

ANEXO I

PROGRAMA DE BIENES PÚBLICOS REGIONALES

**Consultoría para el Programa Regional de Empleo de Información
Satelital para la Producción Agrícola BPR-CONAE**

Biol. Diana Marcela Brito Hoyos

**Documento Teórico de los productos de
Heladas del programa de Bienes Públicos
Regionales**

Diciembre de 2014

Diana Marcela Brito Hoyos, dianisbrito2@gmail.com (Consultora BPR-BID. Argentina)

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	3
2. MATERIALES Y MÉTODOS	5
2.1 Producto 1: Probabilidad histórica de heladas	5
2.1.1 Imágenes MYD11A1 AQUA/MODIS.	5
2.1.2 Sistema de referencia geográfica	8
2.1.3 Obtención del producto	8
2.1.4 Representación de la probabilidad histórica.....	9
2.2 Producto 2: Probabilidad con pronóstico a corto plazo	10
2.2.1 Imágenes de temperatura mínima: pronóstico WRF.....	10
2.2.2 Obtención del producto pronóstico de heladas	11
2.1.3 Representación de la probabilidad de helada con pronóstico.	13
3. LITERATURA CITADA	14

1. INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista meteorológico, se denomina “helada” o se produce una helada, cuando la temperatura del aire dentro de la casilla meteorológica (a 1.5 metros de altura) ha descendido por debajo de cero grado centígrado (Villaseca *et al.*, 1992). Adicionalmente, teniendo en cuenta el criterio agrometeorológico, se considera que se produce una helada cuando la temperatura ha disminuido lo suficiente, al punto tal de producir daños en los órganos vegetales (Villaseca *et al.*, 1992).

Comúnmente una helada está asociada al concepto de temperatura ambiental inferior a 0°C. Ya que es, a esta temperatura en la cual el metabolismo de un vegetal comienza a hacerse más lento y el agua comienza a congelarse.

Los cuerpos emiten radiación, con una composición espectral y una intensidad que es función de sus temperaturas. El suelo pierde constantemente calor, mediante radiación infrarroja de onda larga. Hasta mediodía, el balance energético es positivo y la temperatura de los cuerpos aumenta hacia el atardecer y de noche, este se torna negativo y desciende la temperatura de los cuerpos. Los intercambios térmicos se producen a nivel de la superficie del suelo.

Existen eventos de heladas debido a este intercambio térmico, y de acuerdo con las condiciones ambientales y topográficas de la zona, a continuación se describen los principales tipos de heladas (Tassara, 2007):

- a) Heladas radiativas: Son las más frecuentes y las únicas que se pueden combatir con métodos activos de defensa. El cielo despejado, el aire en calma y la baja humedad atmosférica caracterizan a este tipo de heladas.

A partir de la puesta del sol, los cuerpos sólidos, como los arboles, las casas y el suelo no reciben más energía solar directa y comienzan a enfriarse, perdiendo calor mediante la emisión de energía infrarroja. El aire se enfría al tomar contacto con el suelo, con las plantas y con otros cuerpos, aumenta de peso al adquirir mayor densidad y se deposita en las capas próximas al suelo.

En la noche, la temperatura de las yemas de las flores, los frutos y del árbol en general, es inferior a la del aire que los rodea. La temperatura del aire aumenta hasta el llamado “techo de inversión”, a partir del cual comienza a descender cuanto mayor altura se alcance.

- b) Heladas advectivas: Se producen cuando las temperaturas llegan bajo cero °C, con el acompañamiento de brisas regulares a fuertes. Este movimiento de aire alcanza velocidades del orden de 1 a 2 m/seg. Medida a la altura de los árboles. Algunas heladas advectivas dependiendo de las condiciones de la noche pueden transformarse en radiativas.
- c) Heladas evaporativas: Se producen cuando se evapora el agua que está sobre la superficie de los órganos vegetales, produciendo un marcado descenso térmico con temperaturas por debajo de los 0°C y consecuentemente daños por frío en los tejidos. La energía necesaria para provocar la evaporación del agua es de 600 cal./g, que es tomada o extraída del vegetal que sufre un rápido enfriamiento.

Normalmente, es al amanecer cuando los rayos solares inciden sobre tejidos mojados o cubiertos de hielo, provocando este rápido fenómeno de enfriamiento evaporativo. Cuando lo que se evapora es hielo, se produce el fenómeno de sublimación, es decir el pasaje del estado de hielo al vapor de agua. Para ello son necesarias 600cal/gr de energía que son provistas también por el vegetal.

