

## INFORME TECNICO Y DE GESTIÓN FINAL

### EJECUTOR:

Nombre	Universidad de Talca
Giro	Institución de Educación Superior
Rut	
Representante	Álvaro Manuel Rojas Marín

**NOMBRE DEL PROYECTO:** Sistema de alerta temprana de episodios de heladas para agricultores de la Región del Maule. Basado en modelos predictivos que utilizan información agro-climatológica histórica y técnicas de Inteligencia Artificial

**CODIGO:** PYT – 2015 – 0311

**Nº INFORME:** FINAL

**PERIODO:** desde 02 Julio 2015 hasta 30 Noviembre 2016

### NOMBRE Y FIRMA COORDINADOR PROYECTO

Nombre	José Antonio Reyes Suárez
Rut	
Firma	

OFICINA DE PARTES 2.ª FLA.	
RECEPCIONADO	
Fecha	06 DIC 2016 1040
Hora	
Nº Ingreso	34884

## I. RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto Sistema de alerta temprana de episodios de heladas para agricultores de la Región del Maule. Basado en modelos predictivos que utilizan información agro-climatológica histórica y técnicas de Inteligencia Artificial tiene por objetivo generar un sistema de alerta temprana de eventos de heladas para agricultores de la Región del Maule y de O'higgins. El desarrollo del proyecto se llevó cabo en los plazos y de acuerdo a la planificación propuesta, logrando obtener una Base Datos operativa con información agro meteorológica de 20 estaciones meteorológicas automáticas de la VI y VII región, la cual fue base para realizar un modelamiento no supervisado logrando de esta forma caracterizar los eventos de heladas y cuasi heladas.

Luego de caracterizar dichos eventos se generaron diferentes modelos de clasificación para cada estación, utilizando el método RandomForest. Este sistema ha sido probado exitosamente, logrando predecir con una efectividad superior al 90% la ocurrencia de las heladas.

Para acceder a este sistema debe tener conexión a internet, donde se alertará la ocurrencia de eventos de heladas.

Este sistema se podrá utilizar desde el año 2017 y cualquier usuario que desee consultar, lo podrá hacer seleccionando la estación o estaciones más cercanas.

La respuesta de los potenciales usuarios finales ha sido positiva en base a la participación y feedback obtenido de ellos en las diferencias instancias propuestas por el grupo de trabajo.

## **II. TEXTO PRINCIPAL**

### **1. Resumen de la propuesta**

El objetivo general de este proyecto es desarrollar un sistema de alerta temprana de eventos de heladas para agricultores de la Región del Maule y de la Región de O'Higgins. El sistema propuesto está basado en un modelo de predicción que utiliza técnicas de Inteligencia Artificial y es entrenado con información agro-climatológica histórica de las zonas de interés.

Una de las variables térmicas de más riesgo que los agricultores enfrentan son las heladas de invierno y las primaverales. Un evento de heladas puede hacer perder la cosecha de un año entero y comprometer los ingresos del siguiente, sobre todo para fruticultores y viticultores. Actualmente la predictibilidad de sucesos de heladas depende en gran medida por pronósticos de temperatura basados en modelos predictivos generales, que predicen condiciones promedio en grandes extensiones de territorio del país. Esto es predicción hora a hora de temperatura promedio para estas zonas. Y por tanto con consideran variables locales.

La propuesta aquí presentada hace uso de información histórica de carácter local y está enfocado en la predicción de ocurrencia de fenómenos o sucesos de heladas puntuales más que en predecir la temperatura hora a hora. Adicionalmente tiene por finalidad entregar una alerta temprana en el sentido de hasta 12 horas de la ocurrencia de estos sucesos, con una alta efectividad y con información en línea para los usuarios.

El foco de la propuesta estará por tanto principalmente en el desarrollo de un modelo de predicción que permita de manera eficiente y confiable alertar sobre episodios de helas en distintas zonas de interés. Al mismo tiempo en el desarrollo de un sistema de información, que permita alimentar y utilizar el modelo de predicción para identificar y caracterizar estos episodios en el marco de las estaciones meteorológicas (EMAs) que conforman la Red Agroclimática Nacional (RAN) del ministerio de agricultura, incorporando en esta etapa de desarrollo predicciones asociadas a 20 EMAs localizadas en regiones VI y VII.

## 2. Cumplimiento de los objetivos del proyecto:

Se lograron los objetivos planteados según lo planificado.

### **OE1: Construir un repositorio o base de datos con información histórica de ocurrencia de eventos de heladas ocurridos en las zonas de estudio**

El resultado obtenido en este OE se ve reflejado en una base de datos funcional y operativa con información histórica de 20 estaciones meteorológicas, de diferentes comunas de la VI y VII región. La cual a su vez cuenta con una serie de consultas de interés que los potenciales usuarios solicitaron y fueron incorporadas a la plataforma web.

El impacto de este objetivo es tanto para los usuarios finales, ya que permite ordenar la información con la cual se cuenta, todo esto de manera online y actualizable. Y por otra parte es útil para ordenar la información que se utilizara en los objetivos siguientes relacionados con el modelamiento.

### **OE2: Generar un modelo de predicción de ocurrencia de eventos de helada utilizando técnicas y algoritmos de Inteligencia Artificial basados en información agro-climatológica histórica previamente recolectada**

Este objetivo se cumplió completamente, logrando de esta manera obtener un modelo de predicción de ocurrencia de heladas, basado en información agro-climatológica histórica.

El impacto de este objetivo será útil para la comunidad luego de empaquetar y transferir estos resultados, motivo por el cual, luego de cumplir con este objetivo se debió avanzar en los OE3 y OE4 para lograr un impacto en la población.

### **OE3: Desarrollar un sistema de información que sea capaz de alimentar y utilizar el modelo de predicción antes generado, para identificar y caracterizar riesgo de ocurrencia de eventos de heladas en zona de estudio**

El resultado final de este objetivo es un sistema de Información para uso de modelo predicción operativo. Con el fin de transferir resultados, los cuales podrán ser utilizados posteriormente de manera eficiente y óptima.

El impacto va en directo beneficio de los usuarios, pues el sistema de alerta temprana de heladas estará operativo en la página de la RAN o el Ministerio de Agricultura. En este punto es importante señalar que la metodología empleada es en un lenguaje simple para poder implementarse en cualquier otra plataforma.

**OE4: Desarrollar un modelo efectivo de difusión de los resultados del proyecto y beneficios de contar con un sistema de alerta temprana de heladas.**

El resultado de este objetivo fue el desarrollo de diferentes instancias para informar resultados a los interesados en el sistema.

El impacto de este proyecto va en beneficio de los usuarios, pues se logró crear diferentes instancias y actividades para difundir uso de sistema de alerta temprana heladas, y además para lograr una comunicación efectiva con los potenciales clientes.

**OG: Desarrollar un sistema de alerta temprana de eventos de heladas para agricultores de la Región del Maule. El sistema está basado en un modelo de predicción que utiliza técnicas de Inteligencia Artificial y es entrenado con información agro-climatológica histórica de las zonas de interés.**

El cumplimiento de los 4 objetivos específicos permitió cumplir con el objetivo general del proyecto, logrando obtener diferentes modelos de predicción de eventos de heladas para cada una de las estaciones caracterizadas. Además para estación se cuenta con diferentes modelos dependiendo la hora a que la entregue la alerta.

El impacto de este objetivo va en directo beneficio a pequeños y medianos agricultores de las Regiones VI y VII del país. Quienes tendrán acceso a información referente a predicciones y alerta temprana de episodios de heladas en sus zonas de trabajo.

Con esta información los agricultores podrán prepararse de mejor forma para enfrentar las condiciones adversas de temperatura y tomar medidas que mitiguen los efectos asociados a estos episodios. El impacto de la propuesta se podrá medir en la disminución de producción perdida, relativa a fenómenos de características e intensidades similares, producto de heladas en el futuro.

Esto implicará beneficios importantes a nivel económico y social en las comunidades vinculadas a la pequeña y mediana agricultura de la región. Lo cual podrá ser medido por ejemplo en términos de aumento de productividad y calidad de los cultivos.

### 3. Aspectos metodológicos del proyecto:

#### **OE1: Construir un repositorio o base de datos con información histórica de ocurrencia de eventos de heladas ocurridos en las zonas de estudio**

Se recolectó información histórica de Estaciones Meteorológicas automáticas operativas (20) de la VI y VII región. Para cumplir con este objetivo se debió cumplir con los siguientes pasos:

\*Limpiar y estandarizar registros obtenidos de estas estaciones y de otros tipos de información. Debido a distintos formatos y tecnologías de comunicación con que cada uno de estos tipos de datos cuenta. Información asociada al menos a las siguientes variables: Temperaturas (ambiente, máxima y mínima), Humedad Relativa del Aire, Radiación Solar, Viento (Dirección y Velocidad), Precipitaciones, pronósticos de zonas aledaña. Esta etapa tomó mayor tiempo que el presupuestado en propuesta inicial dado que existió una demora en entrega o acceso a información de nuevas estaciones meteorológicas con que el proyecto INIA cuenta. Este paso tomó una gran relevancia con la reformulación del proyecto. Resultó fundamental realizar un análisis exhaustivo de las distintas variables a utilizar y su variabilidad en cuanto a distribución geográfica.

\*Diseño de un modelo racional de almacenamiento. Basado en criterios de importancia de variables (asignado por expertos y usuarios) y revisión inicial de la información. Implicó optimizar procesos de incorporación de nueva información al sistema.

\*Desarrollo de códigos necesarios para optimizar la incorporación de nueva información e incluso de nuevos tipos de información para incorporar en base de datos y por tanto para uso en modelo.

\*Desarrollo de base de datos operativa, que permite consultas en tiempo real y actualizable en el tiempo.

#### **OE2: Generar un modelo de predicción de ocurrencia de eventos de helada utilizando técnicas y algoritmos de Inteligencia Artificial basados en información agro-climatológica histórica previamente recolectada**

Para lograr este objetivo se utilizó la siguiente metodología.

\*Limpieza y revisión exhaustiva de información agro-meteorológica disponible en base de datos. Identificando ruidos, datos faltantes, fenómenos extraños.

\* Se identificaron eventos asociados a heladas en distintos períodos históricos recolectados, los cuales fueron validados en conjunto con experto y usuarios. También fue necesario identificar eventos de cuasi-heladas y no-heladas con características similares. Esto fue fundamental para contar con un “gold-standard set”, que sirva de base para modelar las situaciones requeridas.

\*Se desarrollaron y validaron modelos no-supervisados de inteligencia artificial. Esto para identificar y caracterizar distintos tipos de eventos de heladas, lo cual fue validado por experto y usuarios. Y fue clave como base para modelos de predicción posteriores. Se incorporó además en esta etapa la variable geográfica con mayor énfasis, considerando ampliación de zonas de estudios.

\*Se validaron y optimizaron diversos modelos predictivos de eventos de heladas basados en modelos supervisados y semi-supervisados. Optimizando en función del tiempo previo necesario para entregar alerta temprana de ocurrencia de heladas, y a la vez minimizando el riesgo a cometer error de predicción, tanto de no predecir una alerta como de generar una falsa alerta, es decir, aquellos casos en que no existió un evento de helada pero el sistema lo considero como tal.

Durante esta etapa se realizaron diversas visitas técnicas para validación de algoritmos y metodología a emplear. Esta fue la etapa metodológica más importante de este objetivo y del proyecto en general.

**OE3: Desarrollar un sistema de información que sea capaz de alimentar y utilizar el modelo de predicción antes generado, para identificar y caracterizar riesgo de ocurrencia de eventos de heladas en zona de estudio**

Para lograr este objetivo se utilizó la siguiente metodología.

\*Empaquetamiento de los diferentes modelos de predicción generado para cada una de las estaciones, para ser incorporado o integrado al sistema de alerta temprana de la Red Agro meteorológica Nacional, y a la propia página del proyecto.

\*Se integraron de manera óptima las distintas componentes informáticas obtenidas de OE-1 y OE-2. Logrando de esta forma un sistema de información, a la cual se le aplicaron pruebas piloto y pruebas en terreno necesarias para asegurar robustez del sistema.

\*Esta etapa fue clave tanto para transferir resultados como para el completo desarrollo del proyecto, con el fin de poder ser utilizado posteriormente de manera eficiente y óptima por el sistema de alerta temprana de heladas que tendrá operativo la RAN o el

Ministerio de Agricultura. En este punto es importante señalar que la metodología empleada es en un lenguaje simple para poder implementarse en cualquier otra plataforma.

**OE4: Desarrollar un modelo efectivo de difusión de los resultados del proyecto y beneficios de contar con un sistema de alerta temprana de heladas.**

Para lograr este objetivo se utilizó la siguiente metodología.

\*Se generó un directorio de potenciales interesados en el sistema, pequeños y medianos agricultores de la zona de estudio (principalmente VII región), los cuales fueron considerados en las diferentes actividades de difusión de los resultados del proyecto

\*Se seleccionó un grupo de usuarios con alto interés para solicitar apoyo en toma de requerimientos en las distintas etapas mencionadas anteriormente, con esto se logró un mantener un feedback real y directo con usuarios finales de resultados del proyecto.

\*Se planificaron dos actividades de difusión de resultados del proyecto, lo cual incluye organización, preparación de material, coordinación con actores involucrados y realización de actividades. Además se participó en un seminario organizado por FIA, con el fin de mostrar resultados.

#### 4. Actividades del proyecto:

No hay discrepancias en cuanto a lo planificado en las actividades, los problemas fueron resueltos en tiempos planificados, lo cual no afectó lo planificado.

Se solicitó una extensión de 30 días para finalizar proyecto debido a que coincide cierre original del proyecto con paros municipales, lo cual afecta la participación de contrapartes en actividades de cierre del proyecto.

<b>CARTA GANTT PROYECTO: Se presenta en base a Objetivos Específicos (OE) y Resultados Esperados (RE). En Rojo se presentan cambios a la propuesta original. Proyecto parte en Julio 2015 – finaliza con extensión el 30 Nov 2016</b>																			
Nº OE	Nº RE	Actividades	Meses ejecución: Julio 2015 – Nov 2016 (17 meses) mes 17 corresponde a extensión solicitada para finalizar el proyecto.																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	1	Adquirir equipamiento computacional y software	X	X	X	X	X												
1	1	Recolectar información de estaciones meteorológicas. Y otros tipos Información	X	X	X	X	X												
1	1	Limpieza y estandarización de datos		X	X	X	X												
1	1	Diseño racional de modelo de base de datos.			X	X	X	X											
1	1	Automatización de actualización de información en base de datos.				X	X	X											
1	1	Base de datos operativa							X										
2	2	Revisión y limpieza exhaustiva de información recolectada		X	X	X	X	X	X	X									
2	2	Identificación y validación de eventos de heladas.			X	X	X	X											

**CARTA GANTT PROYECTO: Se presenta en base a Objetivos Específicos (OE) y Resultados Esperados (RE). En Rojo se presentan cambios a la propuesta original. Proyecto parte en Julio 2015 – finaliza con extensión el 30 Nov 2016**

Nº OE	Nº RE	Actividades	Meses ejecución: Julio 2015 – Nov 2016 (17 meses) mes 17 corresponde a extensión solicitada para finalizar el proyecto.																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
2	2	Visita técnica al extranjero			X	X													
2	2	Modelamiento no-supervisado para caracterización de eventos a predecir.			X	X	X	X	X	X	X								
2	2	Modelamiento supervisado predicción de eventos de heladas de manera eficiente			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
2	2	Modelo a utilizar optimizado.										X	X	X	X				
3	3	Integrar distintas componentes informáticas del sistema									X	X	X	X	X	X			
3	3	Diseño y desarrollo de interfaces con usuario.											X	X	X	X	X	X	
3	3	Empaquetamiento del modelo seleccionado.															X	X	
4	4	Generar directorio de potenciales usuarios sistema		X	X	X				X	X								
4	4	preparación de material para presentar en congresos nacionales				X	X	X					X	X	X				
4	4	Organización de actividades de difusión											X	X	X	X	X	X	
4	4	Coordinar preparación de material gráfico para actividades de difusión.									X	X	X	X	X				

## 5. Resultados del proyecto:

### A. Base Datos operativa con información agro meteorológica

Se cuenta con una base de datos operativa con información histórica de 20 estaciones meteorológicas, de diferentes comunas de la VI y VII región.

Adicionalmente se cuenta con una interfaz usuario de esta base datos de modo de generar consultas y de facilitar la búsqueda de eventos de heladas históricos en distintas zonas de interés. Esta base de datos además está diseñada de modo de poder integrar información de nuevas estaciones de manera simple y sistematizada de modo de facilitar procesamiento y limpieza de información.

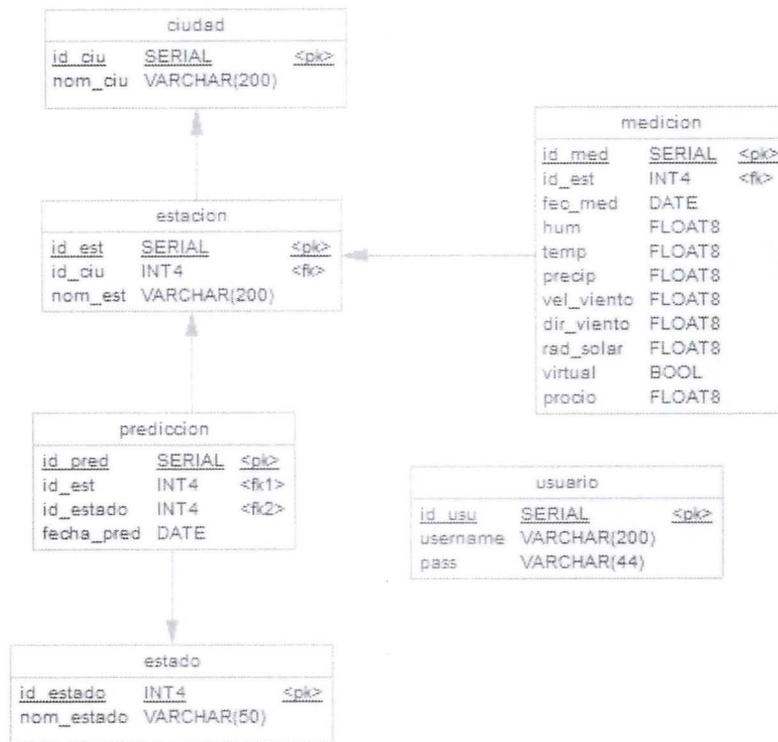
Es importante mencionar que para lograr esta base de datos operativa se realizaron las siguientes actividades:

- Recolectar información de estaciones meteorológicas pertenecientes a la institución ejecutora y otras estaciones meteorológicas de las regiones VI y VII que están asociadas a la RAN.
- Limpieza y estandarización de datos: Con el fin de lograr una sistematizado para procesar y limpiar información de nuevas estaciones de manera semi-automática
- Diseño racional de modelo de base de datos.

La base de datos está diseñada e implementada para almacenamiento y manejo de información agro-meteorológica de estaciones meteorológicas automáticas de interés, la cual ya se encuentra operativa. Con vistas asociadas a consultas de interés para los agricultores del Maule que son contraparte interesada de este proyecto.

Actualmente se cuenta con una página web, en las cual se depositaran las bases de datos de las estaciones meteorológicas automáticas, la página es: web: <http://appsbio.otalca.cl/fia/>

El modelo físico de la base de datos se muestra a continuación:



El modelo contempla mantener información sobre las estaciones de monitoreo en las ciudades de interés. Cada estación genera registros de diferentes variables meteorológicas que son almacenadas en la base de datos. Las variables consideradas son: temperatura, humedad, porcentaje de precipitaciones, velocidad del viento, dirección del viento y radiación solar. La periodicidad de los registros es de 15 minutos.

Notar que: Nuevas variables se pueden incorporar en estos niveles considerados en este diseño. De la misma forma el diseño permite integrar nuevos niveles de información asociados a nuevas variables que se incorporen próximamente.

En la página se puede encontrar la base datos de las diferentes estaciones automáticas.

Mediciones

Estación  Año  Medición

Mínimas/h	Pelarco UTALCA Quepo UTALCA San Clemente UTALCA Anakena Meteovid La Rosa Meteovid Casa Silva Meteovid Lapostolle-Apaltta Meteovid Ventisquero-Apaltta Meteovid Montes Meteovid	Gráfico Mínimas/Máximas Mes
Mínimas/d	Ventisquero-Patacon Meteovid Conosur Meteovid Ventisquero-Peralillo Meteovid Hacienda Araucano Meteovid Viñedos Puertas Meteovid Terramater Meteovid San Pedro-Molina Meteovid	Gráfico Mínimas/Máximas Día
Condición	Arestti Meteovid El Aromo Meteovid San Pedro-Pencahue Meteovid J. Bouchon Meteovid	

Además cuenta con una ventana que permite ver las mediciones de las diferentes estaciones automáticas meteorológicas, en diferentes años y dentro de cada una de ellas se observan los datos de temperatura, humedad relativa, radiación, precipitación y velocidad del viento (que son las mediciones que se realizan en las estaciones antes mencionadas).

Mediciones

Estación  Año  Medición

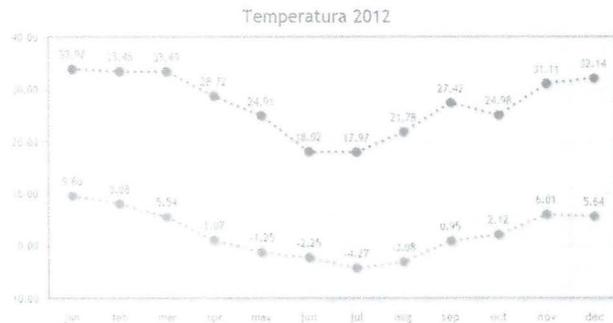
Mínimas/Máximas Mes	Temperatura Humedad Radiación Precipitación Velocidad del viento	Gráfico Mínimas/Máximas
---------------------	--	-------------------------

Para conocer por ejemplo las temperaturas máximas o mínimas en alguna estación en particular, la página permite seleccionar la estación, y el año de interés, obteniendo el siguiente resultado:

Minimas/Máximas Mes

Mes	Min	Max
jan	9.6	33.92
feb	8.08	33.46
mar	5.54	33.43
apr	1.07	28.72
may	-1.25	24.91
jun	-2.25	18.02
jul	-4.27	17.97
aug	-3.08	21.78
sep	0.95	27.42
oct	2.12	24.88
nov	6.01	31.11
dec	5.64	32.14

Gráfico Minimas/Máximas Mes



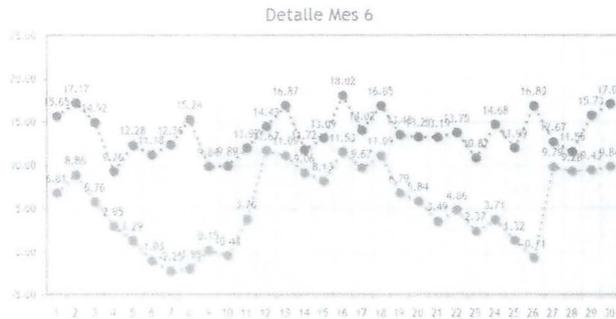
Los datos mostrados anteriormente además de poder ser visualizado, pueden ser descargados.

Cuando existe una temperatura que sea de interés, en este caso temperatura menor a 0 °, que indican un evento de “helada” se puede obtener las temperaturas diarias del mes donde se presenta dicho evento, como se muestra a continuación, donde se observa en rojo las mínimas temperaturas y en azul las máximas.

