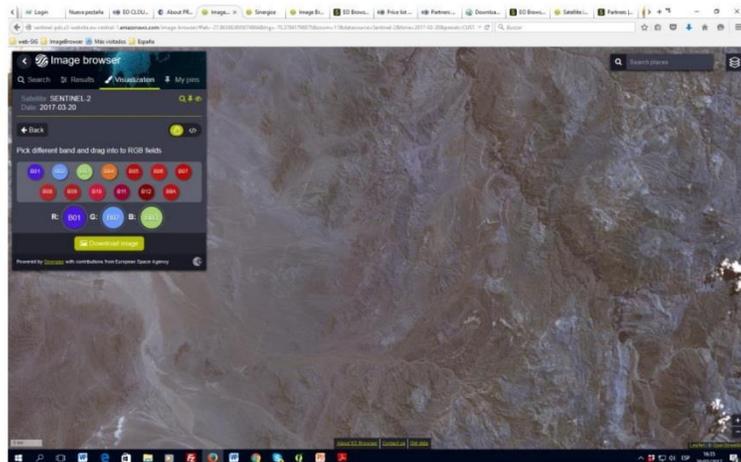
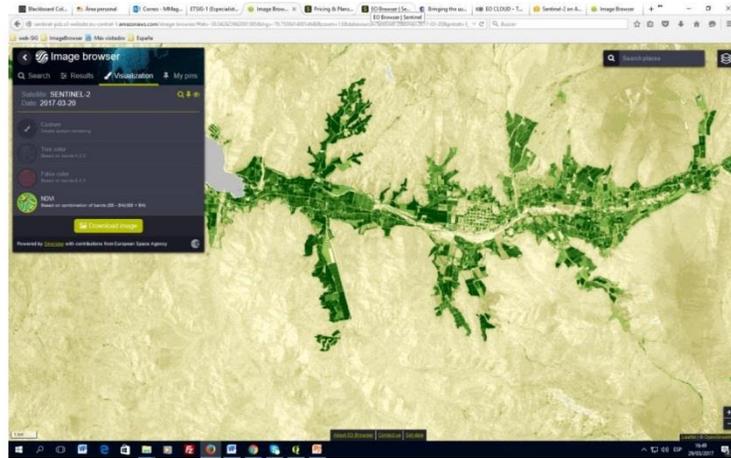
Programación en python: Desarrollo de spider desde la API de Google Engine