Otra clasificación de heladas, teniendo en cuenta la humedad atmosférica, es la que diferencia las heladas blancas, de las heladas negras (Tassara, 2007):

- a) Heladas blancas: Ocurren cuando la temperatura desciende de 0°C con elevada humedad ambiental. Esto genera saturación del ambiente, 100% de humedad relativa y la formación de rocío sobre los vegetales. Este rocío indica que el agua sufrió un cambio de estado, al pasar de vapor en atmósfera a agua líquida, produciéndose una liberación de calor de 600 cal/gr al medio ambiente. Dicho proceso de enfriamiento hace que el descenso térmico sea lento. La presencia de rocío sobre los vegetales se asocia con la producción de leves daños por frío.
- b) Heladas negras: Están asociadas con daños graves. Son heladas producidas con baja humedad ambiental, en las que se llega recién al estado de saturación, en temperaturas muy por debajo de 0°C. El punto de rocío es muy bajo y no se presenta rocío sobre la cobertura vegetal.

El fenómeno de helada es una de las principales amenazas para la productividad agrícola, ocasionando perjuicios en las plantas por desecación, enfriamiento y congelación que se desencadenan en pérdidas económicas para los productores. Por lo anterior es de suma importancia la elaboración de productos con valor agregado para estimar el riesgo de heladas. De esta necesidad surge, en el marco del proyecto de Bienes Públicos Regionales del Banco Internacional de Desarrollo (BID) el objetivo de construir mapas de probabilidad de helada histórica; y en una mayor medida, una primera aproximación a un pronóstico del evento de helada en todo el territorio de Argentina, Chile, Uruguay y Paraguay, países miembro del proyecto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se generaron dos productos para el análisis del riesgo de heladas en la región, el primero de ellos consiste en una *probabilidad histórica* de ocurrencia del evento calculada a partir de información satelital de los últimos 11 años; y el segundo consiste en la *probabilidad con pronóstico a corto plazo* (1 y 2 días) de la ocurrencia de helada, obtenida a partir de la probabilidad histórica y del pronóstico de temperatura de los días siguientes a la fecha actual.

2.1 Producto 1: Probabilidad histórica de heladas

2.1.1 Imágenes MYD11A1 AQUA/MODIS.

Para la elaboración del producto histórico de heladas, se utilizaron imágenes del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), el cual es un instrumento a bordo de los satélites Terra (EOS AM) y Aqua (EOS PM), propiedad de la NASA (National Aeronautics and Space Administration).

La órbita del satélite AQUA viaja de sur a norte cruzando el Ecuador por la tarde. AQUA/MODIS cubre la superficie de la Tierra cada 1 a 2 días, adquiriendo datos en 36 bandas espectrales. Estos datos ayudan a comprender la dinámica global de la Tierra; el comportamiento en la superficie terrestre, en los océanos y en la atmósfera. La alta resolución temporal y la disponibilidad abierta de los datos de MODIS fue la razón por la que se eligió este producto, de tal forma que se contó con una imagen diaria de temperatura en toda la región.

Imágenes y descripción del producto disponibles en: <https://earthdata.nasa.gov/about-eosdis/systemdescription/lance/modaps/about-modaps/data-products>

El producto de temperatura superficial de la tierra MYD11A1 AQUA/MODIS con 1km de resolución por píxel que se produce a diario utiliza el algoritmo split-window LST generalizado (Tabla 1). En condiciones óptimas este algoritmo se utiliza para separar los rangos de la columna de vapor de agua en la atmósfera y las temperaturas del aire más bajas del contorno de la superficie en sub-rangos. La emisividad de superficie en las bandas 31 y 32 se estiman a partir de los tipos de cobertura de la tierra.