Minimas/Máximas Día

Día	Min	Max
1	6.81	15.65
2	8.86	17.17
3	5.76	14.92
4	2.95	9.26
5	1.29	12.28
6	-1.03	11.18
7	-2.25	12.36
8	-1.98	15.24
9	0.15	9.84
10	-0.44	9.89

Gráfico Minimas/Máximas Día



Previous  2 3

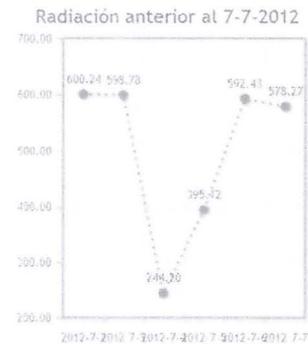
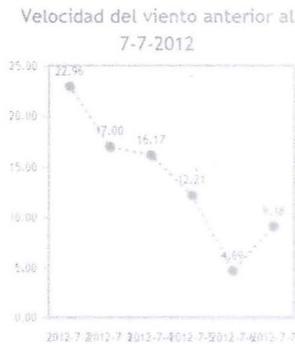
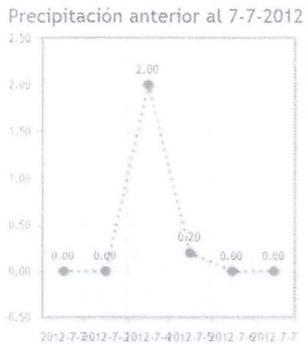
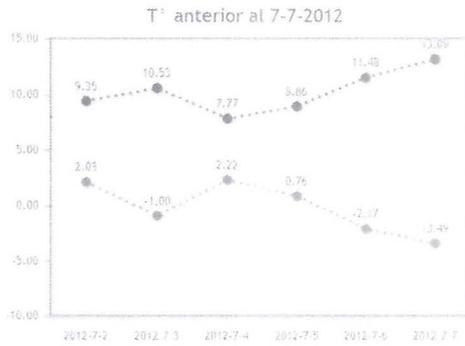
Dentro de la página se puede obtener detalles y características meteorológicas previas (5 días previos) para algún evento de interés, como se muestra a continuación:

Condiciones 5 días antes

Día	Min T°	Max T°	Min Hum	Max Hum	Precip	Vel viento	Radiación
2012-7-2	2.03	9.35	54.16	95.85	0	22.96	600.24
2012-7-3	-1	10.53	53.87	95.14	0	17	598.78
2012-7-4	2.22	7.77	73.63	99.93	2	16.17	244.2
2012-7-5	0.76	8.86	60.56	99.93	0.2	12.21	395.12
2012-7-6	-2.17	11.48	48.47	99.93	0	4.69	592.43
2012-7-7	-3.49	13.09	51.48	99.93	0	9.18	578.27

Previous 1 Next

Estos datos, además se pueden visualizar mediante gráficos, como se presenta a continuación:



Además la base de datos cuenta con una ventana llamada "Consulta", en la cual se encuentran los requerimientos de agricultores zonas de interés. Estas

consultas han sido solicitadas por usuarios potenciales del sistema y permitirán realizar una mejor difusión de los resultados del proyecto. Las consultas están asociadas a los siguientes temas (la mayoría de estas se encuentran en línea):

- Días con lluvia mayor a 10 mm
- Grados día /mes
- Horas frío / día
- N° días con T° sobre (25° - 30° - etc)
- Radiación acumulada (día)
- Promedio Humedad (día).

## **B. Modelo de predicción de eventos de heladas**

Se realizó una revisión y limpieza exhaustiva de información recolectada, contando con un sistema de procesamiento de nueva información que será integrada al proyecto.

Luego se ha realizado una identificación y validación de eventos de heladas, automatizado el proceso de búsqueda de heladas desde la base de datos. Incluyendo filtro de errores asociados a malas mediciones que guardan las estaciones o falta de información en los registros de estas.

- **Modelamiento no-supervisado**

Se estimó en base a la identificación y caracterización de eventos de heladas y la posibilidad de identificar estos eventos, desde la base de datos descrita en la descripción del Resultado N° 1 del proyecto.

Se identificaron y aplicaron novedosas técnicas de modelamiento que permiten integrar de manera óptima diferentes tipos de algoritmos y variables en un mismo marco de trabajo. Se realizaron diversos análisis asociados a caracterizar eventos de heladas en base a diferentes propiedades y variables identificadas. Esto asociado a temperaturas, humedad, punto de rocío, intensidades y duración de los eventos. Además se incluyeron datos de caracterización como por ejemplo la hora a la que comienzan los eventos de heladas.

De la caracterización de eventos de heladas, en cuanto a su intensidad y duración de estos eventos. Se han encontrados interesantes relaciones entre estas variables. En cuanto a comportamientos distintivo entre la ocurrencia de eventos de heladas y de estados con temperaturas cercanas a una helada.

Se realizaron las caracterizaciones realizadas a los eventos de heladas, durante los años 2010- 2015 de las diferentes estaciones a modelar, a continuación se presenta a modo de ejemplo la caracterización de eventos de heladas para la estación automática meteorológica general.

En la estación antes mencionada se encontraron 143 eventos de helada, considerando que las heladas son eventos con temperatura menor o igual a 0°.

La distribución de acuerdo a los años y meses se muestra a continuación:

Numero de helados en cada año

Año	n° Heladas	Eventos
2010	28	
2011	29	
2012	20	
2013	36	
2014	13	
2015	17	
Total	143	

Numero de heladas en cada mes entre 2010-2015

Mes	n° Heladas	Eventos
Enero	0	
Febrero	0	
Marzo	0	
Abril	1	
Mayo	13	
Junio	34	
Julio	50	
Agosto	36	
Septiembre	9	
Octubre	0	
Noviembre	0	
Diciembre	0	
Total	143	

Detalles de eventos durante cada mes en los diferentes años

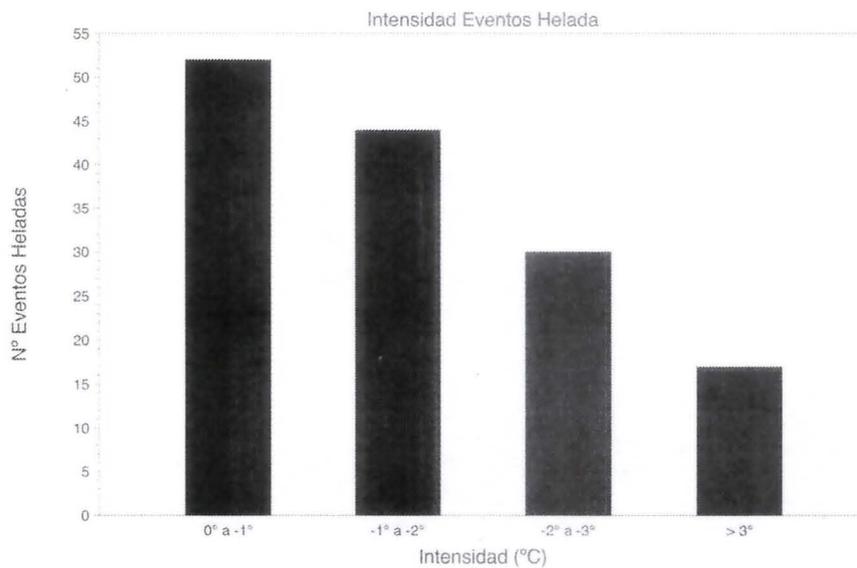
Mes	Eventos 2010	Eventos 2011	Eventos 2012	Eventos 2013	Eventos 2014	Eventos 2015	Total
Enero	0	0	0	0	0	0	0
Febrero	0	0	0	0	0	0	0
Marzo	0	0	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	1	0	1
Mayo	0	2	1	5	2	3	13
Junio	3	7	5	9	4	6	34
Julio	14	11	9	7	4	5	50
Agosto	9	8	5	10	2	2	36
Septiembre	2	1	0	5	0	1	9
Octubre	0	0	0	0	0	0	0
Noviembre	0	0	0	0	0	0	0
Diciembre	0	0	0		0	0	0
Total	28	29	20	36	13	17	143

En la tabla antes mostrada, se observa que los dos últimos años, la cantidad de eventos de heladas ha disminuido considerablemente, además se puede concluir que los eventos de helada ocurren entre los meses de mayo y agosto principalmente.

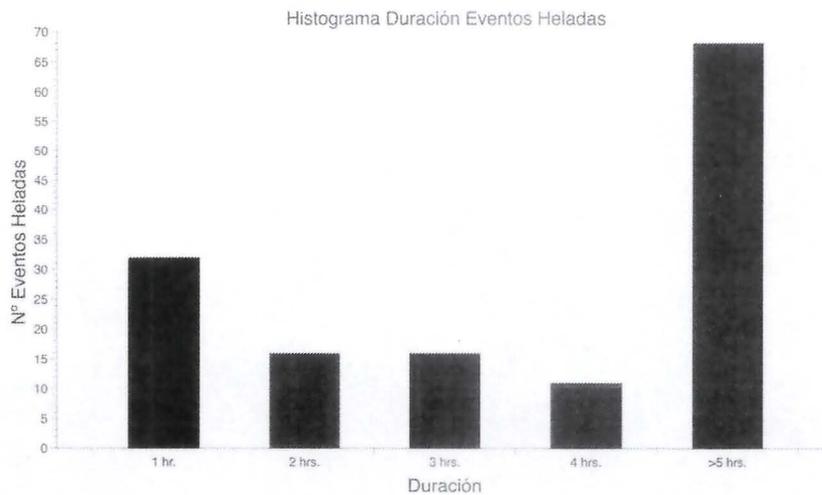
Una cifra similar de eventos es encontrada en otras estaciones. Esto en cuanto al número de eventos registrados y a los períodos y fechas de ocurrencia de estas.

Dentro las 143 heladas, la que presenta la menor temperatura es de  $-4.88^{\circ}\text{C}$ , el promedio en cuanto a la intensidad de estas heladas es de  $1,6^{\circ}\text{C}$  y la duración promedio es de 4 horas y 30 minutos.

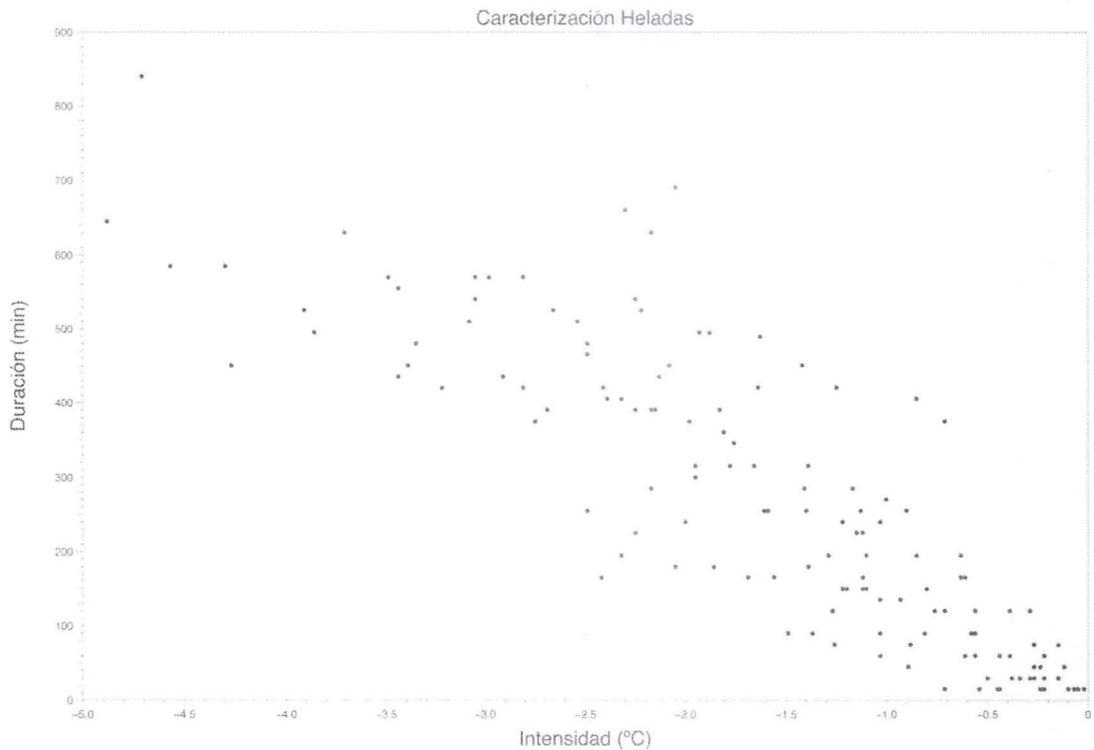
La distribución en cuanto a intensidad de las heladas muestra que más del 65% de las heladas se encuentra en intensidad de  $0^{\circ}$  a  $2^{\circ}$ , como se muestra en el siguiente histograma



Además al analizar el grafico de duración de las heladas, se puede observar que alrededor del 50% de las heladas tiene una duración mayor a 5 horas, como se puede observar a continuación.



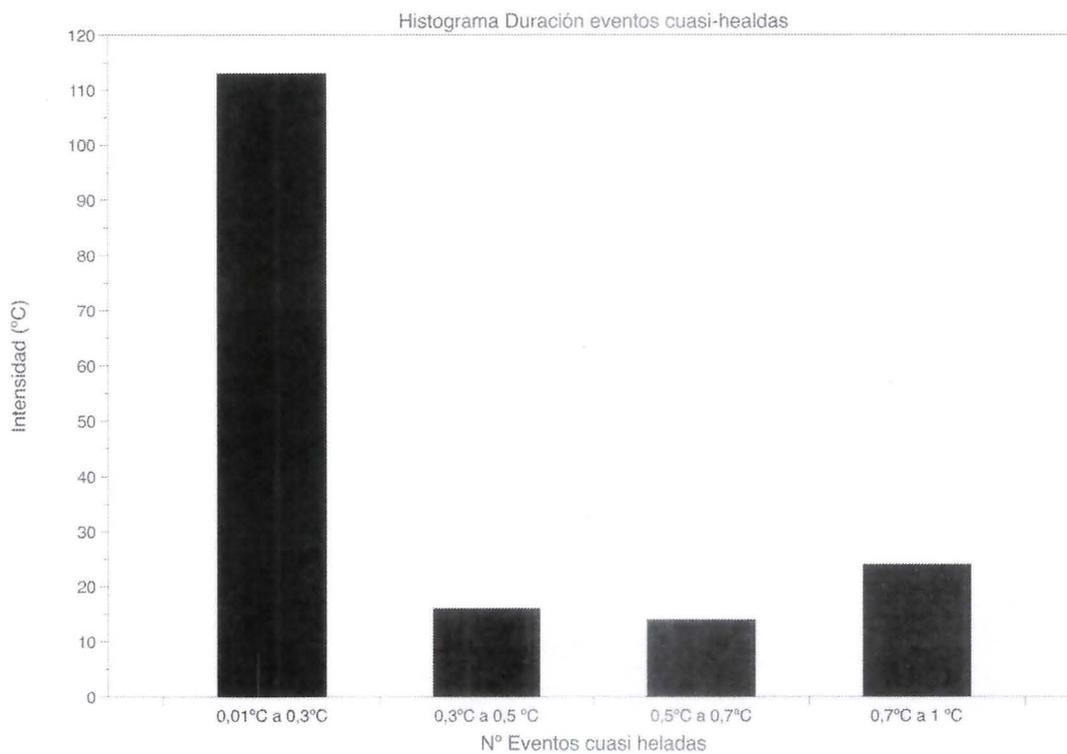
Se realizó un análisis considerando la intensidad y la duración de los eventos, observando una tendencia que a menor duración menor es la intensidad del evento.



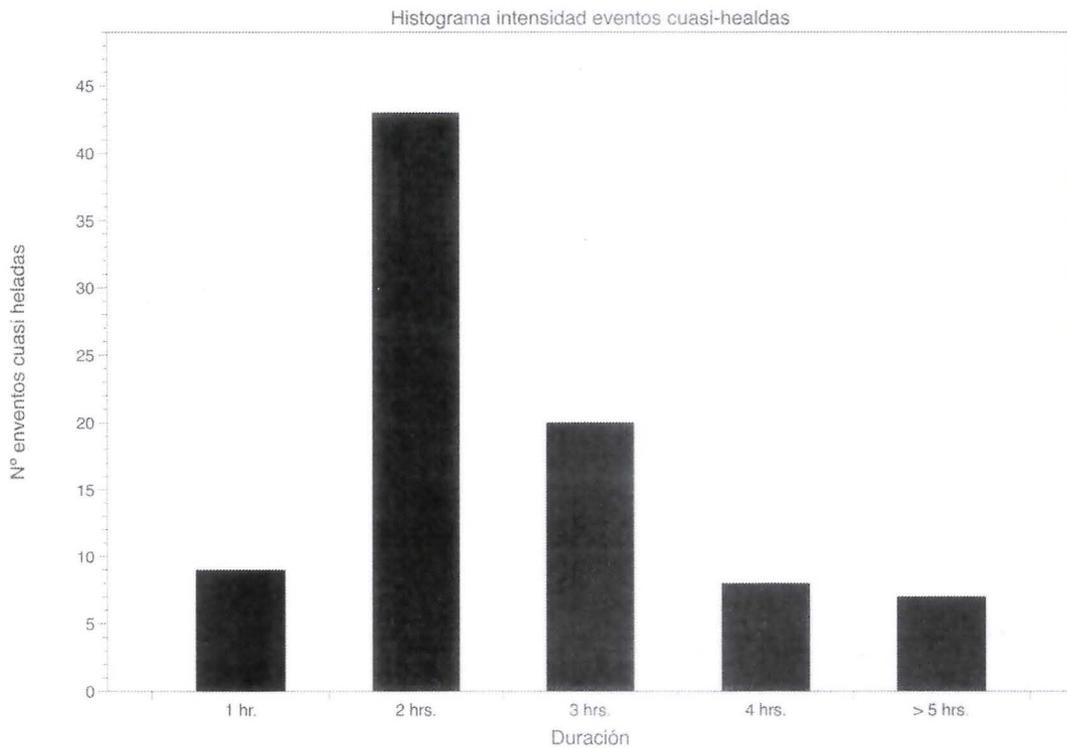
En este caso se aprecia que existe una cierta co-relación de tipo lineal entre la intensidad y duración de las heladas registradas en esta estación. Esto resulta interesante debido a que es posible encontrar una cierta relación entre estas variables que favorecería los resultados obtenidos en las siguientes etapas de modelamiento predictivo de estos eventos.

Por otra parte, es importante mencionar que se realizó el estudio de caracterización de los eventos que eran cuasi heladas, es decir, aquellos eventos con temperaturas mayores a  $0^{\circ}\text{C}$  pero menores a  $1^{\circ}\text{C}$ , obteniendo 168 eventos que tenían estas condiciones.

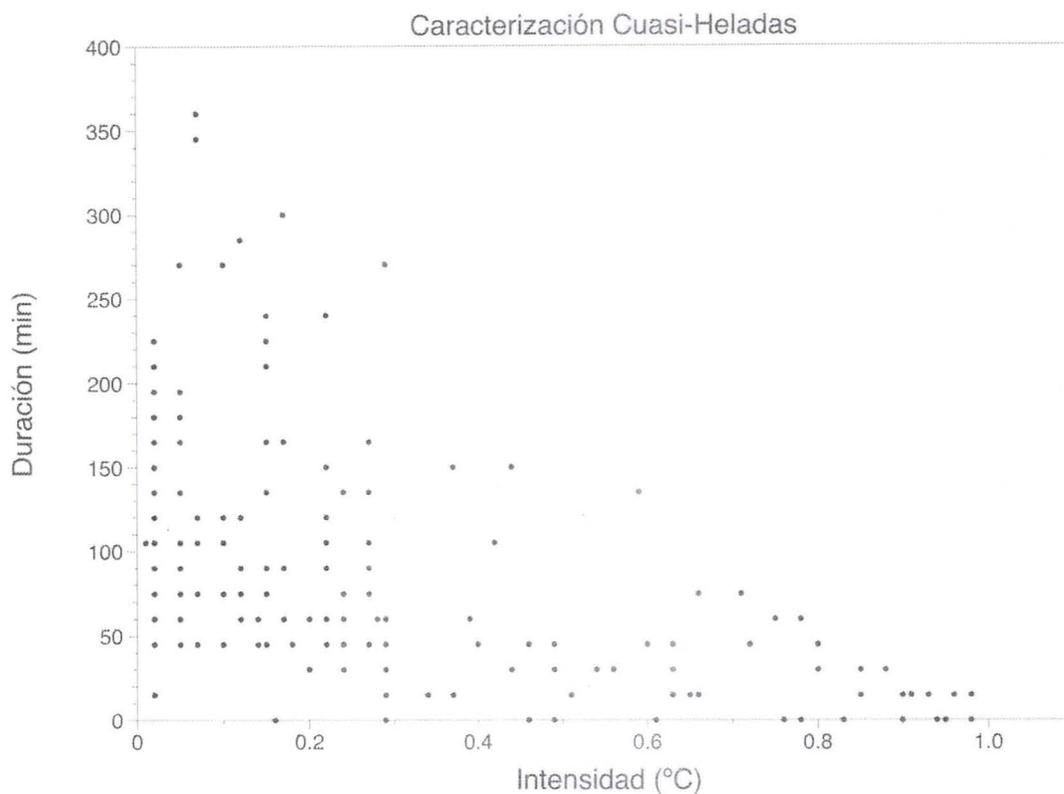
La distribución de intensidades muestra que más del 65% de los eventos de cuasi helada tiene una intensidad mayor a  $0^{\circ}\text{C}$  pero menor o igual a  $0,3^{\circ}\text{C}$ . Esto nos habla de una especie de banda cercana a la ocurrencia de heladas definidas tradicionalmente (a  $0^{\circ}\text{C}$ ) hasta los  $0,3^{\circ}\text{C}$ . Esto será considerado sin duda en la próxima etapa de modelamiento predictivo de estos eventos.



Al realizar el análisis de la distribución dependiendo de la duración de las heladas, se puede concluir que el mayor número de eventos dura 2 horas, sin embargo el número de eventos es muy similar cuando duran 1 hora, 4 horas o 5 o más horas, como se observa en el grafico siguiente.



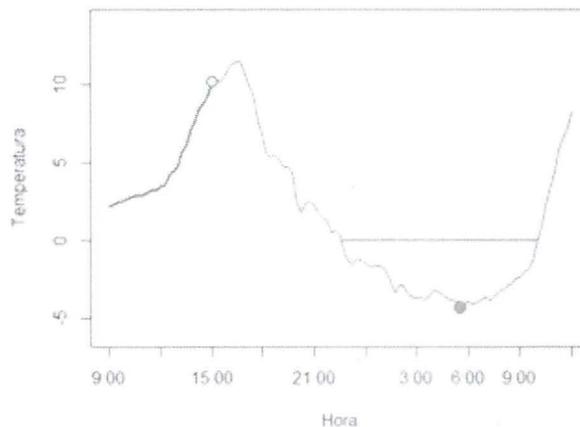
Al igual que el caso de los eventos de heladas, en los eventos de cuasi heladas se realizó un análisis considerando la intensidad y la duración de los eventos, observando que los eventos de hasta  $0,3^{\circ}\text{C}$  tienen una duración de alrededor de 5 horas, sin embargo la temperatura comienza a aumentar, la duración disminuye notablemente, debido a que indica, que la temperatura va en aumento en forma más rápida. Lo cual confirmaría la idea de una cierta banda cercana a los eventos de heladas, que se comporta de manera similar (hasta el rango de los  $0,3^{\circ}\text{C}$ ).



- Modelamiento supervisado

Se utilizaron datos de humedad relativa, temperatura promedio, mínima y máxima, radiación solar, punto de rocío, velocidad y dirección del viento. Los datos corresponden a un periodo de 6 años (2010-2015) de acuerdo a la disponibilidad de información de cada una de las 20 EMAs evaluadas hasta el momento. Los datos antes mencionados se depositaron en una base de datos descrita anteriormente.

Se consideró como ocurrencia de un evento de helada, cuando las temperaturas mínimas registradas en una determinada EMA alcanzan valores iguales o menores a los 0 °C.



*Figura 1: Ejemplo de una helada ocurrida el día 4 de Julio de 2015, registrada en la EMA Panguilemo. La línea azul muestra los datos utilizados para el modelo, el punto verde (15.00 hrs) indica la hora en la que se entrega la alerta de helada. La línea roja muestra la duración del evento de helada, mientras que el punto en rojo muestra la intensidad de ésta*

Para entrenar el modelo, se consideraron variables agroclimáticas desde las 6:00 am del día anterior hasta la 14 pm, y se entregó una primera predicción de helada a las 15.00 hrs. Luego existen 2 “confirmaciones” de posibles eventos de heladas a las a las 18 pm y re confirmar a las 21 horas.

Detalles de este procedimiento se pueden observaren el anexo 3. Cabe mencionar que el esquema general de clasificación fue descrito con más detalle en dicho anexo.

Esta caracterización se desarrolló para cada una de las EMAS evaluadas durante el período 2010-2015. A partir de esto datos se generaron dos conjuntos de datos para cada EMA, uno de eventos de heladas (clase 1) y otro de “no heladas” (clase 2).

Para cada evento, se calcularon los distintos atributos o variables asociadas a cada evento de Helada y No-Helada. Estos corresponden a promedios por hora de humedad relativa, temperatura mínima y máxima, radiación solar, punto de rocío, velocidad y dirección del viento.

Se utilizó el proceso de SMOTE<sup>1</sup>, que es un algoritmo utilizado para aumentar la sensibilidad de un clasificador a la clase minoritaria. Esto debido a un notable impacto de desbalance de clases asociado a que el número de eventos de heladas es significativamente inferior al número de eventos de no-heladas producidos históricamente en los período de otoño-invierno en nuestro país.