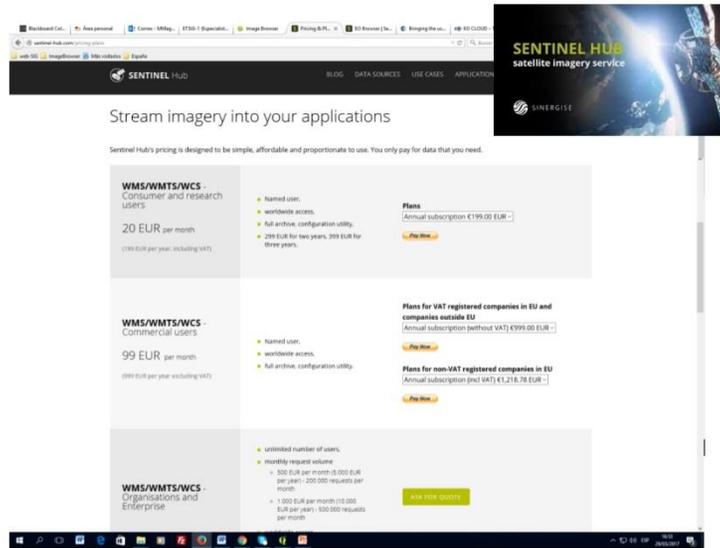
16/04/2017



16/04/2017



16/04/2017

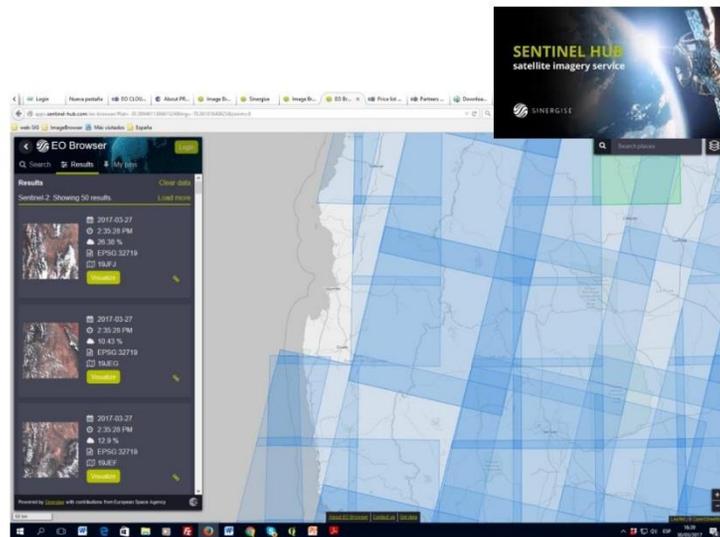


**SENTINEL HUB**  
satellite imagery service

Stream imagery into your applications

Sentinel Hub's pricing is designed to be simple, affordable and proportionate to use. You only pay for data that you need.

WMS/WMTS/WCS	Plans
<b>Consumer and research users</b> 20 EUR per month <small>(80 EUR per year, including VAT)</small>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Named user.</li> <li>worldwide access.</li> <li>full archive, configuration utility.</li> <li>200 EUR for new users, 300 EUR for three years.</li> </ul> <p>Annual subscription €199.00 EUR</p>
<b>Commercial users</b> 99 EUR per month <small>(880 EUR per year excluding VAT)</small>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Named user.</li> <li>worldwide access.</li> <li>full archive, configuration utility.</li> </ul> <p>Annual subscription (without VAT) €999.00 EUR</p>
<b>Organisations and Enterprise</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>unlimited number of users.</li> <li>monthly request volume:               <ul style="list-style-type: none"> <li>500 EUR per month (5,000 EUR per year): 200,000 requests per month</li> <li>1,000 EUR per month (10,000 EUR per year): 500,000 requests per month</li> </ul> </li> </ul> <p>Get your quote</p>



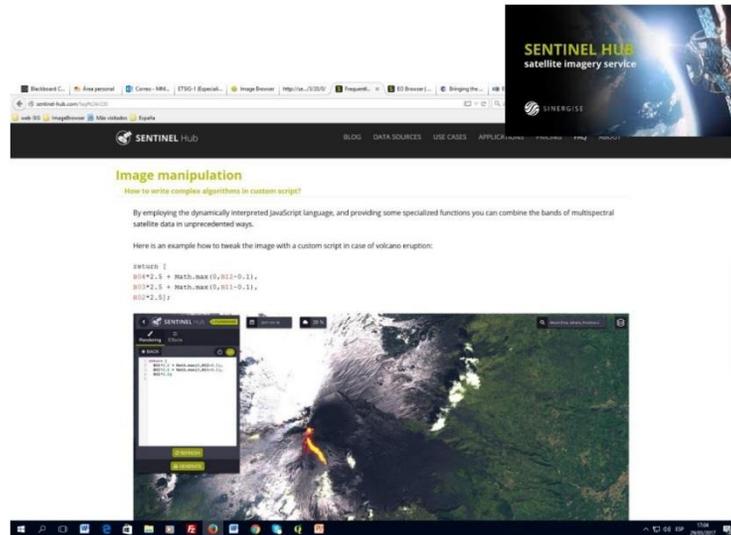
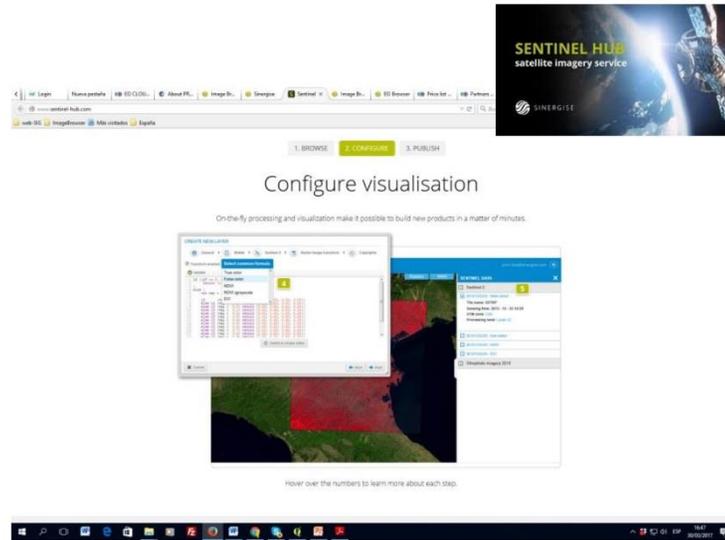
**SENTINEL HUB**  
satellite imagery service

**EO Browser**

Results: Showing 50 results

Date	Time	Cloud %	Resolution
2017-03-27	2:35:28 PM	26.36 %	10.4 m
2017-03-27	2:35:28 PM	10.43 %	10.4 m
2017-03-27	2:35:28 PM	12.8 %	10.4 m

16/04/2017



16/04/2017

**EO CLOUD**  
Earth Observation Data

### Why EO Cloud?

#### Traditional approach

Users who needed to access and process the EO data used to download, store and process it locally.