Los productos MYD11A1 son descargados en proyección sinusoidal. Y cada archivo es un dataset en el que cada banda de información representa: temperatura de superficie (LST) de día y noche, las evaluaciones de control de calidad, tiempos de observación, vistas de ángulos cenitales y coberturas de cielo despejado, y las bandas 31 y 32 emisividad de los tipos de cobertura de la tierra (Tabla 2)

Tabla 1: Descripción del data set del producto MYD11A1 (Fuente NASA)

Temporal Coverage: V005	July 8, 2002 –
Area	~1100 km x 1100 km
Image Dimensions	1200 rows x 1200 columns
Spatial Resolution	1 km (0.93 km)
File Size	~4 MB Compressed
Projection	Sinusoidal
Data Format	HDF-EOS
No. of Science Data Sets (SDS)	12

Tabla 2: Capas que conforman el dataset del producto AQUA/MODIS MYD11A1 (Fuente NASA)

Producto por banda	Tipo de dato	Formato	Rango de validez	Factor de escala
Daytime land surface temperature	Kelvin	16-bit unsigned integer	7500– 65535	0.02
Daytime LSTE quality control	Bit-Field	8-bit unsigned integer	0–255	NA
Daytime LST observation time	Hours	8-bit unsigned integer	0–240	0.1
Daytime LST view zenith angle	Degrees	8-bit unsigned integer	0–130	1
Nighttime land surface temperature	Kelvin	16-bit unsigned integer	7500– 65535	0
Nighttime LSTE quality control	Bit-Field	8-bit unsigned integer	0–255	NA
Nighttime LST observation time	Hours	8-bit unsigned integer	1–240	0.1
Nighttime LST view zenith angle	Degrees	8-bit unsigned integer	0–130	1
Band 31 Emissivity	None	8-bit unsigned integer	1–255	0.002
Band 32 Emissivity	None	8-bit unsigned integer	1–255	0.002
Daytime clear-sky coverage	None	16-bit unsigned integer	1–65535	0.0005
Nighttime clear-sky coverage	None	16-bit unsigned integer	1–65535	0.0005

Fueron adquiridas las imágenes diarias para construir la serie histórica desde el primero de enero de 2004 hasta el 20 de septiembre de 2014, para un total de 11 años. Para abarcar los cuatro países completos que conforman el proyecto fue necesario descargar diez tiles del producto por fecha. (h11v11, h11v12, h12v11, h12v12, h12v13, h13v11, h13v12, h13v13, h13v14 y h14v14).

La descarga se hizo vía ftp utilizando la herramienta pymodis, librería desarrollada en python por la Fondazione edmund mach. Disponible en línea: www.fmach.it

Para el cálculo de la probabilidad son necesarias las capas Nighttime land surface temperatura y Nighttime clear-sky coverage, la primera representa la temperatura nocturna y la segunda la cobertura de nubes en la noche.

2.1.2 Sistema de referencia geográfica

Al igual que todos los productos publicados en el sistema WEB-GIS del proyecto PREISPA-BPR, los mapas de probabilidad de heladas están en coordenadas geográficas (lat/long), con datum WGS84 y formato *.geotiff. Por lo anterior fue necesaria la reproyección de cada una de las imágenes de entrada (MYD11A1) de la proyección sinusoidal al sistema lat/long; y la conversión del formato HDF a geotiff. Para realizar este procedimiento fue utilizada la herramienta pymodis anteriormente mencionada.

2.1.3 Obtención del producto

La metodología que se utilizó para obtener el producto histórico de heladas fue una modificación del algoritmo revisado y desarrollado por Felipe Albornoz Muñoz en el Marco de su pasantía de la maestría en Aplicaciones Espaciales de Alerta y Respuesta Temprana a Emergencias (AEARTE-CONAE) con lugar en el departamento de teledetección aplicada (EURAC Research – The European Academy of Bozen) en Bolzano, Italia (Albornoz-Muñoz, 2014).

El procesamiento de las imágenes se llevo a cabo en GRASS 7.1 (Figura 1).

Una vez se tienen importadas todas las imágenes de la serie de tiempo en el GRASS, se procedió a aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{Probabilidad histórica} = \frac{\Sigma \text{días} < 0^{\circ}\text{C}}{\Sigma \text{días sin nubes}}$$

El numerador de la ecuación representa la sumatoria por pixel de todas las imágenes que en la serie de tiempo presentaron una temperatura inferior a los 0°C. La capa Nighttime land surface del producto MODIS MYD11A1 viene en grados Kelvin, por lo cual corresponde a todas las imágenes que presentaron temperaturas menores a los 273.15 °K. De esta forma hay un raster que va sumando cuantas imágenes cumplen con esta condición y la sumatoria final será la capa que va en el numerador representando el total de noches con temperaturas frías por pixel.