Para el diseño del modelo de clasificación se probaron diversos algoritmos de clasificación. De acuerdo a los resultados de performance obtenidos por cada modelo de clasificación se realizó una comparación de los resultados para encontrar el algoritmo que nos entrega una mejor performance en la tarea estudiada<sup>2</sup>, en este caso se utilizó el método RandomForest, con la siguientes características: Número de

árboles óptimo 50 y valores por defecto en implementación en paquete de R utilizando la librería RandomForest<sup>4</sup>.

Random Forest<sup>3</sup> es un algoritmo de aprendizaje basado en árboles de decisión, este método se utilizó para predecir ocurrencia de fenómenos o sucesos de heladas puntuales, es decir, si en un determinado día ocurrirá o no una helada.

Evaluación del modelo de clasificación.

Para realizar las distintas evaluaciones de los modelos, se obtuvieron tasas de desempeño que ayudan a determinar qué tan bien desarrollo la tarea cada modelo.

Se determinó usar la metodología de validación cruzada, esta consiste en dividir el set de datos de entrenamiento en n subconjuntos, conservando las proporciones de cada clase en el set de entrenamiento para cada uno de los subconjuntos, luego se utilizan n-1 subconjuntos para entrenar el modelo y se evalúa este modelo en el subconjunto que quedó sin uso (subconjunto n); este proceso se realiza n veces, con la finalidad de evaluar todos los ejemplos del set de entrenamiento. A partir de esta metodología se logran obtener datos fidedignos acerca del desempeño del modelo, ya que los datos de entrenamiento son distintos a los de testeo.

De los resultados de validación cruzada se obtuvieron diversas medidas de desempeño tales como:

- Eficiencia global (EG) del modelo, que corresponde a tasa de éxito general de la predicción.
- Tasa de Heladas No Detectadas (HND), que corresponde a porcentaje o tasa de eventos de heladas que no fueron detectadas por el modelo.
- Tasa de falsas alertas (FA), que corresponde a porcentaje o tasa de eventos de no-heladas incorrectamente predichas.

De esta forma con estos indicadores nos podemos hacer una idea del funcionamiento general del modelo entrenado y optimizado en cada EMA estudiada. Y al mismo tiempo tener una indicación clara de los errores obtenidos en cada una de las clases definidas (helada y no-helada).

Es importante mencionar que este modelo se ha evaluado en 20 estaciones meteorológicas de la VI y VII región, obteniendo en todos una performance mayor al 90% en todos los casos.

Los atributos utilizados en este modelo son:

- Temperatura
- Humedad
- Radiación Solar
- Dirección y velocidad del viento
- Punto de rocío.

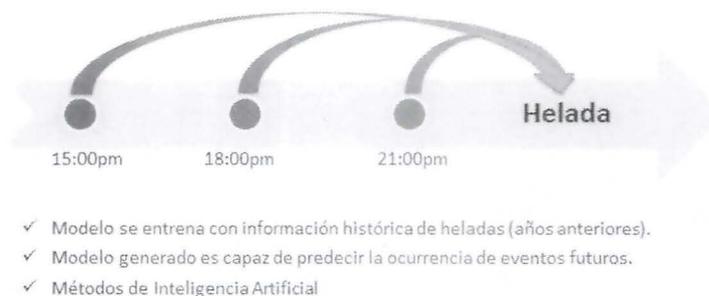
El modelo supervisado para predecir probabilidad de ocurrencia de helada un día cualquiera, se presenta en el siguiente esquema.

## Modelamiento Predictivo de Eventos de Heladas



Es importante mencionar que dependiente la estación meteorológica, los datos se encuentran disponibles cada 15 o 60 minutos.

Y el procedimiento para predecir si una helada ocurrirá se presenta en el siguiente diagrama:



Durante el proceso de modelamiento predictivo de eventos de heladas. Se evaluarán distintas configuraciones respecto a los rangos de tiempo asociados a: i) cuando entregar la predicción (3, 6, 12, y 24 hrs. antes); y ii) cuanto tiempo de información es necesaria para entrenar un buen modelo predictivo (3, 6, 9, 12, 24 hrs. antes).

Concluyendo que la forma óptima de entregar la predicción es a las 15.00 horas, luego confirmar la predicción a las 18:00 horas y finalmente corroborar dicha predicción a las 21:00 horas. Por otra parte se concluyó que para generar cada una de las alertas el modelo debe recibir datos provenientes a 9 horas antes de la hora en que se entregara la alerta.

Los resultados para las 20 EMAs se muestran en la siguiente tabla:

Nombre Estación	Comuna	Región	Eficiencia Global	Heladas no Detectadas	Falsas Alertas
3 esquinas	Molina	VII	91,5%	4,31%	3,87%
Lontue	Molina	VII	95,3%	3,21%	2,89%
San Rafael	San Rafael	VII	93,4%	4,98%	3,21%
San Pedro	Pencahue	VII	91,5%	4,3%	3,19%
Colbún	Colbún	VII	93,6%	4,3%	3,38%
Longavi Norte	Longavi	VII	93,5%	4,56%	3,85%
Longavi Sur	Longavi	VII	92,4%	4,87%	3,23%
San Javier	San Javier	VII	93,3%	5,55%	7,03%
Yerbas Buenas	Yerbas Buenas	VII	94,6%	3,25%	2,95%
Tutuquén	Curicó	VII	91,1%	4,9%	3,21%
San Fernando	San Fernando	VI	91,8%	4,6%	3,47%
Requinoa	Requinoa	VI	95,3%	3,5%	2,3%
Chimbarongo	Chimbarongo	VI	97,2%	2,17%	1,98%
Granero Norte	Graneros	VI	89,5%	5,45%	4,12%
Mostazal	Mostazal	VI	91,7%	4,2%	3,98%
Chépica	Chépica	VI	94,5%	3,86%	2,97%
Santa Cruz	Santa Cruz	VI	92,1%	4,08%	3,21%
Palmilla	Palmilla	VI	93,7%	3,99%	2,98%
Los Lingües	San Fernando	VI	94,3%	3,98%	3,01%
Lolol	Lolol	VI	88,9%	5,32%	4,09%

### C. Integrar distintas componentes informáticas del sistema

Se trabajó en la forma homogenizar la información para integrar las distintas variables que utiliza el modelo, con el fin de que sean estimadas de manera automática y puedan estar disponibles, tanto en el sitio correspondiente, además de en un sitio propio de la Universidad de Talca desarrollado en el marco de este proyecto. El sitio de la Universidad corresponde al mismo generado para gestionar la base de datos del proyecto y se encuentra disponible en <http://appsbio.otalca.cl/fia/>

Para la realización de predicción de las heladas y posterior consulta de sus resultados son varios los procesos que deben realizarse, los cuales se muestran a continuación.

#### Arquitectura

La solución considera la interacción con diferentes fuentes de información. La figura 2 muestra la arquitectura por capas correspondiente:

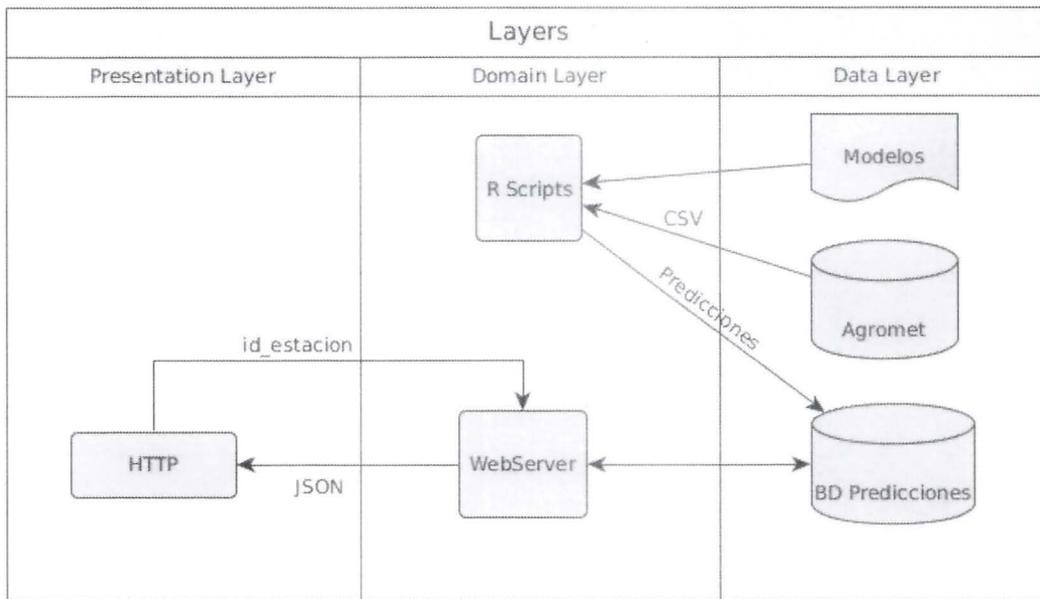


Figura 2: Arquitectura por capas de la solución

A continuación se describen los procesos y la información que fluye en cada capa de la arquitectura:

Esta es la interfaz con la cual los usuarios finales deben interactuar para obtener información de predicciones. El usuario, mediante una solicitud HTTP ([https://servidor/?id\\_est=id](https://servidor/?id_est=id)) envía el identificador de la estación meteorológica que se desea consultar. El resultado de la consulta será enviado en formato JSON<sup>5</sup>.

Con los resultados en este formato será más fácil recuperar, procesar y desplegar la información de las predicciones. Las llaves que se devuelven en la respuesta son:

- Success: Puede tener dos valores; true si se ha podido realizar la consulta o false si algún error ocurrió.
- Estación: Nombre de la estación consultada.
- Id estado, nom estado: Pueden tener tres valores; 1 => y => Hay probabilidad de helada, 2 => n => No Hay probabilidad de helada, 3 => sd => No hay datos para la predicción.
- Horario predicción: Horario al cual corresponde la información de la predicción.

Los pasos para realizar las predicciones y atender a dichas consultas se presentan a continuación:

Realizar predicciones: Para realizar las predicciones se obtienen datos de mediciones desde el servidor AGROMET<sup>6</sup>. Tales mediciones se utilizan como datos de entrada para los Modelos de predicción correspondientes, los cuales son ejecutados

utilizando scripts escritos en R3. Los resultados de las predicciones se almacenan en una Base de datos.

La ejecución de estos scripts para obtener las predicciones está programada diariamente en horarios que permitan descargar los datos desde AGROMET.

Son cuatro los horarios establecidos: 12:00, 15:00, 18:00 y 21:00 horas.

Atender consultas de predicciones: Los usuarios consultaran el Servidor Web, quien con la información del edificador de la estación meteorológica consultara la base de datos de predicciones. Para determinar a cual horario de predicción corresponde la consulta, se establecen los siguientes rangos, dependiendo de la hora de la consulta (formato 24 horas):

- Si hora < 15:00, horario de predicción 12:00.
- Si hora >= 15 y hora < 18, horario de predicción 15:00.
- Si hora >= 18 y hora < 21, horario de predicción 18:00.
- Si hora >= 21 y hora < 23, horario de predicción 21:00.

El resultado de la consulta se entrega en formato JSON.

Los modelos de predicción a utilizar fueron entrenados con anterioridad en los horarios de predicción antes descritos.

El servidor AGROMET es un servidor web que puede ser consultado por datos de mediciones. El resultado esta formateado en archivos CSV<sup>7</sup>

Se creó la vista *view* predicciones diarias que mantiene información de las predicciones de la fecha actual y que se puede consultar filtrando por identificador de la estación y el identificador del horario de predicción para obtener información de una predicción en particular.

También se creó la función *insertar predicción()* que permite un manejo más fácil de la actualización de las predicciones que arrojen los modelos.

Los resultados de la forma visual en que se observa las predicciones se muestran a continuación

# Predicciones 17-09-2013

Monitor Histórico

About

<p>San Fernando [58] [2013-09-17 15:23:45]</p> <p>Horario Predicción: 15:00</p> <p>Baja Probabilidad</p> 	<p>Chimbarongo [60] [2013-09-17 15:23:45]</p> <p>Horario Predicción: 15:00</p> <p>Alerta Helada</p> 	<p>Granero Norte [62] [2013-09-17 15:23:45]</p> <p>Horario Predicción: 15:00</p> <p>Alerta Helada</p> 	<p>Mostazal [80] [2013-09-17 15:23:45]</p> <p>Horario Predicción: 15:00</p> <p>Alerta Helada</p> 	<p>Chépica [74] [2013-09-17 15:23:45]</p> <p>Horario Predicción: 15:00</p> <p>Alerta Helada</p> 	<p>Santa Cruz [76] [2013-09-17 15:23:45]</p> <p>Horario Predicción: 15:00</p> <p>Alerta Helada</p> 
<p>Lolol [77] [2013-09-17 15:23:45]</p> <p>Horario Predicción: 15:00</p> <p>Alerta Helada</p> 	<p>Palmilla [79] [2013-09-17 15:23:45]</p> <p>Horario Predicción: 15:00</p> <p>Alerta Helada</p> 	<p>Requinoa [82] [2013-09-17 15:23:45]</p> <p>Horario Predicción: 15:00</p> <p>Alerta Helada</p> 	<p>3 Esquinas [80] [2013-09-17 15:23:45]</p> <p>Horario Predicción: 15:00</p> <p>Alerta Helada</p> 	<p>Lontué [92] [2013-09-17 15:23:45]</p> <p>Horario Predicción: 15:00</p> <p>Alerta Helada</p> 	<p>San Rafael [94] [2013-09-17 15:23:45]</p> <p>Horario Predicción: 15:00</p> <p>Alerta Helada</p> 
<p>San Pedro [95] [2013-09-17 15:23:45]</p> <p>Horario Predicción: 15:00</p> <p>Baja Probabilidad</p> 	<p>Yerbas Buenas [97] [2013-09-17 15:23:45]</p> <p>Horario Predicción: 15:00</p> <p>Alerta Helada</p> 	<p>Colbún [96] [2013-09-17 15:23:45]</p> <p>Horario Predicción: 15:00</p> <p>Baja Probabilidad</p> 	<p>Lungavi Norte [100] [2013-09-17 15:23:45]</p> <p>Horario Predicción: 15:00</p> <p>Alerta Helada</p> 	<p>Longavi Sur [101] [2013-09-17 15:23:45]</p> <p>Horario Predicción: 15:00</p> <p>Alerta Helada</p> 	<p>San Javier [105] [2013-09-17 15:23:45]</p> <p>Horario Predicción: 15:00</p> <p>Alerta Helada</p> 
<p>Los Lingues [229] [2013-09-17 15:23:45]</p> <p>Horario Predicción: 15:00</p> <p>Sin Datos</p>	<p>Tutuquén [291] [2013-09-17 15:23:45]</p> <p>Horario Predicción: 15:00</p> <p>Sin Datos</p>				

## Predicciones 02-09-2016

Monitor Histórico

About

San Fernando [58] [2016-09-02 15:23:17]	Chimbarongo [60] [2016-09-02 15:23:17]	Granero Norte [62] [2016-09-02 15:23:21]	Mostazaí [63] [2016-09-02 15:23:21]	Chépica [74] [2016-09-02 15:23:21]	Santa Cruz [76] [2016-09-02 15:23:21]
Horario Predicción: 15:00	Horario Predicción: 15:00				
Baja Probabilidad	Baja Probabilidad	Sin Datos	Alerta Helada	Baja Probabilidad	Alerta Helada
					
Lolol [77] [2016-09-02 15:23:27]	Palmilla [79] [2016-09-02 15:23:21]	Requinoa [82] [2016-09-02 15:23:17]	3 Esquinas [83] [2016-09-02 15:23:01]	Lontué [92] [2016-09-02 15:23:01]	San Rafael [94] [2016-09-02 15:23:01]
Horario Predicción: 15:00	Horario Predicción: 15:00				
Alerta Helada	Baja Probabilidad	Alerta Helada	Alerta Helada	Alerta Helada	Alerta Helada
					
San Pedro [95] [2016-09-02 15:23:23]	Yerbas Buenas [97] [2016-09-02 15:23:17]	Colbón [98] [2016-09-02 15:23:23]	Longavi Norte [100] [2016-09-02 15:23:03]	Longavi Sur [101] [2016-09-02 15:23:03]	San Javier [105] [2016-09-02 15:23:03]
Horario Predicción: 15:00	Horario Predicción: 15:00				
Alerta Helada	Alerta Helada	Baja Probabilidad	Alerta Helada	Alerta Helada	Alerta Helada
					
Los Lingues [229] [2016-09-02 15:23:21]	Turuquén [291] [2016-09-02 15:23:17]				
Horario Predicción: 15:00	Horario Predicción: 15:00				
Baja Probabilidad	Alerta Helada				
					

### D. Actividades difusión sistema alerta temprana

Se trabajó en recolectar información de interés para los usuarios potenciales del proyecto entre agricultores del Maule. Esto se ha traducido en una serie de consultas de interés que los potenciales usuarios han solicitado incorporar a la plataforma web (que es parte del sistema de información) que se desarrolló en el marco de este proyecto.

Con el fin de desarrollar un modelo efectivo de difusión de los resultados, se trabajó en conjunto con agricultores, los cuales han presentado sus requerimientos, por ejemplo tipos de consultas frecuentes y necesarias para ellos como se presenta a continuación:

- Días con lluvia mayor a 10 mm
- Grados día /mes
- Horas frío / día
- N° días con T° sobre (25° - 30° - etc)
- Radiación acumulada (día)
- Promedio Humedad

El resultados de las preguntas antes presentadas se pueden obtener, en la base de datos (<http://appsbio.otalca.cl/fia>), en una pestaña llamada "consultas".

Por ejemplo para obtener la radiación solar acumulada, se deben seguir los siguientes pasos:

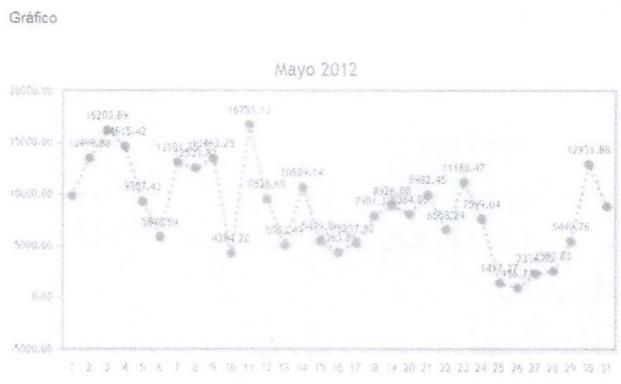


School of Bioinformatics Engineering | Department of Bioinformatics | Universidad de Talca | Talca, Chile

Luego se debe seleccionar la estación, año y mes obteniendo el siguiente resultado:

Radiación	
Day	Acumulado
1	9884.75
2	13499.88
3	16203.69
4	14615.42
5	9307.43
6	5848.59
7	13101.35
8	12533.82
9	13463.25
10	4284.28
11	16753.13

Showing 1 to 11 of 31 entries



Por otra parte durante el desarrollo del proyecto se participó en 3 eventos de difusión, dos de ellos fueron creados por el grupo perteneciente a la iniciativa.

La primera presentación se realizó en el marco del seminario internacional: "MONITOREO, CONTROL Y MANEJO DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS EN LOS SISTEMAS AGRÍCOLAS", desarrollado el día 25 de Mayo 2016, en el Centro de Eventos Lircay, Talca. Impulsado por la Subsecretaría Agricultura - Fundación para la Innovación Agraria, FIA. La presentación para dicho evento se encuentra en el anexo 1

Además el director del proyecto, desarrollo dos seminarios con el fin de mostrar los resultados a la comunidad regional.

El primer seminario "Eventos climáticos de heladas, un método de alerta temprana", en el marco de la iniciativa FIA. Se realizó el jueves 4 de agosto, a las 10:30 horas, en el Salón del edificio de la Dirección de Desarrollo Comunitario, DIDECO, de la I. Municipalidad de Linares. En dicho seminario se contó con más de 80 participantes, los cuales mostraron gran interés por el sistema.

Dicho evento fue noticia en varios diarios y radios locales, los cuales se encuentran reportados en el anexo 2, donde también se incluye invitaciones, programa, objetivo y lista de participantes de dicho evento.

Como evento de cierre se realizó un seminario de cierre "Eventos climáticos de heladas, un método de alerta temprana", en el marco de la iniciativa FIA. Dicho evento se realizó el miércoles 23 de noviembre, a las 10:30 horas, en el auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales, en la Universidad de Talca, ubicado en Avenida Lircay s/n, Talca. En Anexo 3 se encuentra invitaciones, programa, objetivo y lista de participantes de dicho evento.

Para dichos eventos se entregaron dípticos, los cuales entregaban información útil para los usuarios, además de contar siempre con un pendón del proyecto el cual se encuentra en el anexo 4.

Parte de los resultados obtenidos a través de este proyecto fueron publicados en EEE International Conference on Automatica, XXII Congress of the Chilean Association of Automatic Control ACCA:

**Prediction of Frost Episodes Based in Agrometeorological Information and Machine Learning Techniques.** Patricia Möller-Acuña, Roberto Ahumada-García, José Reyes-Suárez. El cual se adjunta en el anexo 5

Es importante mencionar que se cumplió con los 4 resultados propuestos en la propuesta inicial.

<sup>1</sup>Chawla NV., Bowyer KW., Hall LO., Kegelmeyer WP. SMOTE: Synthetic minority over-sampling technique. Journal of Artificial Intelligence Research, 1997; 16, 321–357

<sup>2</sup>Pers TH., Albrechtsen A., Holst C., Sørensen TL., Gerds T. The validation and assessment of machine learning: a game of prediction from high-dimensional data. 2009; PloS One, 4(8).

<sup>3</sup>Breiman L. Random forests. Mach Learn. 2001; 45:5–32.

<sup>4</sup><https://cran.r-project.org/web/packages/randomForest/randomForest.pdf>

<sup>5</sup><http://www.json.org/>

<sup>6</sup><http://www.agromet.cl/>

<sup>7</sup><https://tools.ietf.org/html/rfc4180>

## 6. Fichas técnica del Sistema de Alerta temprana de Heladas:

*Nombre:* Sistema de alerta temprana de episodios de heladas para agricultores de la Región del Maule. Basado en modelos predictivos que utilizan información agroclimatológica histórica y técnicas de Inteligencia Artificial

*¿Qué ocurre en cultivos cuando hay heladas?*

Cuando la temperatura alcanza los 0° C se congela el agua extracelular lo cual genera una deshidratación y la muerte por necrosis de los tejidos, los cuales toman un color pardusco como si estuviesen “quemados”. Este daño depende de la intensidad y duración temporal de la helada. También el congelamiento interno y externo del cultivo puede afectar a su desarrollo fisiológico, por ejemplo su capacidad de extraer agua y nutrientes desde el suelo por medio de las raíces.

*¿Cuál es el período más vulnerable para un cultivo?*

Durante los meses de septiembre y octubre. Los brotes verdes no toleran temperatura de 0° C o menos, por lo cual una helada tardía puede hacer perder hasta el 90% de la producción, si ocurre en estos meses, dependiendo de su duración e intensidad para necrosar los tejidos celulares de la planta.

Durante los meses de invierno, desde mayo a agosto, es donde se produce la mayor cantidad de días con heladas, en promedio unas 15 heladas en total. En este caso los cultivos de invernadero corren el riesgo de helarse.

*¿A qué hora se producen las heladas?*

Las heladas se producen, en promedio, entre las 02:00A.M y las 08:00 A.M.

*¿Las heladas se pueden predecir?*

Las heladas es un riesgo agroclimatológico que solo produce daño. Por lo anterior existen métodos para controlar una helada y reducir su impacto negativo. Para aplicar algunos de los métodos de reducción de daño se hace indispensable pronosticar la ocurrencia de una helada con anticipación.

### *Predicción temprana para eventos de heladas*

El predictor de alerta temprana es un sistema disponible en una página web, este sistema entrega una alerta temprana hasta 12 horas antes de la ocurrencia de una helada. Este servicio se desarrolló enmarcado en el proyecto FIA Estudios y Proyectos de Innovación para monitoreo, control y gestión de heladas en las regiones de O'Higgins y Maule. Y cuenta con financiamiento de FIA, CITRA y el Centro de Bioinformática y Simulación Molecular de la Universidad de Talca.

*¿En qué se basa este sistema?*

Este sistema utiliza tecnología innovadora, basada en modelos matemáticos e inteligencia artificial del tipo clasificación y redes neuronales artificiales.

Este tipo de tecnología cuenta con la capacidad de aprender, lo que le permite ir perfeccionando su desempeño conforme pasa el tiempo para proveer al modelo con nueva información. Además permite analizar volúmenes muy grandes de información logrando así predecir situaciones a largo plazo.