It became inefficient when the volume of data was too large to be downloaded in reasonable time or too large to be stored and processed by users' infrastructure.

#### Our approach

- ✓ EO Cloud is a scalable cloud infrastructure adapted to process big amounts of Earth Observation data.
- ✓ It enables a broadband local access to one of the largest EO data repository archive and up-to-date.
- ✓ EO Cloud offers 10 PB of Earth Observation data combined with customer accessible big processing power.



## Anexo 5. Acta 2da Reunión

### ACTA 2° Reunión de Trabajo – Estudio FIA RR.HH.

**Fecha: 31 de Marzo de 2017**

**Lugar: Providencia, Santiago**

Los principales temas discutidos y acuerdos adquiridos en la reunión fueron los siguientes:

1. Comisión de lobby para obtener financiamiento conformado por Gabriel Sellés, Samuel Ortega, Eduardo Hopzafel, Javiera de la Vega.
2. Se proponen dos estrategias para buscar financiamiento:
  - Una estrategia es buscar financiamiento para dos zonas piloto de distinta condición climática (Región de Coquimbo y Región del Maule). Cada piloto incluye la metodología completa. El piloto 1 se presentaría a FIA en la convocatoria que se abre en mayo 2017, el piloto 2 se presentaría a los FIC regionales.
  - Otra estrategia es dividir en dos partes el proyecto, para presentarlo al FIA. Una parte es la estimación precisa y continua en el tiempo y el espacio de ETo (micrometeorología). La otra parte es la monitorización del cultivo mediante series temporales de NDVI y BES (estimación de coeficientes de cultivo).
3. Carta compromiso de los representantes legales de las instituciones autorizando la participación del investigador/académico en las actividades del Estudio. Se enviará formato de carta.
4. Fuentes de financiación: FIA, FIC, Acción regional de CONICYT, FONDEF 2 partes, Departamento de estudios CNR. Víctor Muñoz hará recopilación de herramientas de financiamiento disponibles y un borrador de presupuesto
5. Considerar una estrategia de transferencia en la propuesta nacional con grupos como INDAP, CNR, otros. Alejandro Antúnez se haría cargo de escribir este apartado.
6. Fecha de **Tercera Reunión 25-Abril-2017 en Concepción.**
7. Gira itinerante para sociabilizar la iniciativa con los gobiernos regionales (considerar red investigadores CNID), el primer **workshop Zona Sur** sería el **26 abril en Concepción.** Segundo **workshop Zona Centro primera semana de Mayo**, tercer **workshop Zona Norte segunda semana de Mayo.**
8. Elaborar una maqueta del proyecto para presentar a FIA y otras fuentes, caso real.
9. Escribir con detalle las metodologías: Balance de Energía en Superficie BES apoya Octavio Lagos y Samuel Ortega, ETo apoya Luis Morales y Francisco Meza. Luis entregó documento con metodología para generar mapas de ETo, el documento será revisado en