El denominador de la ecuación representa la sumatoria por pixel de todas las imágenes que en la serie de tiempo no presentaron nubes. Esto se hace para tener la certeza de que la capa con información de temperatura si corresponde a la temperatura de la superficie de la tierra y no a las nubes que interfieren con la respuesta que recibe el sensor. La capa Nighttime clear-sky coverage representa la cobertura de nubes. De esta forma hay un raster que va sumando cuantas imágenes cumplen con la condición de no tener nubes y la sumatoria final será la capa que va en el denominador representando el total de noches sin nubes por pixel.



Figura 1: Secuencia de pasos para la obtención del producto histórico de heladas.

2.1.4 Representación de la probabilidad histórica.

El producto final de helada histórica consiste en una capa por mes que representa la probabilidad (Rango de valores de 0 a 1) (Figura 2) histórica por mes que en cada pixel fue

calculada con lo anterior. Todas las imágenes son exportadas del GRASS GIS en formato geotiff, y posteriormente subidas al servidor WEB-GIS del proyecto PREISPA-BPR. En donde se visualizan 10 imágenes (tiles MODIS) por mes (12 meses), para un total de 120 imágenes de este producto.

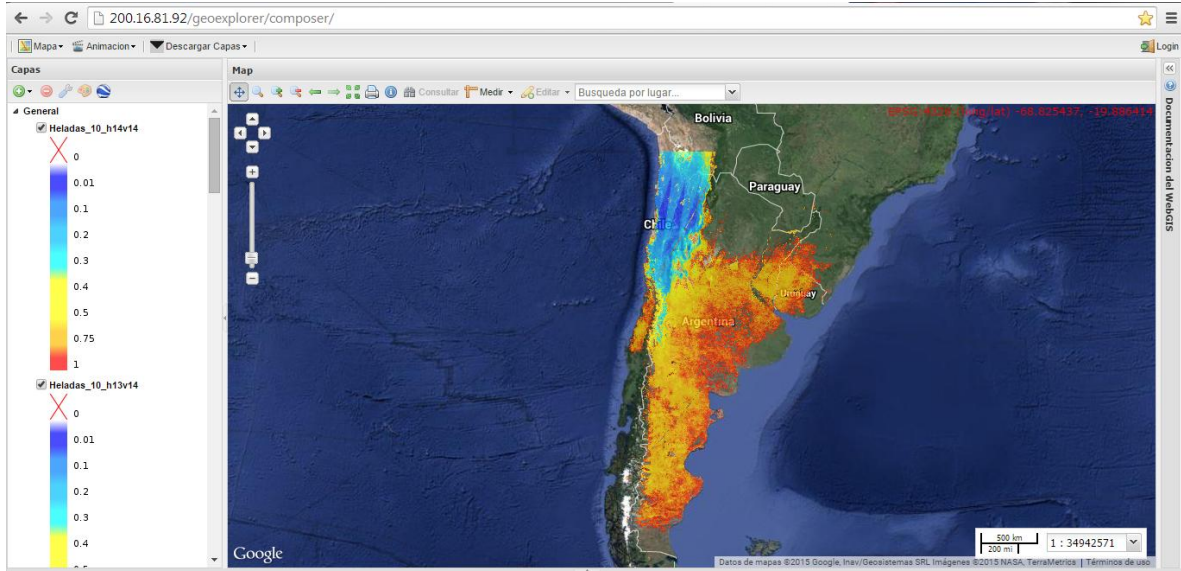


Figura 2: Producto de la probabilidad histórica de helada incorporado al sistema WEB-GIS del proyecto PREISPA-BPR

2.2 Producto 2: Probabilidad con pronóstico a corto plazo

El producto a generar consiste en un pronóstico a corto plazo de heladas, que se calculará a partir del producto de helada histórica anteriormente descrito, a lo que se le adicionará información de la temperatura pronosticada a corto plazo. (1 y 2 días posteriores a la fecha actual).

2.2.1 Imágenes de temperatura mínima: pronóstico WRF

La variable pronóstico de Temperatura mínima es obtenida de la implementación del modelo numérico de predicción del tiempo Weather Research and Forecasting (WRF). El modelo se encuentra en fase operativa, de manera experimental, en la Consultoría en Aplicaciones Espaciales de Alerta y Respuesta Temprana a Emergencias (CAEARTE) perteneciente a la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (Liguzzolo, 2014).

Los resultados o productos generados a partir de este modelo son distribuidos a través de un servidor web en distintos formatos, comúnmente utilizados en sistemas, modelos o algoritmos; a través del sitio web: <http://www.conae.gov.ar/index.php/espanol/>. Adicionalmente se encuentran disponibles en el sistema WEB-GIS del proyecto PREISPA-BPR para su descarga y libre utilización.