*¿Qué tan confiable es este sistema?*

Este sistema ha sido probado exitosamente, logrando predecir con una efectividad superior al 90% la ocurrencia de las heladas.

*¿Cómo puedo acceder a este sistema?*

Para acceder a este sistema debe tener conexión a internet e ingresar a la página web <http://appsbio.otalca.cl/fia/index.php>, donde se alertará la ocurrencia de eventos de heladas.

Este sistema se podrá utilizar desde el año 2017 y cualquier usuario que desee consultar, lo podrá hacer seleccionando la estación o estaciones más cercanas. Dicho sistema estará a cargo de RAN.

## 7. Problemas enfrentados durante la ejecución proyecto:

Describir cambios y/o problemas	Consecuencias (positivas o negativas), para el cumplimiento del objetivo general y/o específicos	Ajustes realizados al proyecto para abordar los cambios y/o problemas
Problema: Demora en contar con dinero de la primera remesa de FIA	Negativa: se ha demorado la compra de equipos computacionales y software para el proyecto.	Se avanzó en el diseño conceptual de soluciones a implementar durante el tiempo no se contaba con equipamiento y software.
Problema: Se ha demorado la definición de zonas de interés donde modelar el sistema predictivo.	Inicialmente junto con proyecto asociado dirigido por INIA se pensaba en focalizar modelamiento a algunas estaciones de monitoreo en particular (4 a 6) que presentan más dificultad en predicciones.  Finalmente y según lo solicitado por FIA, se ha decidido trabajar en la totalidad o mayor cantidad posibles de estaciones meteorológicas disponibles en la RAN. De modo de abarcar la totalidad (en lo posible) de las regiones VI y VII.	Para enfrentar esto. El esfuerzo del proyecto se focalizo en trabajar con la información con que se cuenta de manera exhaustiva. De modo de sistematizar todos los análisis de limpieza y procesamiento de la información.
Demora en entrega o acceso de información de nuevas estaciones meteorológicas de las regiones VI y VII del país.	Esto está vinculado a problema descrito en punto anterior. Sin embargo esta demora no ha significado una demora importante en el cumplimiento de objetivos o retraso en logro de resultados.	Las acciones tomadas y descritas en el punto anterior, permitieron cumplir sin demoras los objetivos programados en el proyecto de manera original.

Sin embargo a pesar de presentar ciertas dificultades, no hubo retraso significativo en el proyecto.

## 8. Difusión de los resultados obtenidos

La primera presentación se realizó en el marco del seminario internacional: “MONITOREO, CONTROL Y MANEJO DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS EN LOS SISTEMAS AGRÍCOLAS”, desarrollado el día 25 de Mayo 2016, en el Centro de Eventos Lircay, Talca. Impulsado por la Subsecretaría Agricultura - Fundación para la Innovación Agraria, FIA. La presentación para dicho evento se encuentra en el anexo 1

Además el director del proyecto, desarrollo dos seminarios con el fin de mostrar los resultados a la comunidad regional.

El primer seminario “Eventos climáticos de heladas, un método de alerta temprana”, en el marco de la iniciativa FIA. Se realizó el jueves 4 de agosto, a las 10:30 horas, en el Salón del edificio de la Dirección de Desarrollo Comunitario, DIDECO, de la I. Municipalidad de Linares. En dicho seminario se contó con más de 80 participantes, los cuales mostraron gran interés por el sistema.

Dicho evento fue noticia en varios diarios y radios locales, los cuales se encuentran reportados en el anexo 2, donde también se incluye invitaciones, programa, objetivo y lista de participantes de dicho evento.

Como evento de cierre se realizó un seminario de cierre “Eventos climáticos de heladas, un método de alerta temprana”, en el marco de la iniciativa FIA. Dicho evento se realizó el miércoles 23 de noviembre, a las 10:30 horas, en el auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales, en la Universidad de Talca, ubicado en Avenida Lircay s/n, Talca. En Anexo 3 se encuentra invitaciones, programa, objetivo y lista de participantes de dicho evento.

Para dichos eventos se entregaron dípticos, los cuales entregaban información útil para los usuarios, además de contar siempre con un pendón del proyecto el cual se encuentra en el anexo 4.

Parte de los resultados obtenidos a través de este proyecto fueron publicados en EEE International Conference on Automatica, XXII Congress of the Chilean Association of Automatic Control ACCA:

Prediction of Frost Episodes Based in Agrometeorological Information and Machine Learning Techniques. Patricia Möller-Acuña, Roberto Ahumada-García, José Reyes-Suárez. El cual se adjunta en el anexo 5

## **9. Productores participantes**

Este punto no aplica en nuestro caso, dado que no se trabajó con agricultores, solo con información de carácter agro climatológica.

## **10. Conclusiones**

Las heladas registradas en datos históricos muestran efectos devastadores para la agricultura en la zona centro-sur de Chile.

Diversos métodos de aprendizaje automático fueron evaluados para esta predecir la ocurrencia de un evento de helada, encontrando que el algoritmo de clasificación Random-Forest entregó los mejores resultados en los distintos escenarios y condiciones evaluadas para registros de Heladas y No-Heladas ocurridos en periodo 2010-2015 en las 20 EMAs.

Esto nos indica que este algoritmo se adapta mejor a la condiciones planteadas en la problemática propuesta en este trabajo asociada a “predecir de forma temprana la ocurrencia de un evento de helada utilizando información agro climatológica”.

El modelo desarrollado alcanza una eficiencia cercana al (90%) de eficiencia, siendo capaz de predecir hasta con 12 horas de anticipación la ocurrencia de un episodio de helada.

En base al avance de las actividades del proyecto, se considera que tanto los objetivos específicos como el objetivo general del proyecto han sido alcanzados en los plazos establecidos en el convenio de ejecución FIA-universidad de Talca.

Cabe mencionar que ningún hito crítico se encuentra atrasado o en rezgo de que no sea alcanzado

## **11. Recomendaciones**

Contactar a grupo de desarrollo del proyecto para obtener indicaciones y capacitación en cuanto al uso y alcances del modelo predictivo de alerta temprana de heladas que se entrega.

Se pueden obtener las predicciones de heladas de las 20 EMAs. Se ha creado una cuenta provisoria para poder visitarla

## **12. Anexos**

anexo 1\_Seminario\_Eventos\_Climáticos\_Extremos\_13\_mayo\_16

anexo 2\_seminario\_linares

anexo 3\_seminario\_cierre

anexo 4\_pendon\_diptico

anexo 5\_Paper\_Prediction\_of\_Frost\_Episodes\_Based

### 13. Bibliografía Consultada

Toda la bibliografía ha sido utilizada en los resultados y se enlistan a continuación:

<sup>1</sup>Chawla NV., Bowyer KW., Hall LO., Kegelmeyer WP. SMOTE: Synthetic minority over-sampling technique. Journal of Artificial Intelligence Research, 1997; 16, 321–357

<sup>2</sup>Pers TH., Albrechtsen A., Holst C., Sørensen TI., Gerds T. The validation and assessment of machine learning: a game of prediction from high-dimensional data. 2009; PloS One, 4(8).

<sup>3</sup>Breiman L. Random forests. Mach Learn. 2001; 45:5–32.

<sup>4</sup><https://cran.r-project.org/web/packages/randomForest/randomForest.pdf>

<sup>5</sup><http://www.json.org/>

<sup>6</sup><http://www.agromet.cl/>

<sup>7</sup><https://tools.ietf.org/html/rfc4180>

# Anexo 1



## Objetivo

### Seminario internacional

“Monitoreo, Control y Manejo de Eventos Climáticos Extremos  
en los Sistemas Agrícolas”

Talca, 25 de mayo 2016

José Antonio Reyes Suárez – Universidad de Talca

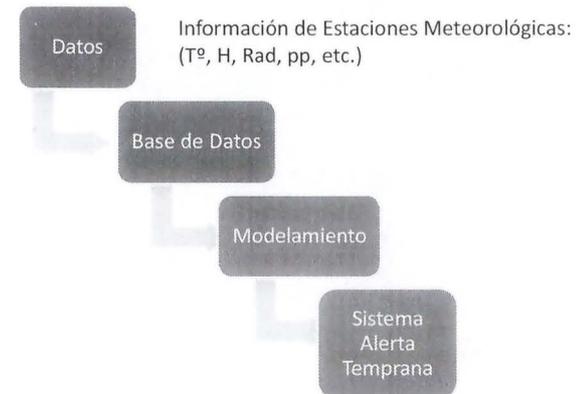
*Sistema de alerta temprana de episodios de heladas para  
agricultores de la Región del Maule. Basado en modelos  
predictivos que utilizan información agro-climatológica  
histórica y técnicas de Inteligencia Artificial*

Desarrollar un sistema de alerta temprana de eventos de heladas para agricultores de la **Región del Maule**. El sistema está basado en un modelo de predicción que utiliza técnicas de **Inteligencia Artificial** y es entrenado con información **agro-climatológica histórica** de las zonas de interés.

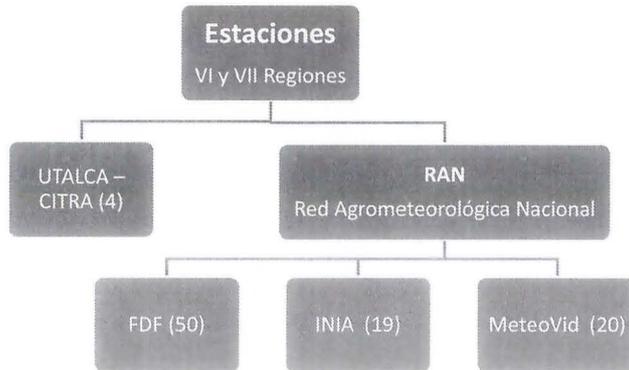
## Zonas de Interés



## Etapas



## Datos



### Variables:

Temperatura, Humedad, Radiación Solar, Velocidad del viento, Dirección del viento, Punto de rocío

## Base de Datos

ciudad			
id_ciu	<pi>	Serial	<M>
nom_ciu		Variable characters (200)	<M>
Identifer_1	<pi>		

estacion			
id_est	<pi>	Serial (2)	<M>
nom_est		Variable characters (200)	<M>
Identifer_1	<pi>		

medicion			
id_med	<pi>	Serial	<M>
fec_med		Timestamp	<M>
hum		Float	
temp		Float	
precip		Float	
vel_viento		Float	
dir_viento		Float	
rad_solar		Float	
virtual		Boolean	<M>
procio		Float	
Identifer_1	<pi>		

usuario			
id_usu	<pi>	Serial	<M>
username		Variable characters (200)	<M>
pass		Variable characters (10)	<M>
Identifer_1	<pi>		



# Base de Datos



<http://appsbio.otalca.cl/fia>

FIA 2016 EMA Mediciones Consultar

Sin datos

Mediciones

Estación Selección estación Año Seleccione año Medición Temperatura Q Buscar

Minerasil Gráfico Minimas/Maximas Mes

Idroamari Gráfico Minimas/Maximas Día

Castrocom

desaFfA, porFfA, conFfA.

WWW.FIA.CL |

FIA 2016 Estaciones Mediciones

Logout (fia)

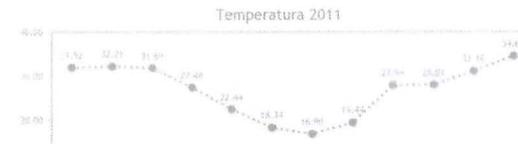
Mediciones

Estación Panguilemu Año 2011 Medición Temperatura Q Buscar

Minimas/Maximas Mes

Mes	Min	Max
☕ ⬇️ jan	0	31.92
☕ ⬇️ feb	7.57	32.21
☕ ⬇️ mar	3.54	31.89
☕ ⬇️ apr	0	27.4

Gráfico Minimas/Maximas



desaFfA, porFfA, conFfA.

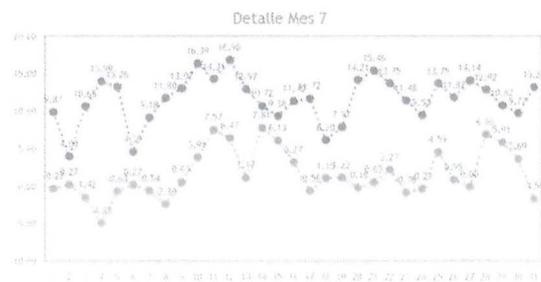
WWW.FIA.CL |

Mínimas/Máximas Día

Día	Min	Max
1	-0.27	9.87
2	0.27	4
3	-1.42	10.65
4	-4.88	13.99
5	-0.63	13.26
6	0.27	4.59
7	-0.54	9.18
8	-2.3	11.8
9	0.63	13.07
10	3.91	16.39

Previous 1 2 3 4

Gráfico Mínimas/Máximas Día



Radiación Solar Radiación Solar  
Precipitaciones

Estación: Valdes Puelas Meteorol Año: 2012 Mes: Agosto Buscar

Radiación

Día	Acumulado
1	52601.3
2	33617.4
3	34012.4
4	158943.6
5	141896
6	150297.8
7	143072.4
8	159460.2
9	140840

Gráfico

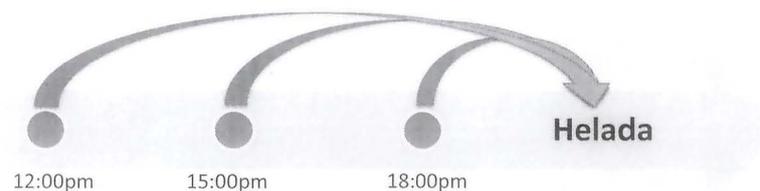


## Modelamiento Predictivo de Eventos de Heladas



## Modelamiento

El sistema predice la ocurrencia de una helada:



- ✓ Modelo se entrena con información histórica de heladas (años anteriores).
- ✓ Modelo generado es capaz de predecir la ocurrencia de eventos futuros.
- ✓ Métodos de Inteligencia Artificial



## Caracterización Eventos Heladas (2010-2015)

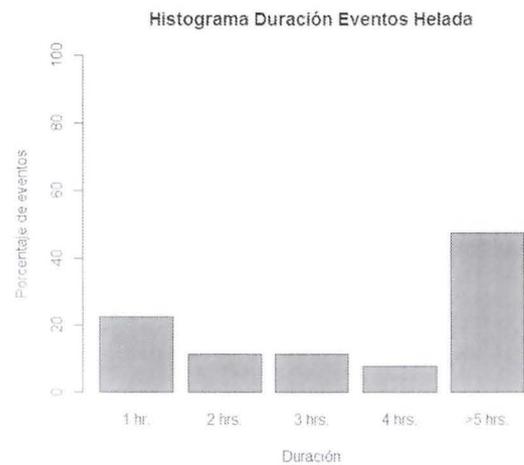
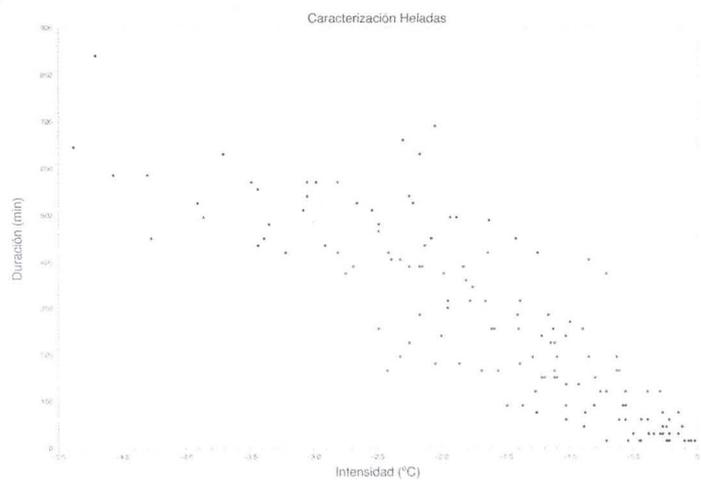


\*Información estación Panguilemo UTALCA-CITRA

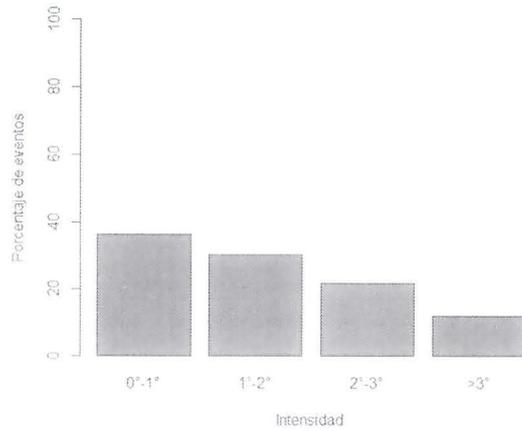
Año	n° Eventos Heladas
2010	28
2011	29
2012	20
2013	36
2014	13
2015	17
Total	143

Mes	n° Eventos Heladas
Enero	0
Febrero	0
Marzo	0
Abril	1
Mayo	13
Junio	34
Julio	50
Agosto	36
Septiembre	9
Octubre	0
Noviembre	0
Diciembre	0
Total	143

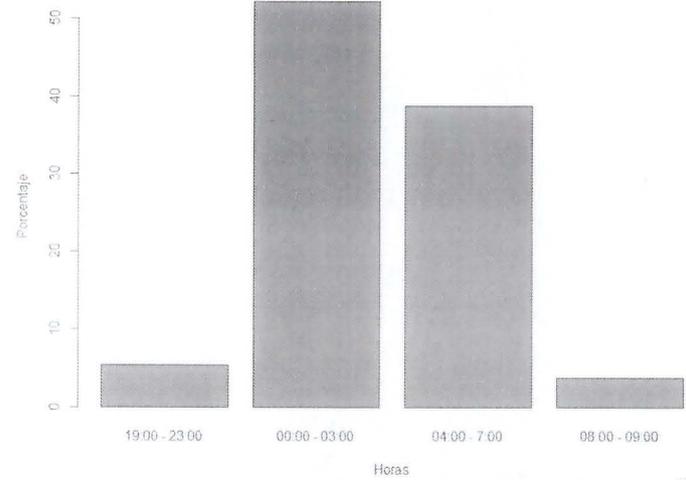
Mes	Eventos 2010	Eventos 2011	Eventos 2012	Eventos 2013	Eventos 2014	Eventos 2015	Total
Enero	0	0	0	0	0	0	0
Febrero	0	0	0	0	0	0	0
Marzo	0	0	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	1	0	1
Mayo	0	2	1	5	2	3	13
Junio	3	7	5	9	4	6	34
Julio	14	11	9	7	4	5	50
Agosto	9	8	5	10	2	2	36
Septiembre	2	1	0	5	0	1	9
Octubre	0	0	0	0	0	0	0
Noviembre	0	0	0	0	0	0	0
Diciembre	0	0	0	0	0	0	0
Total	28	29	20	36	13	17	143



**Histograma Intensidad Eventos Helada**



**Hora de Ocurrencia de Heladas**





## Resultados Modelamiento



- Se evaluaron **diversas** técnicas y estrategias de modelamiento
- Predice **Helada  $\leq 0^\circ$**  (opciones  $a \leq 1^\circ; \leq 2^\circ$ )
- ¿qué tan bien funciona el modelo?
  - Eficiencia Global del modelo (EG)
- Errores de dos tipos:
  - **Helada No Detectada** (HND) o alertada por el sistema (**Error Tipo I**)
  - Sistema entrega **Falsa Alerta** (FA) de helada que no ocurre (**Error Tipo II**)



## Resultado general



- Modelo entrenado con toda la información 2010-2015
- Se utiliza estrategia de validación cruzada para estimar performance del modelo

### Estación: Panguilemo

EG	97.3%
HND	3.45%
FA	2.01%

## Resultado general

- Modelo entrenado con toda la información 2010-2015
- Se utiliza estrategia de validación cruzada para estimar performance del modelo

Estación: Panguilemo	
EG	97.3%
HDN	3.45%
FA	2.01%

### Observaciones:

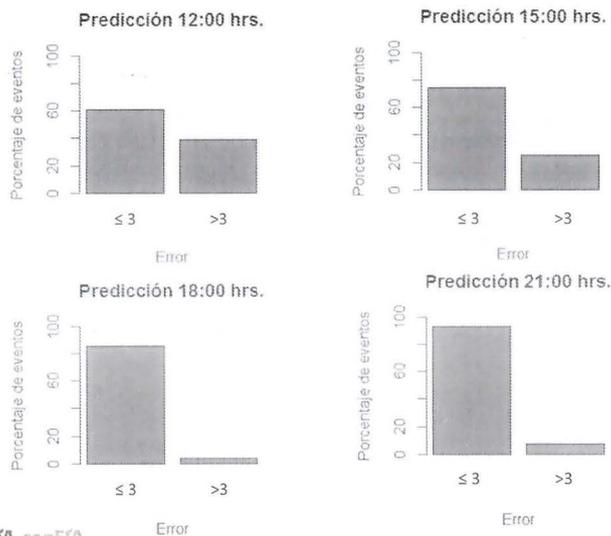
- Resultados similares en otras estaciones y en otros horarios.
- Aumenta error del modelo al utilizar menos información (hasta 5-10%)
- Temporadas mas complejas de predecir (año 2011, promedios e intensidades de heladas mas altas que otras temporadas)

## Predicción de la hora en que ocurre la Helada

- Se estima la hora de inicio de un evento de helada.
- Para esto se utiliza métodos de Redes Neuronales Artificiales (AANN)
- Para medir la *performance* de estos modelos se utiliza una medida de error:
  - RMSE, que indica el valor absoluto del promedio de los errores entre lo observado (hora real de inicio) y lo predicho (hora de inicio que predice el modelo).



## Error Predicción Hora de Ocurrencia



desaFfA, porFfA, conFfA.



desaFfA, porFfA, conFfA.

## Ejemplos de Predicciones

Estación	Fecha	Mínima Real	Alerta	Hora inicio real	Hora inicio predicha
Panguilemo	30-07-12	-4.27	Si	2:00 am	5:15 am
Panguilemo	17-09-13	-1,47	Si	4:15 am	2:30 am
Panguilemo	20-07-15	-1.49	Si	3:15 am	5:45 am
Panguilemo	26-04-16	-0,7	Si	5:00 am	4:00 am
Panguilemo	06-06-14	-0,3	No (HND)	5:45 am	2:15 am
Panguilemo	14-06-15	1.43	Si (FA)	3:15 am	6:30 am

www.fia.cl |

## Equipo de Trabajo:

### Investigadores:

- **Alejandro Valdés** – Ing. Informática (MSc.)
- **Patricio González Colville** – Agro-climatología (MSc)
- **José Antonio Reyes** (Director Proyecto) - Modelamiento y Minería de Datos (PhD)

### Profesionales:

- **Patricia Moller Acuña** – (Director Alterno Proyecto) - Ingeniero en Bioinformática, Doctor(c) en Biotecnología, modelamiento predictivo.
- **Marcela Rojas Cabello** - Ingeniero Civil, modelamiento complejo
- **Roberto Ahumada** – Ingeniero en Bioinformática, sistemas de información.
- **Magna Espinoza** – Apoyo administrativo



## Seminario internacional

“Monitoreo, Control y Manejo de Eventos Climáticos Extremos en los Sistemas Agrícolas”

Talca, 25 de mayo 2016

**José Antonio Reyes Suárez – Universidad de Talca**

***Sistema de alerta temprana de episodios de heladas para agricultores de la Región del Maule. Basado en modelos predictivos que utilizan información agro-climatológica histórica y técnicas de Inteligencia Artificial***

## Anexo 2



Fundación para la  
Innovación Agraria



## INVITACIÓN

El Director Ejecutivo de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), Héctor Echeverría Vásquez y José Antonio Reyes Suárez, Director del Proyecto FIA “Sistema de alerta temprana de episodios de heladas para agricultores de la Región del Maule. Basado en modelos predictivos que utilizan información agro - climatológica histórica y técnicas de Inteligencia Artificial”, invitan a usted al **seminario “Eventos climáticos de heladas, un método de alerta temprana”**, en el marco de la iniciativa FIA.