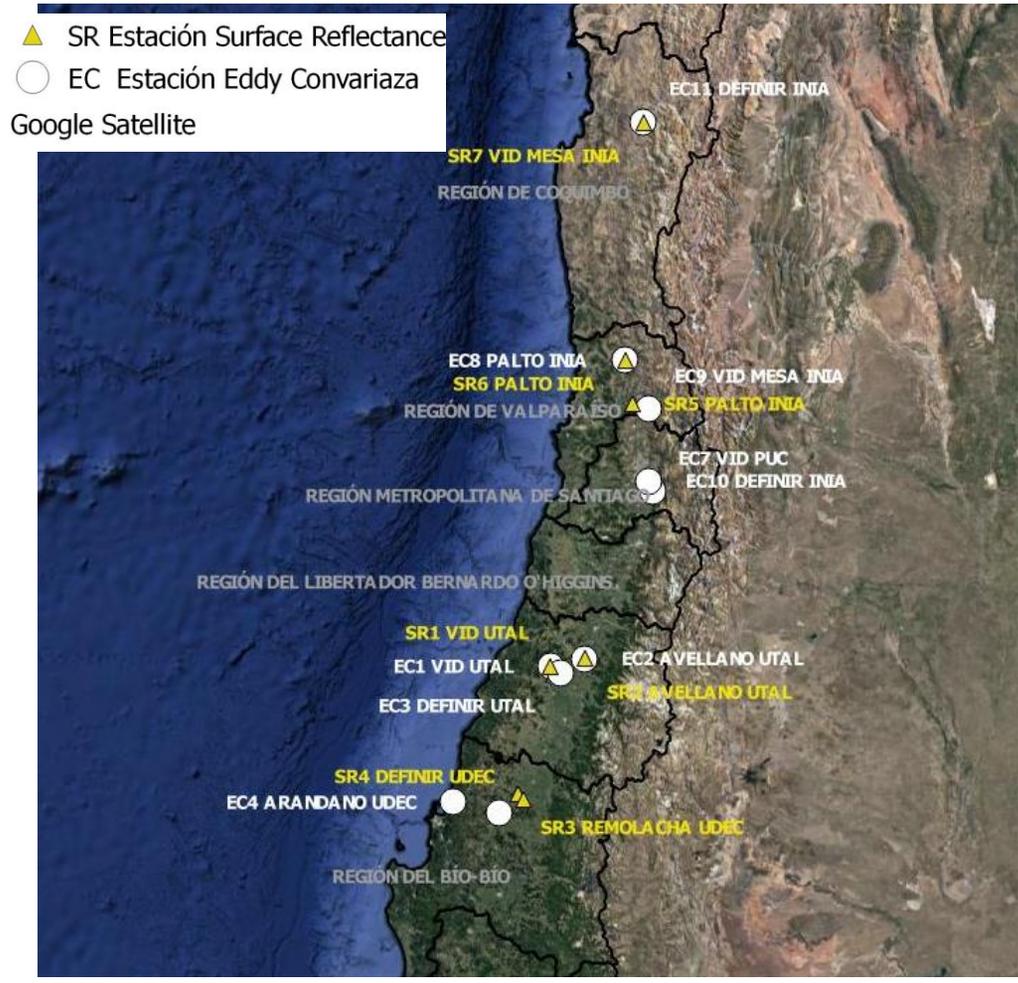
primera instancia por Claudio Balbontín y Samuel Ortega, después se enviará al resto del equipo. Luis Morales se hará cargo de dimensionar las necesidades computacionales y profesionales necesarias para implementar esta metodología.

10. Establecer convenios con redes de EMAs para obtener datos en tiempo real, esto es posible a través de APIs, Mario Lillo puede apoyar en este tema. Se hace énfasis en la estandarización del cálculo.
11. Se realizará videoconferencia con UCLM para discutir el tema de la “Definición de visores web-GIS para presentación de valores de requerimientos hídricos.
12. Respecto al visor web-GIS Mario Lillo apoya en el desarrollo necesario para la comunicación entre bases de datos, evaluación económica y plazos. Se llevará a cabo un levantamiento de requerimientos, dimensiones, levantamiento de datos, volumen de datos, capacidad de cómputo. Propone que se elabore un esquema con datos de entrada, datos de salida de la plataforma, cuantas consultas se harán (por ejemplo hectáreas consultadas)
13. Magali Odi enviará hoja para completar los datos de las estaciones micrometeorológicas que han estado en años anteriores y que se ponen a disposición para campañas del proyecto nacional, además de un link de google drive para recopilar bibliografía relacionada con el proyecto.

Resumen de las tareas requeridas a los integrantes del grupo para el segundo informe que se entregará el 18 de abril de 2017:

- 1) Documento con metodología de Balance de Energía en Superficie, teoría y caso de estudio (Octavio Lagos y Samuel Ortega)
- 2) Documento corregido con metodología de estimación continua de ETo (Luis Morales y Francisco Meza)
- 3) Completar y enviar hoja con las características de las estaciones micrometeorológicas a disposición del estudio (Octavio Lagos, Samuel Ortega, Francisco Meza, Gabriel Sellés, Raúl Ferreyra, Claudio Balbontín)
- 4) Sección con lineamientos generales para el desarrollo de plataforma web-GIS. Casos implementados: Spider, Aquasat, otros. Nuevas estrategias. (Mario Lillo, Magali Odi)