Los productos generados tienen una resolución horizontal de aproximadamente 15 Km (0.135 grados) lograda a través de una interpolación. La proyección de los mismos es coordenadas geográficas (Lat/Long) con Datum WGS-84. Todos los días se actualiza esta información y se genera y nuevo pronóstico a 1, 2 y 3 días

El servidor de imágenes del WRF-CAEARTE cuenta con una numerosa lista de variables pronosticadas disponibles, sin embargo para la generación del producto de heladas son necesarias tan solo dos capas por día; temperatura mínima ambiente a 2 m del nivel del suelo para los dos días siguientes a partir de la fecha actual.

Es fundamental recordar el carácter experimental de estos productos. La implementación del modelo numérico WRF está en etapa de validación. Una primera evaluación del desempeño del modelo puede encontrarse en la tesis “Integración de modelos numéricos de predicción meteorológica en sistemas de alerta temprana a emergencias” de la Maestría en Aplicaciones Espaciales de Alerta y Respuesta Temprana a Emergencia (MAEARTE). Los resultados de la simulación de las variables pueden contener corrimientos espacio-temporales, así como también imprecisión en los valores de las mismas (Liguezolo, 2014).

2.2.2 Obtención del producto pronóstico de heladas

Al igual que para el producto histórico de heladas, en el caso del pronóstico todo el procedimiento se lleva a cabo en GRASS 7.1 (Figura 3).

Una vez descargadas las dos imágenes en Geotiff de la temperatura mínima con pronóstico a 1 y 2 días del WRF, son incorporadas al GRASS. Es importante tener en cuenta que se va a realizar una sumatoria de las imágenes históricas con un pixel de 1km con las del WRF que tienen 15km por pixel, por lo que el primer paso en el procesamiento es realizar un remuestreo para llevar el tamaño del pixel de 15km a un 1km en las imágenes del WRF.

Posteriormente las dos imágenes de temperatura son convertidas a probabilidad de la siguiente forma:

- a) Los píxeles mayores a 5°C tienen 0.01 de probabilidad de helada
- b) Los píxeles menores a -5°C tienen 0.99 de probabilidad de helada
- c) Los píxeles que fluctúan en el rango $[-5,5]^{\circ}\text{C}$ tienen probabilidades que van entre 0.99 y 0.01, la probabilidad disminuye conforme aumenta la temperatura.

Una vez se tienen las dos imágenes de pronóstico en probabilidad, se procede con la Descarga de la imagen en formato Geotiff de la probabilidad histórica por mes. Como se mencionó con anterioridad, en el WEB-GIS del proyecto PREISPA-BPR están disponibles 120 productos de helada histórica que corresponden a los 10 tiles MODIS necesarios para cubrir los cuatro países de interés, por 12 meses. Por lo cual la descarga se debe hacer de las 10 imágenes que corresponden al mes en curso (fecha actual).

Estas 10 imágenes son incorporadas al GRASS, seguido de la sumatoria de las dos probabilidades.

Por lo anterior, píxeles con alta probabilidad histórica de la ocurrencia de heladas que en los próximos días tengan pronóstico de temperaturas bajas tendrán una mayor probabilidad (cercana a uno) de la ocurrencia de un evento de helada.

Se procede con la exportación de las imágenes en geotiff y posterior subida al servidor WEB-GIS del proyecto PREISPA-BPR.