La actividad se realizará el jueves 4 de agosto, a las 10:30 horas, en el Salón del edificio de la Dirección de Desarrollo Comunitario, DIDECO, de la I. Municipalidad de Linares

Esperamos contar con su asistencia. Confirmar asistencia



Fundación para la  
Innovación Agraria



A2C2  
Adaptación de la Agricultura  
al Cambio Climático  
Universidad de Talca

35  
AÑOS

UNIVERSIDAD DE TALCA

## Programa Seminario

### “Eventos climáticos de heladas, un método de alerta temprana”

HORA	TEMA	EXPOSITOR
10:20	Acreditación	
10:30	Palabras de bienvenida	<b>Autoridades presentes</b>
10:50	“Las heladas y su impacto agrícola en el Maule”	<b>MSc. Patricio González Colville</b> Programa A2C2 Investigador CITRA Profesor de Facultad de Ciencias Agrarias
11:20	“Sistema de alerta temprana para eventos de heladas.”	<b>Dr. José Antonio Reyes Suárez</b> Doctor en Ciencias de la Computación Programa A2C2 Director del proyecto FIA
12:10	Palabras de Cierre	<b>Rodrigo Acosta</b> Prodesal Linares 2 Ing. Agrónomo
12:20	Coctel de cierre	

*Esta actividad se realizará el jueves 04 de agosto de 2016 a partir de las 10:30hrs en el Salón del edificio de la Dirección de Desarrollo Comunitario, DIDECO, de la I. Municipalidad de Linares,*



A2C2  
Adaptación de la Agricultura  
al Cambio Climático  
Universidad de Talca



## Objetivo del Seminario

### “Eventos climáticos de heladas, un método de alerta temprana”

La agricultura presenta alta vulnerabilidad ante heladas de invierno y primaverales. Un evento climático de heladas puede hacer perder la cosecha de un año entero y comprometer los ingresos del siguiente, sobre todo para fruticultores y viticultores.

Actualmente la predictibilidad de sucesos de heladas depende en gran medida de pronósticos de temperatura basados en modelos predictivos generales, que predicen condiciones promedio en grandes extensiones de territorio del país. Esto es predicción hora a hora de temperatura promedio para estas zonas.

La propuesta aquí presentada hace uso de información histórica de carácter local y está enfocado en la predicción de ocurrencia de fenómenos o sucesos de heladas puntuales más que en predecir la temperatura hora a hora.

El predictor de alerta temprana es un sistema disponible en una página web, este sistema entrega una alerta temprana de hasta 12 horas antes de la ocurrencia de una helada, indicando además la intensidad, es decir cuál sería la temperatura más baja esa noche. Este sistema ha sido probado exitosamente, logrando predecir con una efectividad superior al 90% la ocurrencia de las heladas.

Este servicio se desarrolló enmarcado en el proyecto FIA Estudios y Proyectos de Innovación para monitoreo, control y gestión de heladas en las regiones de O'Higgins y Maule. Y cuenta con financiamiento de FIA, CITRA y el Centro de Bioinformática y Simulación Molecular de la Universidad de Talca.

***Esta actividad se realizará el jueves 04 de agosto de 2016 a partir de las 10:30hrs en el Salón del edificio de la Dirección de Desarrollo Comunitario, DIDECO, de la I. Municipalidad de Linares***

APOYA Y COLABORA:



FUNDADO  
EL 29 DE  
AGOSTO DE  
1937

# EL HERALDO

*El Diario del Maule Sur*

www.dianoelheraldo.cl

LINARES MARTES 26 DE JULIO DE 2016

AÑO LXXVIII N° 26.381 \$ 300

Concluyen trabajos de  
reparación de techumbre  
en Jardín Acuarela



Pág.5

Linares  
se sumó a  
marcha  
nacional  
contra las  
AFP



Pág.4

200 personas  
participaron en  
Cabildo  
Provincial de  
Cauquenes



Pág.5

## Linares tendrá una nueva versión de la "Fiesta Nacional del Vino Navegato"

Autoridades confirmaron que el evento se realizará este sábado en el gimnasio municipal. Habrá show musical, gastronomía típica y artesanía. Pág.7



Municipalidad  
de Parral  
receptionó  
estructura de  
puente  
mecano



Pág.5

Asistentes  
de Educación  
de Linares  
recibirán la  
visita de  
dirigentes  
nacionales  
para abordar  
temática  
gremial



Pág.10

Eventos climáticos  
de heladas, un  
método de alerta  
temprana

## Eventos climáticos de heladas, un método de alerta temprana

Una de las variables térmicas de más riesgo que los agricultores enfrentan son las heladas de invierno y las primaverales. Un evento de heladas puede hacer perder la cosecha de un año entero y comprometer los ingresos del siguiente, sobre todo para fruticultores y viticultores.

Dependiendo el año se producen entre 20 y 35 eventos de heladas en el año. Las heladas que se registraron en septiembre de 2013 tuvieron efectos devastadores para la agricultura nacional. Su magnitud, frecuencia y recurrencia no tiene precedentes en gran parte de las zonas

geográficas afectadas.

Las cifras de estimación entregadas por las autoridades y distintas asociaciones gremiales apuntan a que la pérdida económica fue entre US\$ 600 a US\$ 900 millones y que el volumen exportado disminuyó entre un 15-20%. El impacto negativo sobre el empleo de temporeros agrícolas generó una disminución cercana al 20%, registrando su "peak" en los meses de Diciembre y Enero, siendo las regiones de O'Higgins y el Maule las más afectadas.

Actualmente la predictibilidad de sucesos de heladas depende en gran medida de pronósticos de temperatura basados en modelos predictivos generales, que predicen

condiciones promedio en grandes extensiones de territorio del país. Esto es predicción hora a hora de temperatura promedio para estas zonas.

La propuesta aquí presentada hace uso de información histórica de carácter local y está enfocada en la predicción de ocurrencia de fenómenos o sucesos de heladas puntuales más que en predecir la temperatura hora a hora.

El predictor de alerta temprana es un sistema disponible en una página web, este sistema entrega una alerta temprana de hasta 12 horas antes de la ocurrencia de una helada, indicando además la intensidad, es decir cuál sería la temperatura más baja esa noche. Este sistema ha sido pro-

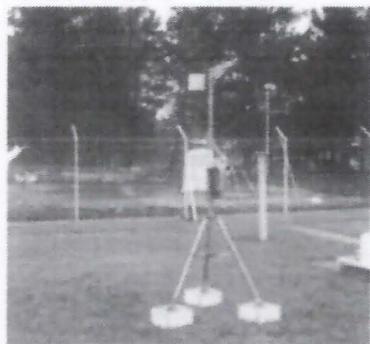
bado exitosamente, logrando predecir con una efectividad superior al 90% la ocurrencia de las heladas. Este predictor se desarrolló enmarcado en el proyecto FIA "Sistema de alerta temprana de episodios de heladas para agricultores de la Región del Maule. Basado en modelos predictivos que utilizan información agro-climática histórica y técnicas de Inteligencia Artificial".

Por lo anteriormente descrito se desarrollará un seminario donde se mostrarán avances de resultados del proyecto FIA, en esta ocasión presentarán Patricio González Colville (Ma-

gister en Climatología) y el Dr. José Antonio Reyes Suárez director del proyecto.

Se invita a todos los interesados a participar de este seminario abierto a todo público que se realizará el jueves 04 de agosto, a partir de las 10.30 horas, en el Salón del edificio de la Dirección de Desarrollo Comunitario, DIDECO, de la Municipalidad de Linares, ubicado en Calle Freire 452, Linares.

La actividad es financiada por FIA, ejecutada por la Universidad de Talca y colaboran la Municipalidad de Linares y Asociación de Municipios de la Región del Maule.



📍 Crónica © 06-08-2016

### Innovador sistema permitirá predecir heladas en la región del Maule



#### Otras noticias



Evalúan en terreno mal estado de calles y veredas en Linares



Municipalidad de Parral inauguró proyecto de seguridad y puente sobre...



Más de 60 maulinos realizan curso de autocultivo de Cannabis en Talca...



Agricultores orgánicos conocen normativa para certificación de productos...

Carabineros de Parral



**Red Innovagro**

[Inicio](#) [Webinars](#) [Síntesis](#) [Foros](#) [Noticias de miembros](#) [Videos](#) [Conferencias](#) [Convocatorias](#)

[Inicio](#) [Noticias](#) [FIA \(Chile\): Innovador sistema permite predecir heladas en la región del Maule](#)

**Noticias**

## ***FIA (Chile): Innovador sistema permite predecir heladas en la región del Maule***

*Posted by Red Innovagro · 19 agosto, 2016 · no comments*



# Innovador sistema permitirá predecir heladas

Publicado: Sábado, 06 Agosto 2016 07:00 Escrito por Mario San Martín



**San  
Carlos**  
ON LINE

Iniciado en la región del Maule

Las cifras de estimación entregadas por las autoridades y distintas asociaciones gremiales apuntan a que la pérdida económica fue entre US\$ 600 a US\$ 900 millones y que el volumen exportado disminuyó entre un 15-20%. El impacto negativo sobre el empleo de temporeros agrícolas generó una disminución cercana al 20%, registrando su "peak" en los meses de Diciembre y Enero, siendo las regiones de O'Higgins y el Maule las más afectadas.

Actualmente la predictibilidad de sucesos de heladas depende en gran medida de pronósticos de temperatura basados en modelos predictivos generales, que predicen condiciones promedio en grandes extensiones de territorio del país. Esto es predicción hora a hora de temperatura promedio para estas zonas.

La propuesta aquí presentada hace uso de información histórica de carácter local y está enfocado en la predicción de ocurrencia de fenómenos o sucesos de heladas puntuales más que en predecir la temperatura hora a hora.

El predictor de alerta temprana es un sistema disponible en una página web, este sistema entrega una alerta temprana de hasta 12 horas antes de la ocurrencia de una helada, indicando además la intensidad, es decir cuál sería la temperatura más baja esa noche. Este sistema ha sido probado exitosamente, logrando predecir con una efectividad superior al 90% la ocurrencia de las heladas. Este predictor se desarrolló enmarcado en el proyecto FIA "Sistema de alerta temprana de episodios de heladas para agricultores de la Región del Maule. Basado en modelos predictivos que utilizan información agro - climatológica histórica y técnicas de Inteligencia Artificial".

Por lo anteriormente descrito se desarrollara un seminario donde se mostraran avances de resultados del proyecto FIA, en esta ocasión presentarán Patricio González Colville (Magister en Climatología) y el Dr. José Antonio Reyes Suarez director del proyecto.

Se invita a todos los interesados a participar de este seminario abierto a todo público que se realizará el jueves 04 de agosto, a partir de las 10:30 horas, en el Salón del edificio de la Dirección de Desarrollo Comunitario, DIDECO, de la Municipalidad de Linares

La actividad es financiada por FIA, ejecutada por la Universidad de Talca y colaboran la Municipalidad de Linares y Asociación de Municipios de la Región del Maule.

"Eventos climáticos de heladas, un método de alerta temprana"

Nombre	Fono contacto	e-mail	Empresa o institución.
Dulcemila Vallyjo			Prodsol.
Daniel Rosales			Particular
Fortunato Rojas			Particular
Marcelino Mondaco			Prodsol.
Juan Ramos			Prodsol. Y.B
FRONTE PALMAS			LINA 217
Emigdio Trullio			Particular.



Fundación para la  
Innovación Agraria



A202  
adaptación de la agricultura  
al ambiente climático



## "Eventos climáticos de heladas, un método de alerta temprana"

Nombre	Fono contacto	e-mail	Empresa o institución.
Apolonio Gonzalez			Particular
Cristian Parramano			Particular
Eduardo Valledares			Particular
Manuel Wilson			Particular
Luisandro Navarro			Particular.
Blanca Gajardo A.			Particular.
Ivan Agunto			Particular.



Fundación para la  
Innovación Agraria



AOC2

adaptación de la agricultura  
al cambio climático

35  
AÑOS

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CALABAZA DE LA PEÑA

## "Eventos climáticos de heladas, un método de alerta temprana"

Nombre	Fono contacto	e-mail	Empresa o institución.
Carlos González			Particular
Manuel Villagris			Particular
Jose Vera			Particular
Marcelo Alfonso			Prodesol
Nonmiliano Maucher			Prodesol
María Bombuene			Municipalidad
Jose Queypil			Prodesol



Fundación para la  
Innovación Agraria



A2C2  
adaptación de la agricultura  
al cambio climático

35  
AÑOS

1979-2014

## "Eventos climáticos de heladas, un método de alerta temprana"

Nombre	Fono contacto	e-mail	Empresa o institución.
Mano Aguirre			Particular
Margarita Bobbio			Protosal
Jaime San Martín			Particular
Carla Jara			Particular
Eladio Norambuena			Particular
Cesar San Martín			Particular
Servando Valladares			Particular



Fundación para la  
Innovación Agraria



AYO2

adaptación de la agricultura  
al cambio climático

35 años

"Eventos climáticos de heladas, un método de alerta temprana"

Nombre	Fono contacto	e-mail	Empresa o institución.
GABRIEL TENADO C			Prodesal Linares
Maria Teresa No ram buena			Particular Municipalidad Linares
Emilia Cort. en rez Encina			Municipalidad Linares
Héctor Castillo			Particular
Sergio Encina			Particular
Marcela Rojas			Prodesal
Jeanet Carniotte			Prodesal,



Fundación para la  
Innovación Agraria



AXC2  
adaptación de la agricultura  
al cambio climático



35 años

## "Eventos climáticos de heladas, un método de alerta temprana"

Nombre	Fono contacto	e-mail	Empresa o institución.
Benjamin Contreras			Prodesal.
Patricio Guzman			Prodesa Y.B
Pella Rey-Pueybarra			Oficina Agrícola
José Jimenez			Particular.
Hernico Aoto			Seremi de Agricultura
Isoldi Vollojo			Particular.
Daniel Solis			Particular.

"Eventos climáticos de heladas, un método de alerta temprana"

Nombre	Fono contacto	e-mail	Empresa o institución.
Delia Carrero			Prodesal.
Héctor Lombreras			Prodesal
Roberto Tapia			Prodesal
Dagoberto Cabrena			Prodesal.
Ricardo Sepúlveda			Prodesal.
JONATA TORO MAURICIA			Alumna en practica CORE
Marcelo Rojas Flores			Prodesal.



Fundación para la  
Innovación Agraria



A202  
adaptación de la agricultura  
al cambio climático



## "Eventos climáticos de heladas, un método de alerta temprana"

Nombre	Fono contacto	e-mail	Empresa o institución.
Jhon Zosder			Municipalidad YB
Juan Quiroz			Particular Profesor
Claudia Novels			Agrogest Ltda.
Isabel Sepulveda			Particular Profesor
Rosa Parada			" "
Sigfried Besman			Particular Profesor <small>Simón Huayta bajo Parera #9</small>
Yudith Ortega			Particular Profesor

for Agricul  
requiere Agricul  
An en class

Pedro Gonzalez



*Sistema de alerta temprana de episodios de heladas para agricultores de la Región del Maule. Basado en modelos predictivos que utilizan información agro-climatológica histórica y técnicas de Inteligencia Artificial*

José Antonio Reyes Suárez  
Universidad de Talca



## Objetivo

Desarrollar un sistema de alerta temprana de eventos de heladas para agricultores de la **Región del Maule**. El sistema está basado en un modelo de predicción que utiliza técnicas de **Inteligencia Artificial** y es entrenado con información **agro-climatológica histórica** de las zonas de interés.



**35 años**  
1980-2015


**ANZ**  
 Asociación de la Industria  
 al Cambio Climático


**FIA**  
 Fundación para la  
 Innovación Agraria

## Zonas de Interés

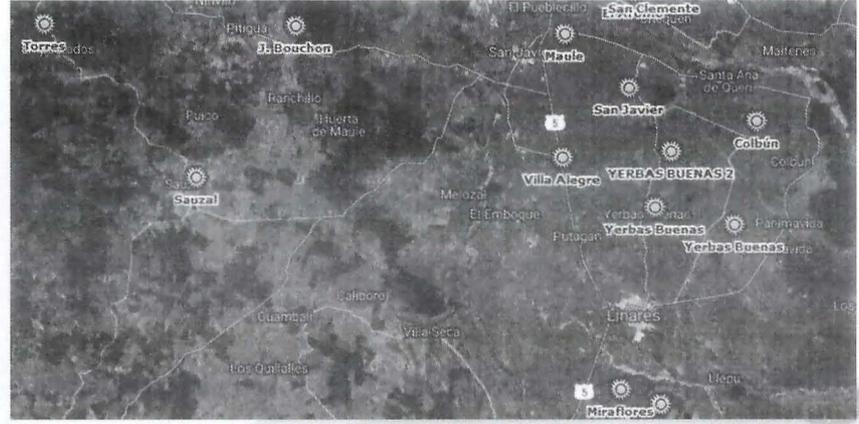




**35 años**  
1980-2015


**ANZ**  
 Asociación de la Industria  
 al Cambio Climático


**FIA**  
 Fundación para la  
 Innovación Agraria






**35 años**  
1980-2015

**AICZ**  
Instituto de la Agricultura  
al Cambio Climático

**FIA**  
Fundación para la  
Innovación Agraria

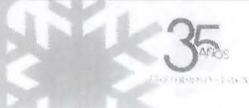
## Base de Datos

FR 2018 | EAA | Mediciones | Estadísticas

Mediciones

Estacion:  Año:  Medición:

Medición	Temperatura
Minimas	Gráfico Minimas 7 Ene 2018 Hora
Maximas	Gráfico Maximas 7 Ene 2018 Hora
Medias	Gráfico Medias 7 Ene 2018 Hora



FIA 2016 Estaciones Mediciones



A.C.Z. Departamento de la Agricultura al Cambio Climático



Fundación para la Innovación Agraria

[Logout \(fja\)](#)

**Mediciones**

Estación: **Pangulemu** Año: **2011** Medición: **Temperatura**

- Temperatura
- Humedad
- Rediación
- Precipitación
- Velocidad del viento

**Mínimas/Máximas Mes**

Mes	Min	Max
jan	0	31.92
feb	7.57	32.21
mar	3.54	31.89
epr	0	27.4

**Gráfico Mínimas/Máximas**

Temperatura 2011



FIA 2016 Estaciones Mediciones



A.C.Z. Departamento de la Agricultura al Cambio Climático



Fundación para la Innovación Agraria

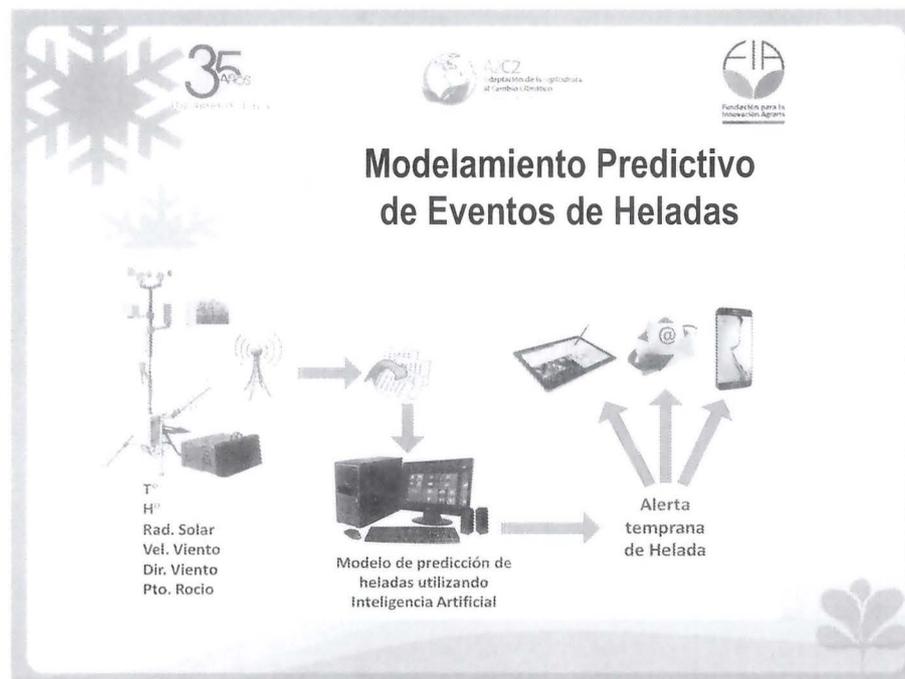
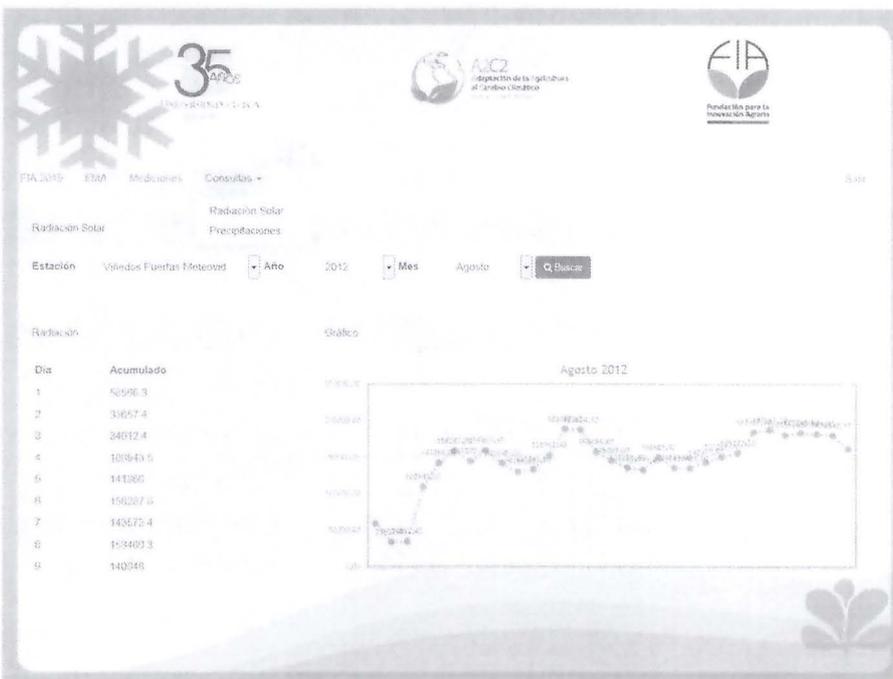
**Mínimas/Máximas Día**

Día	Min	Max
1	-0.27	9.87
2	0.27	4
3	-1.42	10.65
4	-4.88	13.99
5	-0.63	13.26
6	0.27	4.59
7	-0.54	9.18
8	-2.3	11.8
9	0.63	13.07
10	3.91	16.39

Previous:

**Gráfico Mínimas/Máximas Día**

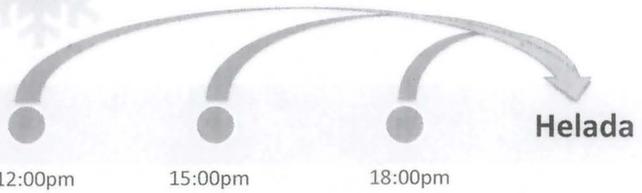
Detalle Mes 7







## Modelamiento



12:00pm      15:00pm      18:00pm      **Helada**

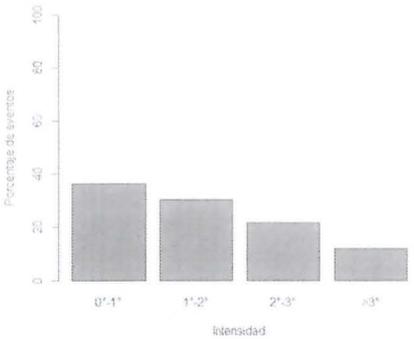
- ✓ Modelo se entrena con información histórica de heladas (años anteriores).
- ✓ Modelo generado es capaz de predecir la ocurrencia de eventos futuros.
- ✓ Métodos de Inteligencia Artificial