### Anexo 6. Estaciones Micrometeorológicas a disposición del Proyecto Nacional - Red Investigadores



Estaciones micrometeorológicas a disposición del Proyecto Nacional



Institución/ IR	Equipo instalado y/o a disposición	Coordenadas geográficas	Localidad	Cultivo		Temporadas agrícolas		Proyecto	Comentarios
				Especie	Variedad	Anteriores	Futuras		
UTAL	EC_1	35°23' S, 71°44' W	Pencahue	Vid vinífera	Cabernet sauvignon	2016-2017	3 años (2017- 2019 )	Fondecyt	Requiere mantención <b>IR: S. Ortega</b>
	EC_2	35°16'16"S, 71°22'15"W	San Rafael	Avellano europeo	Tonda di Giffoni	2016-2017	Disponible para otro cultivo 2017- 2019	Corfo	Requiere mantención <b>IR: S. Ortega</b>
	EC_3	Por definir	Por definir	Por definir, cultivos sugeridos: olivo, arándano, manzano o maíz	Por definir	Por definir	Por definir		A disposición, requiere mantención y renovar sensor de radiación <b>IR: S. Ortega</b>
	SR_1	35°23'S, 71°44'W	Pencahue	Vid vinífera	Cabernet sauvignon	2016-2017	Disponible para otro cultivo 2017- 2019	Corfo	A disposición, se puede instalar junto a EC <b>IR: S. Ortega</b>
	SR_2	35°16'16"S, 71°22'15"W	San Rafael	P Avellano europeo	Tonda di Giffoni	2016-2017	3 años (2017- 2019 )	Fondecyt	<b>IR: S. Ortega</b>

EC: EDDY COVARIANZA, SR: SURFACE RENEWAL



Institución /IR	Equipo instalado y/o a disposición	Coordenadas geográficas	Localidad	Cultivo		Temporadas agrícolas		Proyecto	Comentarios
				Especie	Variedad	Anteriores	Futuras		
UDEC	EC_4	36,6209°S, 71,8994°W	Coihueco	Arándano	Elliot	2012-2016	2017-2019	Fondecyt Fondef, FONDAP	<b>IR: 0. Lagos</b>
	EC_5	36,7185°S, 72,3645°W	Bulnes	Avellano Europeo	Lewis	2013-2016	2017-2019	Fondef_F ONDAP	IRGA en reparación <b>IR: 0. Lagos</b>
	SR_3	36.5409°S, 72,1415°W	San Nicolas	Remolacha		Remolacha 2012-2016	2017-2019	Fondef- FONDAP	<b>IR: 0. Lagos</b>
	SR_4	Por definir	Coihueco	Nogal	Por definir	Manzanos 2013-2016	2017-2019	Fondef- FONDAP	<b>IR: 0. Lagos</b>

EC: EDDY COVARIANZA, SR: SURFACE RENEWAL



Institución /IR	Equipo instalado y/o a disposición	Coordenadas geográficas	Localidad	Cultivo		Temporadas agrícolas		Proyecto	Comentarios
				Especie	Variedad	Anteriores	Futuras		
PUC	EC_6	33° 42' S 70 ° 34' W	Pirque	Vid vinífera	Cabernet sauvignon	2013-2017	2017-2021		IR: F. Meza/P. Gil
	EC_7	33° 42' S 70 ° 34' W	Pirque	Vid vinífera	Chardonnai	2013-2017			IR: F. Meza/P. Gil Irgason en reparación

EC: EDDY COVARIANZA, SR: SURFACE RENEWAL



Institución /IR	Equipo instalado y/o a disposición	Coordenadas geográficas	Localidad	Cultivo		Temporadas agrícolas		Proyecto	Comentarios
				Especie	Variedad	Anteriores	Futuras		
INIA	EC_8	32°24'6.22"S 70°54'15.68" W	Cabildo	Palto	Hass		3 años (2017-2020)		Disponible para otro cultivo después: cítricos <b>IR: R.Ferreyra</b>
	EC_9	32°52'38.25" S 70°37'47.20" W	Calle Larga	Vid de mesa	Thompson seedless	2009-2012	Por definir		<b>IR: G. Sellés</b>
	EC_10	Por definir	Por definir	Por definir	Por definir	Por definir	Por definir		<b>IR:G. Sellés</b>
	EC_11	Por definir	Por definir	Por definir	Por definir	Por definir	Por definir		<b>IR:C.Balbontín</b>
	SR_5	32°49'28.78" S 70°49'2.69"W	Panquehue	Palto	Hass	2014-2017			<b>IR:R.Ferreyra</b>
	SR_6	32°24'6.22"S 70°54'15.68" W	Cabildo	Palto_inver- adero	Hass		3 años (2017-2020)		<b>IR:R.Ferreyra</b>
	SR_7	30° 2'20.58"S 70°41'17.88" W	Vicuña	Vid de mesa	Flame seedless	2016-2017	Por definir		<b>IR: C.Balbontín</b>

EC: EDDY COVARIANZA, SR: SURFACE RENEWAL