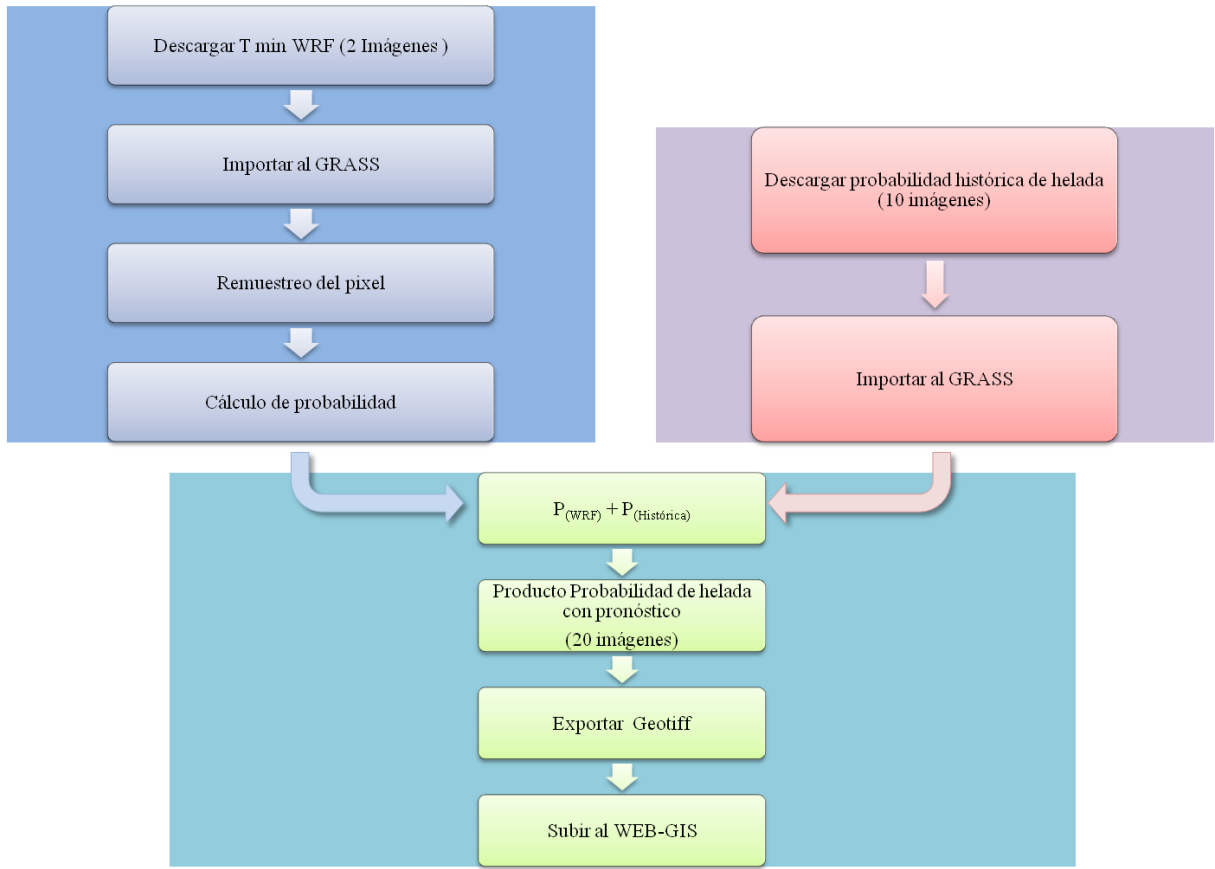


Figura 3: Secuencia de pasos para la obtención del producto probabilidad con pronóstico a corto plazo de la ocurrencia de heladas.

2.1.3 Representación de la probabilidad de helada con pronóstico.

El producto final de helada con pronóstico a corto plazo consiste en dos capas (pronóstico a 1 y 2 días) que representa la probabilidad (Rango de valores de 0 a 1) por mes de ocurrencia del evento. En el servidor WEB-GIS del proyecto PREISPA-BPR visualizan 10 imágenes (tiles MODIS) por mes (2 días de pronóstico), para un total de 20 imágenes de este producto. La frecuencia de actualización de esas 20 capas es diaria, por lo que cada día se contará con el pronóstico de los dos días siguientes.

3. LITERATURA CITADA

- ALBORNOZ-MUÑOZ, F. 2014. Creación de un Sistema de Monitoreo de Heladas en la Provincia de San Felipe de Aconcagua, Región de Valparaíso – Chile (producto “Mapa de probabilidad de Heladas”). Pasantía Maestría en Aplicaciones Espaciales de Alerta y Respuesta Temprana a Emergencia. Córdoba, Argentina.
- LIGHEZZOLO, A. 2014. Integración de modelos numéricos de predicción meteorológica en sistemas de alerta temprana a emergencias. Tesis Maestría en Aplicaciones Espaciales de Alerta y Respuesta Temprana a Emergencia. Córdoba, Argentina.
- TASSARA, M. 2007. Las heladas primaverales: Protección en frutales de clima templado-frío. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Rio Negro, Argentina.
- VILLASECA, S., NOVOA, R & CARRASCO, J. 1992. Las heladas y su importancia en la agricultura. Investigación y progreso agropecuario La platina (70):38-43.