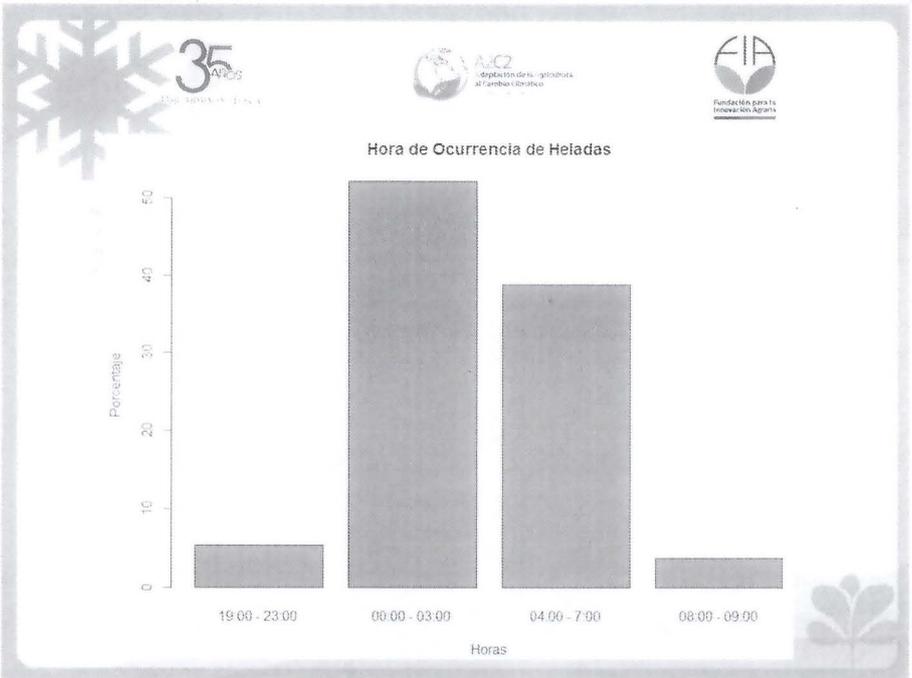
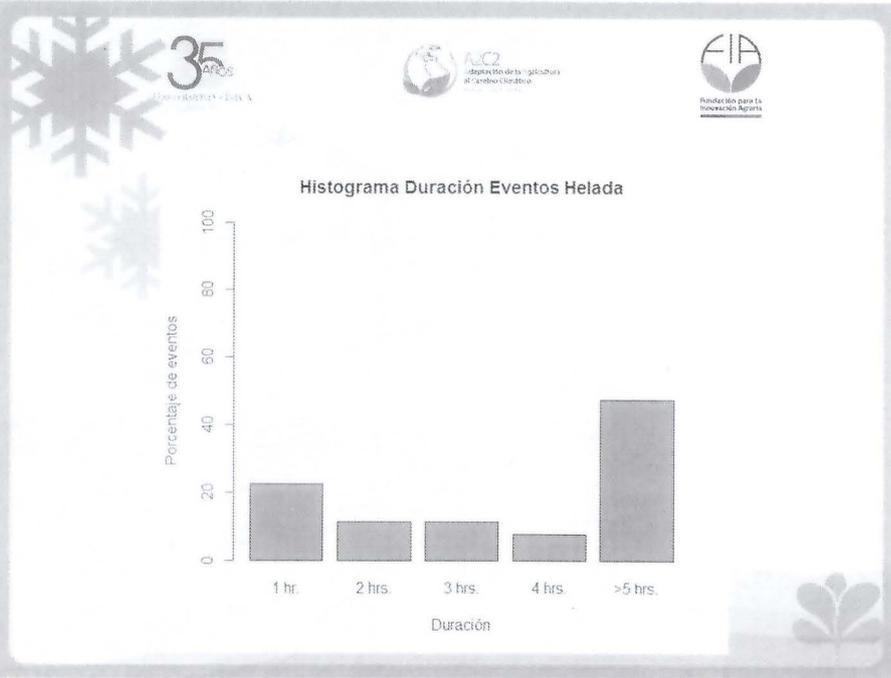


## Caracterización Eventos Heladas (2010-2015)

Histograma Intensidad Eventos Helada



Intensidad	Porcentaje de eventos
0'-1'	~38%
1'-2'	~30%
2'-3'	~22%
>3'	~10%





35 AÑOS  
1981-2016



## Resultados Modelamiento

- Se evaluaron **diversas** técnicas y estrategias de modelamiento
- Predice **Helada  $\leq 0^\circ$**  (opciones  $a \leq 1^\circ; \leq 2^\circ$ )
- ¿qué tan bien funciona el modelo?
  - Eficiencia Global del modelo (EG)
- Errores de dos tipos:
  - **Helada No Detectada** (HND) o alertada por el sistema (**Error Tipo I**)
  - Sistema entrega **Falsa Alerta** (FA) de helada que no ocurre (**Error Tipo II**)



35 AÑOS  
1981-2016



## Resultado general

Estación	Comuna	EG	HND	FA
Miraflores	Linares	95%	0,061	0,045
Yerbas Buenas	Yerbas Buenas	91%	0,096	0,079
Colbún	Colbún	94%	0,073	0,058
Torres	San Javier	97%	0,039	0,028
San Javier	San Javier	93%	0,076	0,066
Villa Alegre	Villa Alegre	94%	0,077	0,061





35 años  
1980-2015



## Predicción de la hora en que ocurre la Helada

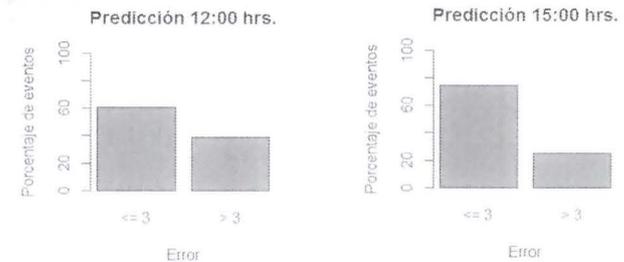
- Se estima la hora de inicio de un evento de helada.
- Para esto se utiliza métodos de Redes Neuronales Artificiales (AANN)
- Para medir la *performance* de estos modelos se utiliza una medida de error:
  - RMSE, que indica el valor absoluto del promedio de los errores entre lo observado (hora real de inicio) y lo predicho (hora de inicio que predice el modelo).

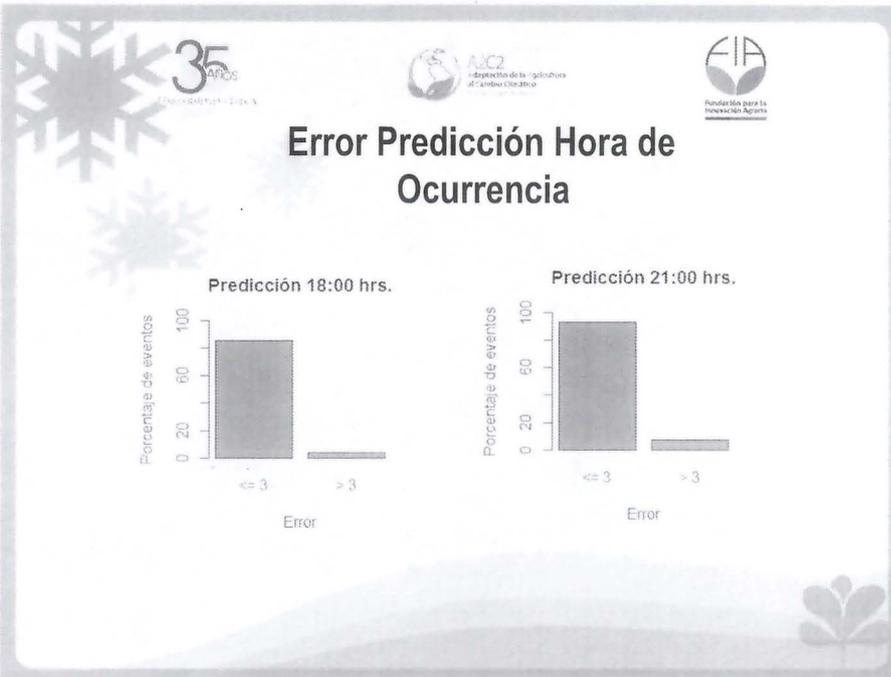


35 años  
1980-2015



## Error Predicción Hora de Ocurrencia





**35 Años**  
1981-2016

**ANCI**  
Adaptación de la agricultura al cambio climático

**FIA**  
Fundación para la Innovación Agraria

### Ejemplo de Predicciones.

Estación	Fecha	Mínima Real	Alerta	Hora inicio real	Hora inicio predicha
Miraflores	10-06-16	-1,3°	Si	21:00 pm	23:00 pm
Miraflores	18-06-16	-3,4°	Si	22:00 pm	23:15 pm
Miraflores	28-06-16	-1,2°	Si	00:00 am	2:30 am
Yerbas Buenas	06-06-16	-1,4°	Si	5:30 am	3:45 am
Yerbas Buenas	08-07-16	-1,5°	Si	2:15 am	00:45 am
Yerbas Buenas	16-07-16	-1,6°	Si	23:15 am	00:30 am
Colbún	11-06-15	-1,2°	Si	3:15 am	00:45 am
Colbún	2-07-15	-0,4°	Si	4:00 am	3:15 am
Colbún	11-06-16	-1,7°	Si	2:00 am	00:15 am





## Ejemplo de Predicciones.

Estación	Fecha	Mínima Real	Alerta	Hora inicio real	Hora inicio predicha
Miraflores	06-06-16	-0,5	No (HND)	3:15 am	2:00 am
Yerbas Buenas	12-04-16	1,7°	Si (FA)	5:15 am	3:45 am
Colbún	07-07-16	0,5°	Si (FA)	5:00 am	3:15 am





## Equipo de Trabajo

**Investigadores:**

- **Alejandro Valdés** – Ing. Informática (MSc.)
- **Patricio González Colville** – Agro-climatología (MSc)
- **José Antonio Reyes** (Director Proyecto) - Modelamiento y Minería de Datos (PhD)

**Profesionales:**

- **Patricia Moller Acuña** – (Director Alterno Proyecto) - Ingeniero en Bioinformática, Doctor(c) en Biotecnología, modelamiento predictivo.
- **Marcela Rojas Cabello** - Ingeniero Civil, modelamiento complejo
- **Roberto Ahumada** – Ingeniero en Bioinformática, sistemas de información.
- **Magna Espinoza** – Apoyo administrativo

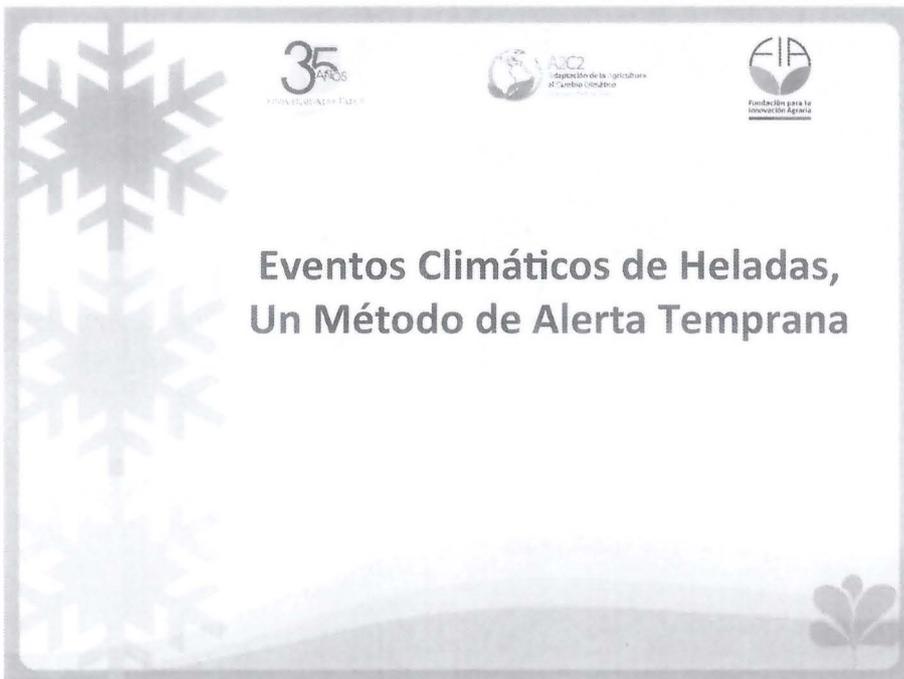


*Sistema de alerta temprana de episodios de heladas para agricultores de la Región del Maule. Basado en modelos predictivos que utilizan información agro-climatológica histórica y técnicas de Inteligencia Artificial*

José Antonio Reyes Suárez  
Universidad de Talca



# Anexo 3



**35 AÑOS**  
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGROPECUARIA

**AC2**  
Adaptación de la Agricultura al Cambio Climático

**FIA**  
Fundación para la Innovación Agraria

**Eventos Climáticos de Heladas,  
Un Método de Alerta Temprana**



**35 AÑOS**  
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGROPECUARIA

**AC2**  
Adaptación de la Agricultura al Cambio Climático

**FIA**  
Fundación para la Innovación Agraria

*Sistema de alerta temprana de episodios de heladas  
para agricultores de la Región del Maule.*

*Basado en modelos predictivos que utilizan  
información agro-climatológica histórica y técnicas  
de Inteligencia Artificial*

José Antonio Reyes Suárez  
Universidad de Talca



## Objetivo

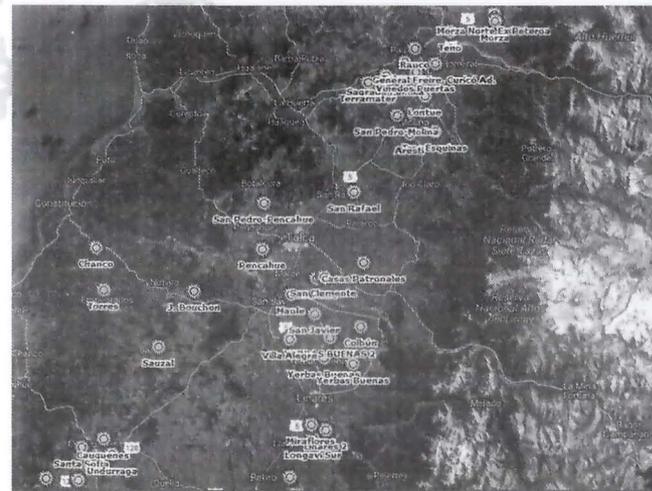
Desarrollar un sistema de alerta temprana de eventos de heladas para agricultores de la **Región del Maule y de O'Higgins**.

El sistema está basado en un modelo de predicción que utiliza técnicas de **Inteligencia Artificial**

Que es **entrenado** con información **agro-climatológica histórica** de las zonas de interés.



## Zonas de Interés





**Base de Datos**

Inicio | EWA | Mediciones | Consultas

Mediciones

Estacion:  Año:  Medicion:

Muestra 6

Polanco UTALCA	
Osorno UTALCA	
San Clemente UTALCA	
Arakena Meteorol	Osorno Meteorol/Estaciones Mes
La Reina Meteorol	
Gata Silva Meteorol	
Luzumbón Apalta Meteorol	
Versopampa Apalta Meteorol	
Marques Meteorol	
Versopampa Pizarro Meteorol	
Corral Meteorol	Osorno Meteorol/Estaciones Mes
Versopampa Pizarro de Arica	
Hacienda Anarizua Meteorol	
Viveros Punitas Meteorol	
Ternavente Meteorol	
San Pedro Molina Meteorol	
Arauco Meteorol	
El Aroco Meteorol	
San Pedro Freixaban Meteorol	
1. Escondido Meteorol	





FIA 2016 Estaciones Mediciones
Logout (fia)

Mediciones

Estación: Pangulemu Año: 2011 Medición: Temperatura

- Temperatura
- Humedad
- Radiación
- Precipitación
- Velocidad del viento

Mínimas/Máximas Mes

Mes	Min	Max
<input type="checkbox"/> <input type="button" value="↓"/> jan	0	31.92
<input type="checkbox"/> <input type="button" value="↓"/> feb	7.57	32.21
<input type="checkbox"/> <input type="button" value="↓"/> mar	3.54	31.89
<input type="checkbox"/> <input type="button" value="↓"/> apr	0	27.4

Gráfico Mínimas/Máximas

Temperatura 2011



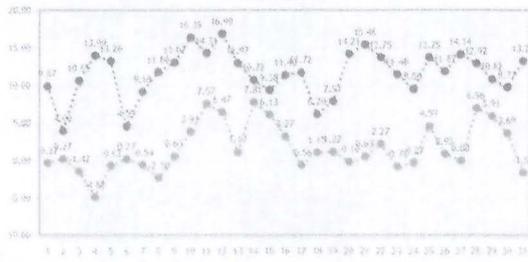




Mínimas/Máximas Día
Gráfico Mínimas/Máximas Día

Día	Min	Max
<input type="checkbox"/> 1	-0.27	9.87
<input type="checkbox"/> 2	0.27	4
<input type="checkbox"/> 3	-1.42	10.65
<input type="checkbox"/> 4	-4.88	13.99
<input type="checkbox"/> 5	-0.63	13.26
<input type="checkbox"/> 6	0.27	4.56
<input type="checkbox"/> 7	-0.54	9.18
<input type="checkbox"/> 8	-2.3	11.8
<input type="checkbox"/> 9	0.63	13.07
<input type="checkbox"/> 10	3.91	16.39

Detalle Mes 7

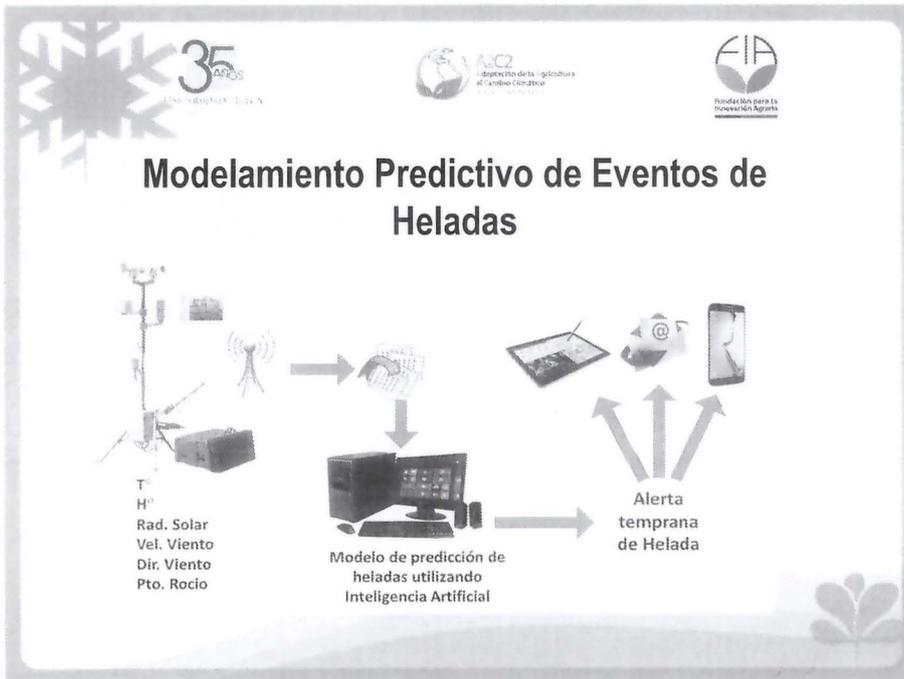


Previous 1 2 3 4



## Características de la Plataforma

- Información disponible
- Otro tipo de información o consultas
- ¿Otras formas de entregar la información?

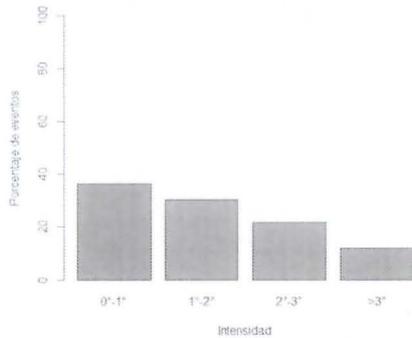


35 años  
1980-2015

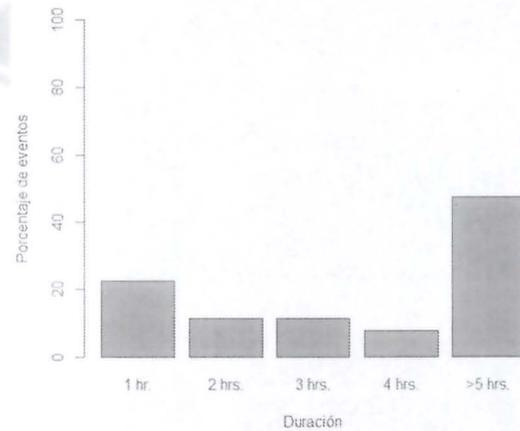


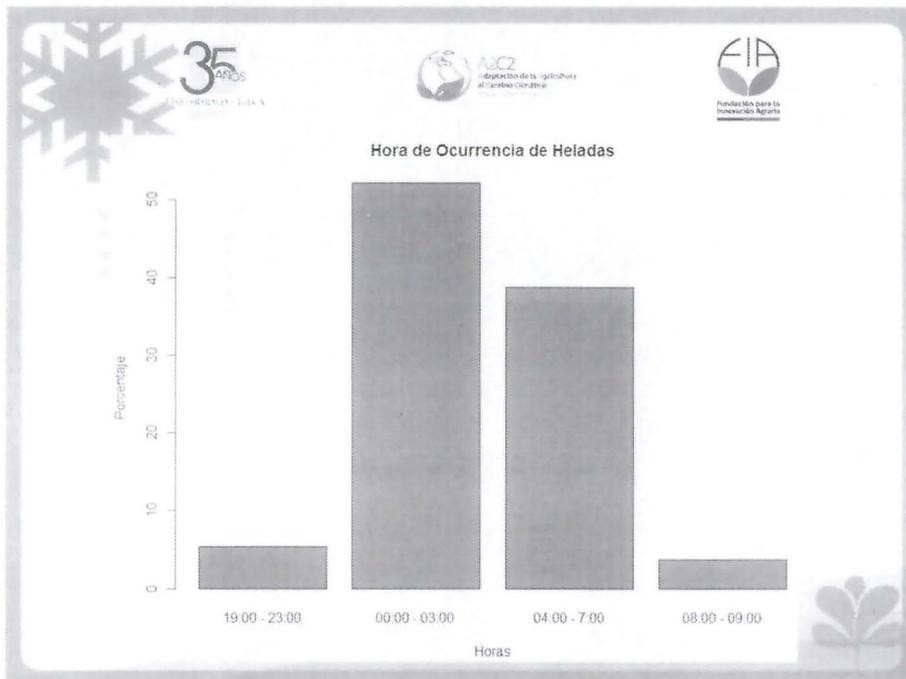
## Caracterización Eventos Heladas (2010-2015)

Histograma Intensidad Eventos Helada



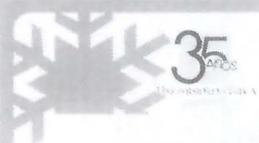
Histograma Duración Eventos Helada





## Resultados Modelamiento: ¿Que errores?

- Se evaluaron **diversas** técnicas y estrategias de modelamiento
- Predice **Helada  $\leq 0^\circ$**  (opciones  $a \leq 1^\circ; \leq 2^\circ$ )
- ¿qué tan bien funciona el modelo?
  - **Eficiencia Global** del modelo (EG)
  - **Helada No Detectada (HND)** – Sistema no predice bien!!!!
  - Sistema entrega **Falsa Alerta (FA)**



## Resultados en estaciones cercanas

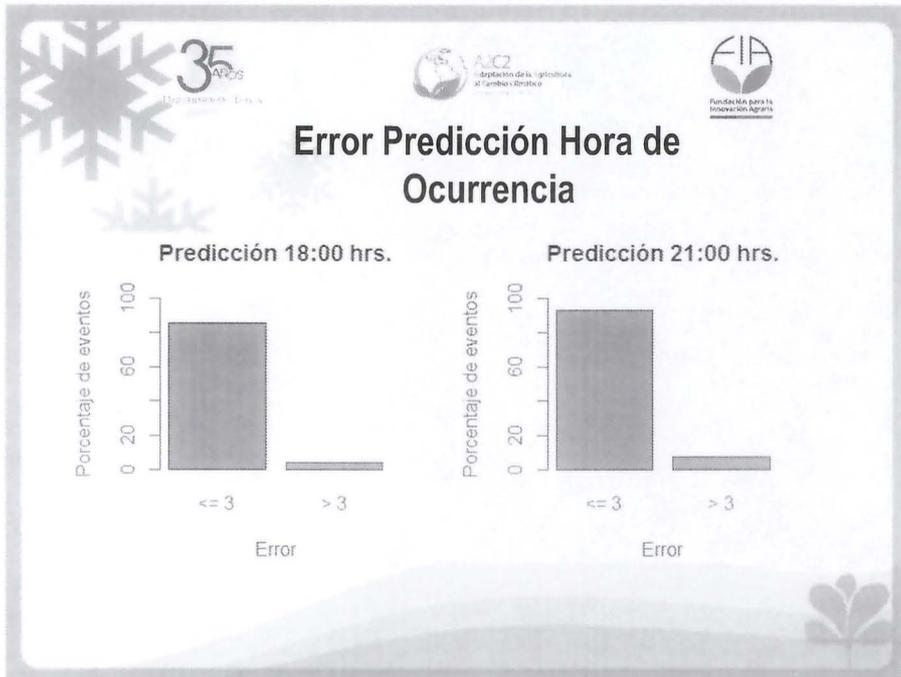
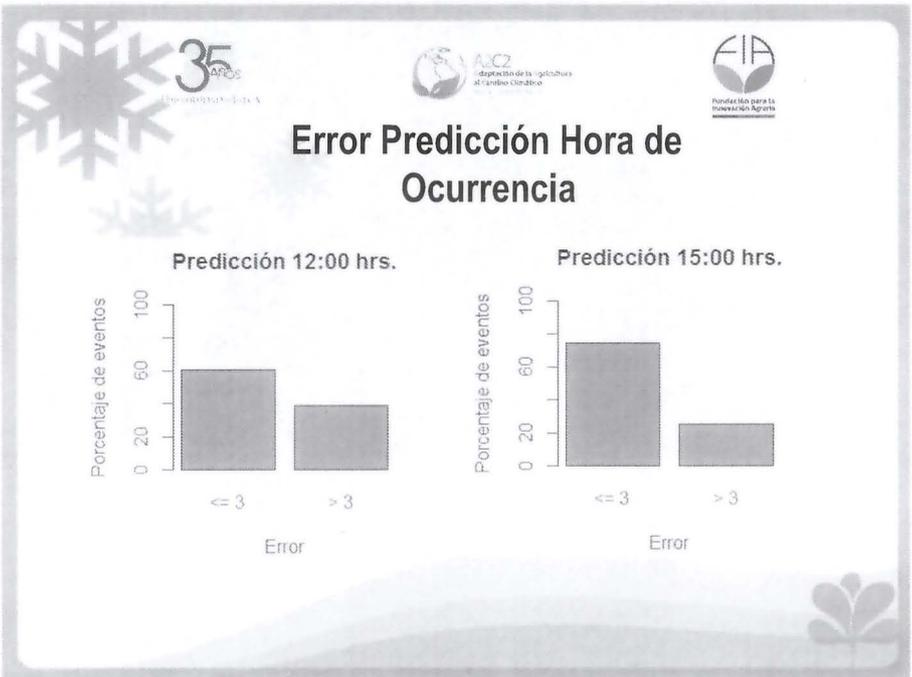
Estación	Comuna	EG	HND	FA
Miraflores	Linares	95%	6%	5%
Yerbas Buenas	Yerbas Buenas	91%	9%	8%
Colbún	Colbún	94%	7%	6%
Torres	San Javier	97%	4%	3%
San Javier	San Javier	93%	7%	7%
Villa Alegre	Villa Alegre	94%	7%	6%



## Predicción de la hora en que ocurre la Helada

- ◆ Se estima la **hora de inicio** de una helada.
- ◆ Se utiliza métodos de **Redes Neuronales Artificiales (AANN)**
- ◆ **Error promedio** en las predicciones (horas)







### Ejemplo de buenas Predicciones.

Estación	Fecha	Mínima Real	Alerta	Hora inicio real	Hora inicio predicha
Miraflores	10-06-16	-1,3°	Si	21:00 pm	23:00 pm
Miraflores	18-06-16	-3,4°	Si	22:00 pm	23:15 pm
Miraflores	28-06-16	-1,2°	Si	00:00 am	2:30 am
Yerbas Buenas	06-06-16	-1,4°	Si	5:30 am	3:45 am
Yerbas Buenas	08-07-16	-1,5°	Si	2:15 am	00:45 am
Yerbas Buenas	16-07-16	-1,6°	Si	23:15 am	00:30 am
Colbún	11-06-15	-1,2°	Si	3:15 am	00:45 am
Colbún	2-07-15	-0,4°	Si	4:00 am	3:15 am
Colbún	11-06-16	-1,7°	Si	2:00 am	00:15 am



### Ejemplo de Predicciones erroneas

Estación	Fecha	Mínima Real	Alerta	Hora inicio real	Hora inicio predicha
Miraflores	06-06-16	-0,5	No (HND)	3:15 am	2:00 am
Yerbas Buenas	12-04-16	1,7°	Si (FA)	5:15 am	3:45 am
Colbún	07-07-16	0,5°	Si (FA)	5:00 am	3:15 am





## Predicciones 17-09-2013

Inicio Historio

San Fernando [88] [2013-09-17 15:23:45]	Chambarongo [80] [2013-09-17 15:23:45]	Granero Norte [82] [2013-09-17 15:23:45]	Mostaza [83] [2013-09-17 15:23:45]	Chépica [74] [2013-09-17 15:23:45]	Santa Cruz [76] [2013-09-17 15:23:45]
Horario Predicción: 15:00					
Baja Probabilidad	Alerta Helada				
					
Los [77] [2013-09-17 15:23:45]	Piñeira [79] [2013-09-17 15:23:45]	Ruqueasa [82] [2013-09-17 15:23:45]	S. Esquivel [83] [2013-09-17 15:23:45]	Loreto [85] [2013-09-17 15:23:45]	San Rafael [84] [2013-09-17 15:23:45]
Horario Predicción: 15:00					
Alerta Helada					
					





## Predicciones 17-09-2013

Inicio Historio

San Pedro [85] [2013-09-17 15:23:45]	Yerba Buenas [87] [2013-09-17 15:23:45]	Cubán [88] [2013-09-17 15:23:45]	Loreto Norte [100] [2013-09-17 15:23:45]	Loreto Sur [101] [2013-09-17 15:23:45]	San Javier [102] [2013-09-17 15:23:45]
Horario Predicción: 15:00	Horario Predicción: 15:00	Horario Predicción: 15:00	Horario Predicción: 15:00	Horario Predicción: 15:00	Horario Predicción: 15:00
Baja Probabilidad	Alerta Helada	Baja Probabilidad	Alerta Helada	Alerta Helada	Alerta Helada
					
Los Tangueros [238] [2013-09-17 15:23:45]	Tobolun [261] [2013-09-17 15:23:45]				
Horario Predicción: 15:00	Horario Predicción: 15:00				
Sin Datos	Sin Datos				
					





## Predicciones 02-09-2016

Minas Helados Abus

Localidad	Horario	Predicción	Probabilidad	Alerta
San Fernando [58] [2016-09-02 15:23:17]	Horario Predicción 15:00	Baja Probabilidad		
Chimbarongo [59] [2016-09-02 15:23:17]	Horario Predicción 15:00	Baja Probabilidad		
Granero Norte [62] [2016-09-02 15:23:21]	Horario Predicción 15:00	Sin Datos		
Mosana [63] [2016-09-02 15:23:21]	Horario Predicción 15:00	Alerta Helada		
Chepca [74] [2016-09-02 15:23:21]	Horario Predicción 15:00	Baja Probabilidad		
Santa Cruz [76] [2016-09-02 15:23:21]	Horario Predicción 15:00	Alerta Helada		
Lora [77] [2016-09-02 15:23:21]	Horario Predicción 15:00	Alerta Helada		
Palma [79] [2016-09-02 15:23:21]	Horario Predicción 15:00	Baja Probabilidad		
Pezana [80] [2016-09-02 15:23:17]	Horario Predicción 15:00	Alerta Helada		
3 Esquinas [83] [2016-09-02 15:23:01]	Horario Predicción 15:00	Alerta Helada		
Lentel [80] [2016-09-02 15:23:01]	Horario Predicción 15:00	Alerta Helada		
San Pablo [94] [2016-09-02 15:23:01]	Horario Predicción 15:00	Alerta Helada		





## Predicciones 02-09-2016

Minas Helados Abus

Localidad	Horario	Predicción	Probabilidad	Alerta
San Pedro [86] [2016-09-02 15:23:23]	Horario Predicción 15:00	Alerta Helada		
Verbas Buenas [97] [2016-09-02 15:23:17]	Horario Predicción 15:00	Alerta Helada		
Cubón [86] [2016-09-02 15:23:23]	Horario Predicción 15:00	Baja Probabilidad		
Lungavi Norte [104] [2016-09-02 15:23:03]	Horario Predicción 15:00	Alerta Helada		
Lungavi Sur [101] [2016-09-02 15:23:03]	Horario Predicción 15:00	Alerta Helada		
San Javier [109] [2016-09-02 15:23:03]	Horario Predicción 15:00	Alerta Helada		
Los Lingues [229] [2016-09-02 15:23:21]	Horario Predicción 15:00	Baja Probabilidad		
Tiboguen [251] [2016-09-02 15:23:17]	Horario Predicción 15:00	Alerta Helada		



## Equipo de Trabajo

### Investigadores:

- **Alejandro Valdés** – Ing. Informática (MSc.)
- **Patricio González Colville** – Agro-climatología (MSc)
- **José Antonio Reyes** (Director Proyecto) - Modelamiento y Minería de Datos (PhD)

### Profesionales:

- **Patricia Moller Acuña** – (Director Alterno Proyecto) - Ingeniero en Bioinformática, Doctor(c) en Biotecnología, modelamiento predictivo.
- **Marcela Rojas Cabello** - Ingeniero Civil, modelamiento complejo
- **Roberto Ahumada** – Ingeniero en Bioinformática, sistemas de información.
- **Magna Espinoza** – Apoyo administrativo



## *Sistema de alerta temprana de episodios de heladas para agricultores de la Región del Maule.*

*Basado en modelos predictivos que utilizan información agro-climatológica histórica y técnicas de Inteligencia Artificial*

José Antonio Reyes Suárez  
Universidad de Talca

Seminario de cierre "Eventos climáticos de heladas, un método de alerta temprana"

Nombre	Dirección / Institución	Teléfono	Correo
Reneal Jaqueira	UTALCA - CITA A2C2.		
Rodrigo Meina	V. M. M. M. M. M.		
Ama Kana Flores	Vinos Kana M. M.		
ROBERTO ROCK	A&M S.A.		
PATRICIA RODRIQUEZ	UTALCA		

Seminario de cierre "Eventos climáticos de heladas, un método de alerta temprana"

Nombre	Dirección / Institución	Teléfono	Correo
Jose Antonio Yori	Agencia Pomacea		
Carbel Viteg	Bioinformatica		
Patricio Gonzalez	CITRA UTALCA		

# Anexo 4

## ¿En qué se basa este sistema?

Este sistema utiliza tecnología innovadora, basada en modelos matemáticos e inteligencia artificial del tipo clasificación y redes neuronales artificiales.

Este tipo de tecnología cuenta con la capacidad de aprender, lo que le permite ir perfeccionando su desempeño conforme pasa el tiempo para proveer al modelo con nueva información. Además permite analizar volúmenes muy grandes de información logrando así predecir situaciones a largo plazo.

## ¿Qué tan confiable es este sistema?

Este sistema ha sido probado exitosamente, logrando predecir con una efectividad superior al 90% la ocurrencia de las heladas.

## ¿Cómo puedo acceder a este sistema?

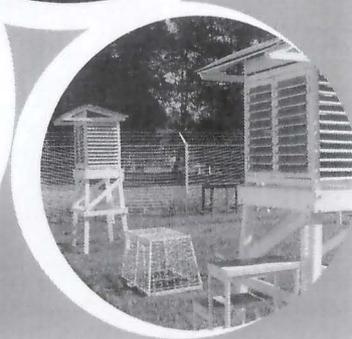
Para acceder a este sistema debe tener conexión a internet e ingresar a la página web <http://appsbio.entalca.cl/fia/index.php>, donde se alertará la ocurrencia de eventos de heladas.

Este sistema se podrá utilizar desde el año 2017 y cualquier usuario que desee consultar, lo podrá hacer seleccionando la estación o estaciones más cercanas, como se muestra a continuación



# Sistema de alerta temprana de episodios de heladas para agricultores de la Región del Maule

**Basado en modelos predictivos que utilizan información agro - climatológica histórica y técnicas de Inteligencia Artificial**



## ¿Qué es una Helada?

Se define helada cuando la temperatura mínima a 1.5 metros del suelo es igual o inferior a 0 °C.

## ¿Qué es la intensidad de la helada?

Es el punto más bajo que alcanza la temperatura mínima durante una helada. Por ejemplo 6° bajo cero.

## ¿Qué es la duración de una helada?

Es el período en tiempo que transcurre entre el inicio y el término de una helada. Es decir desde que la temperatura alcanza los 0 °C hasta el momento que supera esa cifra.

## ¿Cuándo tiempo puede durar una helada?

Según los registros una helada puede llegar a durar hasta 6 horas como promedio

## ¿Qué ocurre en cultivos cuando hay heladas?

Cuando la temperatura alcanza los 0° C se congela el agua extracelular lo cual genera una deshidratación y la muerte por necrosis de los tejidos, los cuales toman un color pardusco como si estuvieses "quemados". Este daño depende de la intensidad y duración temporal de la helada. También el congelamiento interno y externo del cultivo puede afectar a su desarrollo fisiológico, por ejemplo su capacidad de extraer agua y nutrientes desde el suelo por medio de las raíces.

## ¿Cuál es el período más vulnerable para un cultivo?

Durante los meses de septiembre y octubre. Los brotes verdes no toleran temperatura de 0° C o menos, por lo cual una helada tardía puede hacer perder hasta el 90% de la producción, si ocurre en estos meses, dependiendo de su duración e intensidad para necrosar los tejidos celulares de la planta.

Durante los meses de invierno, desde mayo a agosto, es donde se produce la mayor cantidad de días con heladas, en promedio unas 15 heladas en total. En este caso los cultivos de invernadero corren el riesgo de helarse.

## ¿A qué hora se producen las heladas?

Las heladas se producen, en promedio, entre las 02:00A.M y las 08:00 A.M.

## ¿Las heladas se pueden predecir?

Las heladas es un riesgo agroclimatólogico que solo produce daño. Por lo anterior existen métodos para controlar una helada y reducir su impacto negativo. Para aplicar algunos de los métodos de reducción de daño se hace indispensable pronosticar la ocurrencia de una helada con anticipación.

## Predicción temprana para eventos de heladas

El predictor de alerta temprana es un sistema disponible en una página web, este sistema entrega una alerta temprana hasta 12 horas antes de la ocurrencia de una helada, indicando además la intensidad, es decir cuál sería la temperatura más baja esa noche.

Este servicio se desarrolló enmarcado en el proyecto FIA Estudios y Proyectos de Innovación para monitoreo, control y gestión de heladas en las regiones de O'Higgins y Maule. Y cuenta con financiamiento de FIA, CITRA y el Centro de Bioinformática y Simulación Molecular de la Universidad de Talca.





## **Sistema de alerta temprana de episodios de heladas para agricultores de la Región del Maule**

**Basado en modelos predictivos que utilizan información agro - climatológica histórica y técnicas de Inteligencia Artificial**



# Anexo 5

# Prediction of Frost Episodes Based in Agrometeorological Information and Machine Learning Techniques

(Predicción de Episodios de Heladas Basado en Información Agrometeorológica y Técnicas de Aprendizaje Automático)

Patricia Möller-Acuña, Roberto Ahumada-García, and José Reyes-Suárez

**Abstract**—Frosts are one of the main risks faced by farmers during the winter and spring seasons. These events can cause significant damage to cultivations and crops. In Chile, these frost generates significant losses in the agricultural production sector, causing crop losses of an entire year and compromising the income of the following year, especially fruit and wine growers. In this work we developed a prediction model based on historical agrometeorological information able to predict efficiently and up to 12 hours earlier than the occurrence of a frost event. With a special focus on the central Chilean zone. Various algorithms and machine learning methods were evaluated, we found that the method "Random Forest" exhibits the best results overall. The results obtained in the frost prediction reach over (90%) of efficiency in most of the evaluated scenarios.

**Index Terms**—Predictive models, meteorology, machine learning.

## I. INTRODUCCIÓN

UNA de las variables térmicas de más riesgo que los agricultores enfrentan son las heladas de invierno y las primaverales. Cuando la temperatura del aire toma valores iguales o menores de cero grados estamos hablando del fenómeno "helada".

Técnicamente, la palabra "helada" se refiere a la formación de cristales de hielo sobre las superficies, tanto por congelación del rocío como por un cambio de fase de vapor de agua a hielo [1], hay que tener en cuenta que la sensibilidad que un vegetal tiene al frío depende de su estado de desarrollo, los estados fenológicos más vulnerables al frío son la floración y el cuajado de frutos [1] [2] [3]. En la literatura en general se han definido heladas de dos tipos: "advectiva" y "radiativa". Las heladas advectivas están asociadas en general al paso de un frente frío con invasión de masas de aire a bajas temperaturas [4], los daños producidos pueden ser bastante severos. Por su parte las heladas de radiación se producen por el enfriamiento

de las capas bajas de la atmósfera y de los cuerpos que en ellas se encuentran debido a la emisión de calor terrestre. En este caso, se produce una estratificación del aire en donde las capas más bajas son más frías y las capas más altas son más cálidas. Este tipo de heladas se produce cuando el día es calmado ya que la ausencia de viento impide mezclar estas capas [4]. Estas diferencias se observan en la TABLA I, sin embargo en algunos casos, se produce una combinación tanto de condiciones advectivas como radiativas. Por ejemplo, no es extraño tener condiciones advectivas que traen una masa de aire frío en una región provocando una helada advectiva. Esto puede venir seguido por varios días despejados, con condiciones de calma que conducen a heladas de radiación. Se puede afirmar que en las zonas de producción agrícola de Chile, prácticamente no hay lugar que esté totalmente libre de heladas, aunque la frecuencia e intensidad de las mismas varía ampliamente entre distintas localidades. Además es importante mencionar se han realizados diversos estudios relacionados a este tema en diferentes partes del mundo [5] [6], lo que da cuenta de la importancia de evaluar la ocurrencia de heladas.

En Chile, las heladas generan importantes pérdidas en el sector productivo agrícola [7], provocando pérdidas de la cosecha de un año entero y comprometiendo ingresos del siguiente, sobre todo para fruticultores y viticultores.

TABLA I  
TERMINOLOGÍA DE EVENTOS DE HELADAS Y SUS CARACTERÍSTICAS

Tipo de Helada	Característica
Radiativa	Cielo despejado, baja humedad relativa, sin viento, noche larga.
Advectiva	Mucho viento, alta humedad relativa, temperaturas inferiores a 0 °C durante el día.

Las cifras de estimación entregadas por las autoridades y distintas asociaciones gremiales apuntan a que la pérdida económica es entre US\$ 600 a US\$ 900 millones. El volumen exportado disminuye entre un 15-20%. Mientras que el impacto negativo sobre el empleo de temporeros agrícolas se estima genera una disminución cercana al 20% [7].

Patricia Möller-Acuña, Facultad de Ingeniería, Universidad de Talca, Talca, Chile. (e-mail: pmoller@utalca.cl)

Roberto Ahumada-García, Facultad de Ingeniería, Universidad de Talca, Talca, Chile. (e-mail: robertoahumadagarcia@gmail.com)

José Reyes-Suárez, Facultad de Ingeniería, Universidad de Talca, Chile. (e-mail: jareyes@utalca.cl)

"La investigación que condujo a este estudio fue financiada por la Fundación Para la Innovación Agraria, FIA, a través del proyecto PYT-2015-0311"

Las técnicas de protección contra heladas normalmente se dividen en métodos indirectos y directos, o en métodos pasivos y activos [8] y [9]. Los métodos pasivos son los que actúan en términos de prevención, normalmente para un periodo largo de tiempo y cuyas acciones son particularmente beneficiosas cuando se producen las condiciones de helada. Los métodos activos son temporales y requieren intensamente energía, trabajo, o ambos.

El aprendizaje automático es una rama de la inteligencia artificial en la cual se desarrollan métodos a través del cual un computador es capaz de aprender basado en experiencia previa. Según Mitchell [10], aprendizaje automático es el proceso a través del cual un computador es capaz de aprender de una experiencia para aplicarlo sobre una tarea de aprendizaje la cual es finalmente medida por la performance.

Es así como de forma más específica se generan algoritmos que le permiten al computador generalizar comportamientos a partir de la experiencia proporcionada con el objetivo de repetir esta generalización en nuevos ejemplos.

Actualmente la predictibilidad de sucesos de heladas depende en gran medida por pronósticos de temperatura basados en modelos predictivos generales, que predicen condiciones promedio en grandes extensiones de territorio del país [11] [12] [13]. En estos casos se lleva a cabo una predicción hora a hora (o menor escala de tiempo incluso) de la temperatura promedio estimada para cada zona de interés. Son numerosos los estudios recientes reportados en la literatura, donde modelos de Inteligencia artificial son utilizados para desarrollar modelos de predicción de condiciones climatológicas extremas (como bajas y altas temperaturas)[5] [6]. En particular respecto a la predicción de eventos de baja temperatura estos destacan la dificultad que tienen los modelos tradicionales, basados en general en técnicas de regresión, para predecir eventos extremos [14] [15] [16]. En este artículo se presenta un modelo de predicción de heladas que utiliza información agroclimatológica histórica de carácter local, este modelo capaz de predecir de manera eficiente y con hasta 12 horas de antelación la ocurrencia de un evento de heladas en una zona específica cercana a una estación meteorológica. A diferencia de modelos predictivos que se utilizan regularmente para estos fines, el modelo propuesto en este artículo está enfocado en predecir la ocurrencia de eventos puntuales de heladas y no en una predicción y monitoreo permanente (hora a hora) de las temperaturas en la zona de estudio. Es decir nuestro modelo pretende entregar una predicción confiable respecto al riesgo de ocurrencia o no de una helada en un día determinado.

## II. CARACTERIZACIÓN DE EVENTOS DE HELADAS

En este artículo nos enfocamos en estudiar la zona que comprende la localidad de Panguilemo, que está situado en la comuna de Talca, provincia de Talca. En esta localidad se encuentra la Estación Experimental Panguilemo, de la Universidad de Talca, es un campo que tiene 128 ha en donde se ejecutan entre otros, ensayos agro-meteorológicos. Además en esta localidad son comunes los eventos de heladas, causando daño a la agricultura en la región. La información agro - climatológica fue obtenida de la estación meteorológica

automática (EMA) de Panguilemo, la cual se puede observar en la Fig. 1 perteneciente al Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología (CITRA-UTALCA).

Con el fin de agrupar e identificar los diferentes eventos de heladas, se realizó una caracterización de éstas. La caracterización corresponde al periodo 2010-2015. En la estación antes mencionada se encontraron 143 eventos de helada, considerando que las heladas son eventos con temperatura menor o igual a  $0^{\circ}\text{C}$ .

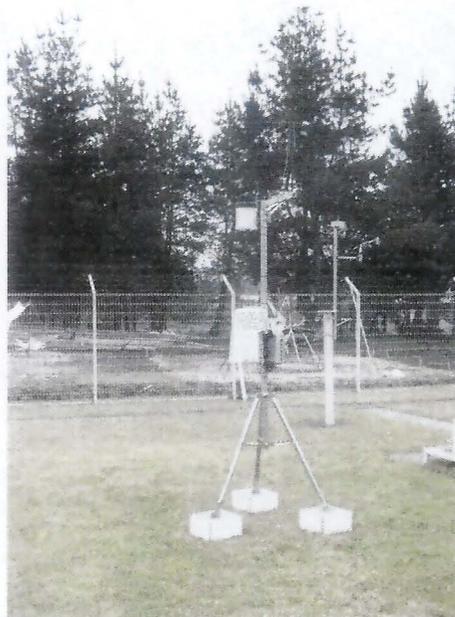


Fig. 1. EMA Panguilemo.

La distribución de ocurrencia mensual de eventos de heladas en los últimos años de acuerdo a los años se muestra a continuación en la TABLA II. Aquí se observa que los dos últimos años (2014 y 2015), la cantidad de eventos de heladas ha disminuido significativamente respecto a los años anteriores. Situación que pareciera estar revirtiéndose según los registros parciales de temperaturas en lo que lleva el año 2016 en la zona centro-sur de Chile. Además se puede observar que los eventos de helada ocurren principalmente entre los meses de mayo y agosto, donde julio es el mes con mayor número de heladas.

Dentro las 143 heladas registradas en el período 2010-2015, el promedio de intensidad (considerando que la intensidad es la menor temperatura ocurrida durante el evento de helada) de estas heladas es de  $-1.6^{\circ}\text{C}$ , siendo el episodio que presenta la menor temperatura uno ocurrido durante el año 2015 y que alcanzó los  $-4.88^{\circ}\text{C}$ . Por otro lado la duración promedio de las heladas es de 4 horas y 30 minutos aproximadamente.

Las Fig. 2 y 3 muestran respectivamente la distribución en cuanto a intensidad y duración de las heladas registradas en la EMA Panguilemo.

Se observa que cerca de un 70% de los eventos de heladas registrados en esta estación meteorológica en el período 2010-

TABLA II  
DISTRIBUCIÓN EVENTOS DE HELADAS EMA PANGUILEMO

Mes	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total
Enero	0	0	0	0	0	0	0
Febrero	0	0	0	0	0	0	0
Marzo	0	0	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	1	0	1
Mayo	0	2	1	5	2	3	13
Junio	3	7	5	9	4	6	34
Julio	14	11	9	7	4	5	50
Agosto	9	8	5	10	2	2	36
Septiembre	2	1	0	5	0	1	9
Octubre	0	0	0	0	0	0	0
Noviembre	0	0	0	0	0	0	0
Diciembre	0	0	0	0	0	0	0
Total	28	29	20	36	13	17	143

2015 alcanzan valores de intensidad de entre 0°C a -2°C (Fig. 2).

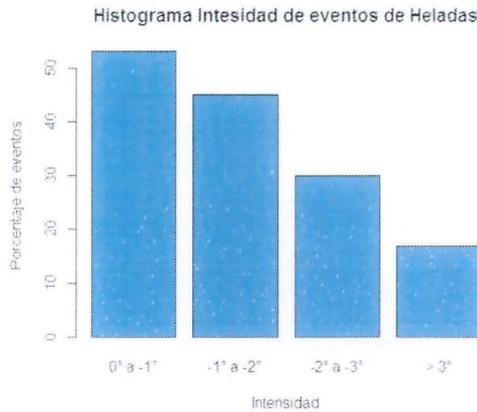


Fig. 2. Histograma intensidad eventos de Helada.

Por otro lado es posible observar que alrededor del 50% de las heladas registradas en esta estación meteorológica presentan una duración mayor a 5 horas (Fig. 3).

Además es posible observar en la Fig. 4 que si bien existe una cierta relación de linealidad entre la intensidad y duración de las heladas registradas en esta estación, esta relación no siempre se mantiene constante, observándose varios casos que se alejan de este comportamiento.

Todo esto resulta interesante debido a que nos indica que no es posible encontrar una relación simple o clara entre estas variables analizadas y la ocurrencia de una helada. Por lo tanto existirían otras variables o patrones que influyen en la descripción de los diferentes eventos de heladas. Asociadas por ejemplos a otras variables climatológicas como humedad, radiación, viento, entre otras.

Finalmente al caracterizar los eventos de helada según la hora de inicio del evento, se puede observar que cerca del 50% de estos eventos se inician entre las 00:00 am y las 3:00 am. Más aún se puede apreciar que cerca del 90% de todos

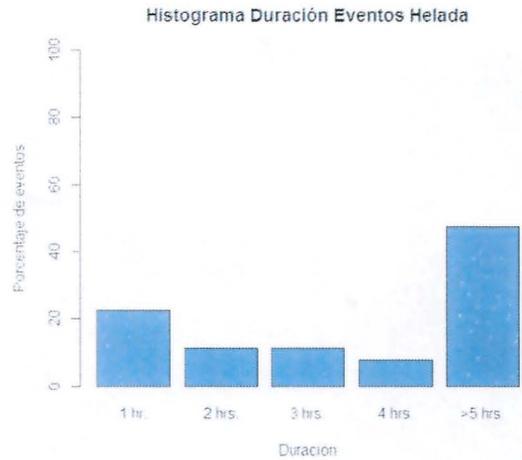


Fig. 3. Histograma duración eventos de Helada.

las heladas registradas en esta EMA ocurren entre las 00:00 am y las 7:00 am, según lo presentado en la Fig. 5.

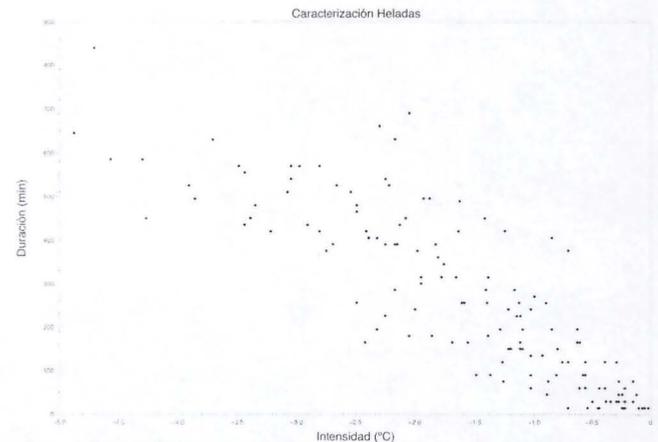


Fig. 4. Correlación entre duración e intensidad de los eventos de Helada.

Se observa en las caracterizaciones antes mencionadas que en general las heladas no presentan un comportamiento claro que sea posible de describir de manera adecuada con las variables antes mencionadas. Si bien existen ciertas tendencias en cuanto a frecuencia, duración e intensidad de las heladas ocurridas, no es posible encontrar una relación clara y simple para predecir la ocurrencia de un nuevo evento de heladas. Lo anterior muestra la complejidad asociada al fenómeno de heladas. Esto motiva la investigación desarrollada en este trabajo, asociada a entrenar y evaluar modelos de predicción de eventos de heladas utilizando técnicas de aprendizaje automático, que permitan integrar nuevas variables al proceso de modelamiento predictivo y con foco en encontrar patrones complejos que relacionen estas variables con la ocurrencia de una helada en un día determinado.

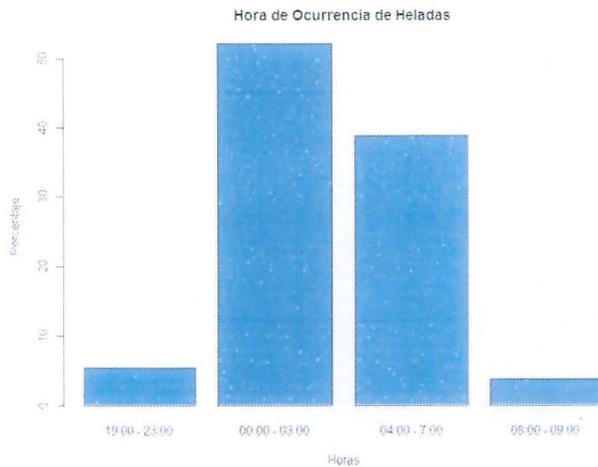


Fig. 5. Histograma respectivo a la hora de inicio eventos de Helada.

### III. MODELO PREDICTIVO

En este artículo seguimos un procedimiento estándar para entrenar y evaluar modelos predictivos basados en técnicas de aprendizaje automático (Machine Learning).

En una primera etapa nos enfocamos en generar un set de datos a utilizar en el proceso de desarrollo de un modelo de predicción de eventos de heladas. Para esto tomamos como base los 143 eventos descritos en la sección anterior (TABLA II), que corresponden a la “Clase 1” de nuestro problema (Heladas). Del mismo modo tomamos registros de los otros días en el período 2010-2015 en donde no se registraron heladas, conformando un set de sobre 500 ejemplos correspondientes a la “Clase 2” de nuestro problema (No-Heladas) ocurridas entre los meses de Mayo-Agosto en el período de años 2010-2015. Cada uno de estos ejemplos de nuestro set de referencia será caracterizado con atributos o descriptores asociados a: temperatura, humedad relativa, radiación solar, punto de rocío, velocidad y dirección del viento. Cabe mencionar que cada uno de estos descriptores corresponden a mediciones realizadas y registradas cada 15 minutos por la EMA durante el período 2010-2015. Esta información fue depurada y depositada en una base de datos local que se encuentra disponible para consulta en el siguiente link <http://appsbio.utralca.cl/fia/>.

A diferencia de sistemas predictivos tradicionales, en este trabajo nos enfocamos en predecir el riesgo de ocurrencia de un evento de helada en un día en particular, que ocurren en general en las primeras horas del día (00:00 – 07:00). Adicionalmente nos centramos en poder entregar una alerta temprana de ocurrencia de helada. Para esto hemos definido las 15:00 como el punto de entrega del pronóstico de helada que ocurriría durante las horas de la noche o madrugada del día siguiente. Esto en base a lo observado en los registros de heladas ocurridos en el último tiempo en la EMA Panguilemo.

Los distintos ejemplos de Heladas y No-Heladas considerados en el set de referencia son caracterizados entonces por un vector de atributos asociados a los descriptores antes men-

cionados. Se consideró en este caso la información registrada en la EMA para cada caso durante el intervalo de 9 horas anterior a la entrega del pronóstico de helada, desde las 06:00 hasta las 15.00 horas. Este esquema de de modelamiento para pronóstico de ocurrencia de helada se describe en la Fig. 6, donde se analiza un ejemplo en particular ocurrido en Julio del año 2015. La línea azul muestra los datos utilizados para el modelo, el punto verde (15.00 hrs) indica la hora en la que se entrega la alerta de helada. La línea roja muestra la duración del evento de helada, mientras que el punto en rojo muestra la intensidad de ésta. Cabe mencionar que los distintos descriptores se agruparon en promedios por hora, de modo de obtener 9 registros de cada tipo como información que alimenta el modelo.

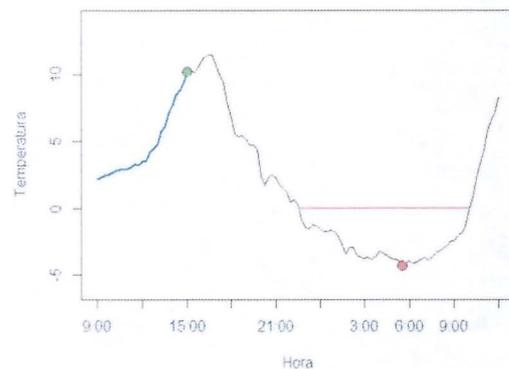


Fig. 6. Ejemplo de una helada ocurrida el día 4 de Julio de 2015, registrada en la EMA Panguilemo.

Dado el set de referencia anteriormente descrito, se evaluaron diversos métodos de clasificación como Naive Bayes [17], Random-Forest [18] y [19], Árboles de Decisión [20] y SVM [21]. Todo los cuales fueron implementados en el lenguaje de programación R.

Cada uno de los modelos fue evaluado, para realizar las distintas evaluaciones se obtuvieron tasas de desempeño que ayudan a determinar qué tan bien desarrollo la tarea cada modelo.

La performance los modelos fue estimada utilizando validación cruzada, específicamente el método de LOOCV (Leave One-Out Cross Validation). Esta consiste en entrenar el modelo utilizando todos menos un ejemplo, luego se utiliza ese ejemplo reservado para testear o evaluar el modelo entrenado. Este proceso se realiza para cada uno de los ejemplos del set de entrenamiento. A partir de los resultados obtenidos en LOOCV se obtuvieron las siguientes medidas de performance definidas para este problema:

- *Eficiencia global (EG)* del modelo, que corresponde a tasa de éxito general de la predicción.
- *Tasa de Heladas No Detectadas (HND)*, que corresponde a porcentaje o tasa de eventos de heladas que no fueron detectadas por el modelo.

- *Tasa de falsas alertas (FA)*, que corresponde a porcentaje o tasa de eventos de no-heladas incorrectamente predichas.

#### IV. RESULTADOS DE PREDICCIÓN DE EVENTOS DE HELADAS

##### A. Evaluación del Modelo periodo 2010-2015

Se evaluaron diversas técnicas y estrategias de modelamiento, con el fin de generar el modelo de predicción más robusto para la tarea propuesta, esta corresponde a “*predecir de forma temprana la ocurrencia de un evento de helada para la localidad de Panguilemo utilizando información agro-climatológica local de la EMA de referencia*”.

Al observar la composición de ejemplos del set referencia se observa claramente un desbalance de clases en donde la clase minoritaria (ejemplos de Heladas) está en una razón cercana a 1:4 respecto a la clase mayoritaria (ejemplos de NO-Heladas). Esta situación genera un problema en la performance obtenida por los diversos modelos de clasificación evaluados. En todos los casos se obtienen valores de HND (tasa de heladas no detectadas) sobre 30%, alcanzando incluso valores de hasta 60% en el caso de Naive Bayes. Todo esto está asociado al error de la clase minoritaria, indicando claramente el efecto que provoca el desbalance de clases en la performance de los modelos entrenados.

Para enfrentar esta situación se utilizó la metodología de SMOTE, que es un algoritmo utilizado para aumentar la sensibilidad de un clasificador a la clase minoritaria. Esto se produce a través de la generación de datos sintéticos a partir de datos reales, usando el promedio de los atributos de una combinación de diversos ejemplos de la clase que se encuentra desbalanceada [22].

Se realizó un proceso de optimización del balanceo entre las clases de este problema de forma de encontrar la cantidad precisa de ejemplos artificiales necesarios para conseguir buenos indicadores de performance en los modelos generados, esto se llevó a cabo utilizando un procedimiento estándar disponible en R para balancear set de entrenamiento. Los resultados de la evaluación de los distintos métodos de clasificación evaluados se presentan en la TABLA III, donde se presentan los valores de EG, HND y FA obtenidos en el mejor caso para cada uno de los métodos de clasificación evaluados.

TABLA III  
PREDICCIÓN EMA PANGUILEMO

Modelo	EG	HND	FA
Naive Bayes	67,30%	0,395	0,319
Random Forest	97,32%	0,035	0,020
Árboles de Decisión	80,11%	0,234	0,184
SVM	52,30%	0,508	0,485

Resultados de los diferentes métodos de clasificación utilizados, donde EG: Eficiencia Global, HND=Helada no Detectada, FA: Falsa Alerta.

A partir de los resultados obtenidos por cada modelo de clasificación (TABLA III), se aprecia claramente que el

método de Random-Forest es el que entrega significativamente mejores resultados considerando cada una de las medidas de performance evaluadas. Cabe mencionar que ninguno de los otros métodos de clasificación evaluados es capaz de describir de manera apropiada el problema de predicción planteado en este trabajo. Esto creemos se debería a la complejidad de la tarea y a la necesidad de encontrar patrones complejos que relacionen los distintos descriptores y variables climatológicas asociadas a la problemática. El método de Random-Forest, debido a que está basado en una técnica de ensamblaje de diversos modelos de clasificación entrenados en cada uno con diferentes condiciones, permitiría encontrar patrones no localizables por los otros esquemas de clasificación evaluados.

Un factor importante a considerar en este trabajo, es generar un modelo de predicción que entregue bajo error del tipo HND. Esto debido a que representa el problema mayor para agricultores, porque al no ser detectado un evento de helada, éste no se prepara para proteger sus cultivos de posibles daños. Por tanto la entrega oportuna y eficiente de un pronóstico de heladas juega un rol importante para la toma de decisiones del agricultor frente a un supuesto evento de helada que ocurrirá.

##### B. Evaluación del Modelo por Temporadas

Tomando como base el método de Random-Forest que entregó mejores resultados en la etapa anterior, se desarrolló una segunda estrategia de evaluación de la performance de este modelo.

Para esto se consideró el testear la performance del modelo de predicción sobre todos los registros del set de referencia (Heladas y No-Heladas) de un año cualquiera, cuyos datos no fueron utilizado para entrenar el modelo de predicción. Esto se repitió para cada una de las temporadas registradas en el período 2010-2015.

En este escenario de evaluación, en la etapa de entrenamiento del modelo de Random-Forest se utiliza SMOTE para balancear los ejemplos de cada clase, es decir se crean nuevos ejemplos artificiales para entrenar un modelo balanceado. Sin embargo en la etapa de testeo del modelo, solo se utilizan ejemplos reales de Heladas y NO-Heladas registradas en la EMA para una temporada determinada. Esto permite obtener una representación más realista del funcionamiento que tendría un modelo de predicción como el propuesto en este trabajo y aplicable a las próximas temporadas venideras.

Este escenario además toma en cuenta que existe una variabilidad significativa en la información agro-climatológica registrada año tras año, por ejemplo en cuanto a temperaturas promedio (i.e. años más fríos), precipitaciones (años más lluviosos o secos), lo a que a su vez se refleja en otras variables como humedad, viento, etc. Los resultados de la evaluación por temporada se presentan en la TABLA IV.

Los resultados obtenidos muestran que la performance obtenida por el método de Random-Forest en este nuevo escenario de evaluación disminuye significativamente respecto al caso anterior. Esto se debería sin duda al efecto de temporalidad que existe en el clima y que se representa en este nuevo escenario de evaluación.

Sin embargo en este nuevo escenario Random-Forest sigue entregando significativamente mejores resultados que los otros

TABLA IV  
PREDICCIÓN EMA PANGUILEMO

Año	EG	HND	FA
2010	90%	0,124	0,098
2011	81%	0,246	0,109
2012	94%	0,073	0,058
2013	91%	0,108	0,079
2014	92%	0,096	0,071
2015	87%	0,147	0,124

Performance del modelo evaluado en años independientes, donde EG: Eficiencia Global, HND=Helada no Detectada, FA: Falsa Alerta.

métodos de clasificación evaluados. Se aprecia de igual forma que en la mayoría de las temporadas evaluadas se obtiene performances medidas como EG sobre el 90% y con errores del tipo HND bajo el 15%, lo cual representa una mejora significativa en cuanto a los errores de este tipo reportados con métodos tradicionales de predicción de temperatura, y que son aceptadas por la comunidad agrícola como un resultado aceptable y útil.

De la TABLA IV se puede observar que en particular el año 2011 fue una temporada más compleja de predecir en comparación a las otras temporadas. Esto se explica al caracterizar las heladas de dicho año las cuales presentan condiciones atípicas, con promedios de temperatura bajos y un año seco en general. Es posible pensar que los registros de Heladas y No-Heladas de la temporada 2011 pudieran estar afectando la performance del modelo de predicción para las otras temporadas.

Para evaluar este efecto se procedió a realizar una nueva evaluación por temporada, pero en este caso eliminando los registros del año 2011 del proceso. Se confirmó en este escenario que la performance de cada una de las temporadas evaluadas aumenta de manera significativa, alcanzando en todos los casos valores de EG sobre el 90% y errores de HND bajo el 10%. Confirmando que el año 2011 presenta condiciones climatológicas diferentes y atípicas al resto de los años evaluados.

Es esperable que a medida que nuevos registros de temporadas venideras se incorporen al modelamiento predictivo, los resultados de performance por temporada tiendan a mejorar y equilibrarse en valores aceptables para la toma de decisiones de agricultores.

## V. CONCLUSIÓN Y TRABAJO FUTURO

Las heladas registradas en datos históricos muestran efectos devastadores para la agricultura en la zona centro-sur de Chile. En este trabajo se presenta el desarrollo de un modelo de predicción de episodios de heladas basado en información meteorológica y técnicas de aprendizaje automático.

Diversos métodos de aprendizaje automático fueron evaluados para esta tarea encontrando que el algoritmo de clasificación Random-Forest entrega los mejores resultados en los

distintos escenarios y condiciones evaluadas para registros de Heladas y No-Heladas ocurridas en período 2010-2016. Esto nos indica que este algoritmo se adapta mejor a la condiciones planteadas en la problemática propuesta en este trabajo asociada a “predecir de forma temprana la ocurrencia de un evento de helada utilizando información agro climatológica”. El modelo desarrollado alcanza una eficiencia cercana al (90%) de eficiencia, siendo capaz de predecir hasta con 12 horas de anticipación la ocurrencia de un episodio de helada. Este trabajo por tanto entrega resultados concluyentes en cuanto a que es si posible generar un modelo de predicción temprana de eventos de heladas basado en información agro meteorológica histórica.

Cabe mencionar que esto corresponde a un trabajo inicial en esta temática, y resulta por tanto necesario validar la metodología presentada con registros asociados a otras estaciones meteorológicas y en distintas zonas geográficas del país, para dar generalidad al modelo propuesto. Adicionalmente nos encontramos en etapa de desarrollo de modelos predictivos asociados a inferir la hora de inicio, intensidad y duración que presentan los eventos de helada aquí estudiados. Todo esto de modo de integrar estos distintos niveles de modelamiento de la problemática en un esquema general de predicción que a futuro nos permita entregar el riesgo de ocurrencia de una helada, y a la vez una estimación de la hora de inicio, duración y la intensidad que tendrá la helada.

## REFERENCIAS

- [1] J. Levitt, *Responses of plants to environmental stresses*, Vol. I. Chilling, freezing and high temperature stresses. 2nd edn. New York: Academic Press Inc. p. 67-344, 1980.
- [2] A. Sakai, and W. Larcher, *Frost survival of plants. Responses and adaptation to freezing stress Berlin, Germany*. Springer-Verlag, 2:1-36, 1987.
- [3] M. Alberdi, and L. Corcuera, Cold acclimation in plants. *Phytochemistry*, 30:3177-3184, 1991.
- [4] R. Snyder, U. Paw, and J. Thompson, Passive frost protection of trees and vines. University of California DANR Leaflet N° 21429, 1987.
- [5] Evaluation of the occurrence of agricultural frost in state of Parana, Brazil, generated by a regional forecast model. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 15, EGU2013-1943, 2013.
- [6] The Prediction of Extreme Agrometeorological Indices Using the Canadian Meteorological Centres Medium Range Forecasts. En 38th NOAA Annual Climate Diagnostics and Prediction Workshop College Park, MD, 21-24 October 2013.
- [7] Odepa, Estudio: Efecto heladas de septiembre en frutales y hortalizas entre la Región de Coquimbo y la del Maule. Estudio encargado por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (Odepa) del Ministerio de Agricultura. 2013.
- [8] J. Kalma, G. Laug, J. Caprio, and P. Hamer, *Advances in Bioclimatology. The Bioclimatology of Frost*. Berlin: Springer-Verlag, 144p, 1992.
- [9] L. Morales, Evaluación y zonificación topoclimática. Tesis Doctoral. Universidad de Concepción, Chile, 1997.
- [10] T. Mitchell, *Machine Learning*. 1146/annurev.cs, 1990.
- [11] A. Bagdonas, J. Georg, and J. Gerber, Techniques of frost prediction and methods of frost and cold protection. World Meteorological Organization Technical Note, No. 157. Geneva, Switzerland. 160p, 1978.
- [12] N. Japkowicz, Learning from Imbalanced Data Sets. *Papers from AAAI Workshop*, 21(9), 10-15, 1997. Retrieved from <http://www.aaai.org/Papers/Workshops/2000/WS-00-05/WS00-05-003.pdf>
- [13] T. Pers, A. Albrechtsen, C. Holst, T. Sørensen, and T. Gerds, The validation and assessment of machine learning: a game of prediction from high-dimensional data. *PLoS One*, 4(8), 2009.
- [14] P. Sallis, M. Jarur and M. Trujillo Frost Prediction Characteristics and Classification Using Computational Neural Network. *ICONIP 2008, Part I, LNCS 5506*, pp. 1211-1220, 2009.

- [15] G Emmanouil, G Galanis and G Kallos Statistical methods for the prediction of night-time cooling and minimum temperature. *Meteorol. Appl.* 13, 1–11, 2006
- [16] E Eccel, L Ghielmi, P Granitto, R Barbiero, F Grazzini and D Cesari Prediction of minimum temperatures in an alpine region by linear and non-linear post-processing of meteorological models. *Nonlin. Processes Geophys.*, 14, 211-222, 2007
- [17] I Rish An empirical study of the naive Bayes classifier. *JCAI Workshop on Empirical Methods in AI.*, 1997
- [18] <https://cran.r-project.org/web/packages/randomForest/randomForest.pdf>
- [19] L. Breiman Random forests. *Mach Learn.* 45:5–32, 2001.
- [20] <https://cran.r-project.org/web/packages/RWeka/RWeka.pdf>
- [21] <https://cran.r-project.org/web/packages/e1071/vignettes/svmdoc.pdf>
- [22] N Chawla, K. Bowyer, L. Hall, W. Kegelmeyer. SMOTE: Synthetic minority over-sampling technique. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 16, 321–357, 1997.



**Patricia Möller-Acuña** es Ingeniero en Bioinformática y Licenciado en Ciencias de la Bioinformática de la Universidad de Talca, Chile, y Dra (c) en Biotecnología de la Universidad de Santiago de Chile. Investigadora en proyectos relacionados con minería de datos en áreas agronómicas y biotecnológicas específicamente en estudios de proteínas. Sus áreas de investigación son: Minería de Datos, Aprendizaje Automático y el desarrollo de modelos de inferencia aplicados en agronomía y sistemas biológicos, bioinformática y biotecnología.



agricultura de precisión.

**Roberto Ahumada-García** es Ingeniero en Bioinformática y Licenciado en Ciencias de la Bioinformática de la Universidad de Talca, Chile. Su experiencia en investigación es en proyectos relacionados con: inferencia de temperatura foliar correlacionada con estrés hídrico, predicción de estados fenológicos en árboles nativos chilenos para apicultura, predicción de rendimiento en vides y predicción de heladas para la agricultura. Sus áreas de investigación son: IA y machine learning, sistemas expertos, bioinformática, ingeniería de software y



biológicos.

**José Reyes-Suárez** es académico y profesor del Departamento de Bioinformática de la Universidad de Talca. Ingeniero Civil Industrial y Magister en Ciencias de la Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile; Doctor en Ciencias de la Computación de la Universidad de Glasgow, Reino Unido. Investigador en diversos proyectos de Investigación y Desarrollo con aplicaciones en la industria. Sus áreas de investigación son: Minería de Datos, Aprendizaje Automático y el desarrollo de modelos de inferencia aplicados en agronomía y sistemas