

# **Análisis de la ocurrencia de heladas en la provincia de Buenos Aires, Argentina.**

*Tesis presentada para optar al título de Especialista de la Universidad de Buenos Aires  
en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica Aplicados al Estudio de los  
Recursos Naturales y la Producción Agropecuaria*

**Derly Carolina Hernández Ortega**

Ingeniera Catastral y Geodesta-Universidad Distrital Francisco José de Caldas- 2012

Lugar de trabajo: Bogotá-Colombia



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano  
Facultad de Agronomía - Universidad de Buenos Aires

Tutor

**María de los Ángeles Fischer**

Ingeniera Agrónoma (FAyCA-UM)

Magister en Recursos Naturales (EPG-FAUBA)

## **JURADO DE TRABAJO FINAL**

Tutor

**María de los Ángeles Fischer**

Ingeniera Agrónoma (FAyCA-UM)

Magister en Recursos Naturales (EPG-FAUBA)

Jurado

**Carlos M. Di Bella**

Ingeniero Agrónomo (Facultad de Agronomía, UBA)

Doctor del Institut National Agronomique Paris-Grignon (Paris-Francia)

Jurado

**Gustavo Piñeiro**

Ingeniero Agrónomo (Universidad de la República Oriental del Uruguay)

Doctor en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

Fecha de defensa del Trabajo Final: 05 de Junio de 2017

## **Agradecimientos**

Por su apoyo incondicional, agradezco a mi familia por apoyarme en este proceso, por sus consejos y ánimos, los cuales me permitieron llegar hasta este punto en mi formación profesional.

A mi tutora María de Los Ángeles Fischer, quien con su paciencia siempre estuvo presente en el desarrollo de este trabajo, dando oportunos y sabios consejos que permitieron terminar este trabajo final.

A Julieta Straschnoy, quien siempre estuvo atenta a responder cualquier inquietud.

A los jurados de este proyecto por darme de su tiempo y permitirme presentarles este trabajo, y a todos los docentes y compañeros de la cohorte 2015 quienes me permitieron, aprender muchas cosas nuevas y guardar en mi memoria muchos recuerdos de esta única y enriquecedora experiencia.

A todos ellos no me queda más que decir

Muchas gracias.

*"Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original, producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no ha sido presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución."*

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	9
<b>ABSTRACT</b> .....	11
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	12
<b>2. MATERIALES Y METODOS</b> .....	18
2.1.1. Información provista por estaciones meteorológicas .....	18
).....	18
2.1.2. Información provista por sensores satelitales .....	19
2.1.3. Información político-administrativa .....	19
2.1.4. Información de cobertura .....	20
2.2. Procesamiento de la información .....	20
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	22
3.1. Fase 1. Análisis del comportamiento de Ta y Ts. ....	22
3.2. Fase 2. Análisis espacial de las heladas .....	30
<b>4. CONCLUSIONES</b> .....	39
<b>5. IBLIOGRAFIA</b> .....	41

## ÍNDICE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Distribución territorial de la producción de los cultivos cuyo aporte a la producción nacional represento más de un 35%: <b>a)</b> cultivo de soja, <b>b)</b> trigo, <b>c)</b> girasol, <b>d)</b> maíz, <b>e)</b> cebada. ....	13
<b>Figura 2.</b> Mapa obtenido a partir de interpolación de la cantidad de días con temperaturas menores a 0°C registrados por las estaciones meteorológicas INTA entre 1960 a 2008 (Fuente: INTA- Instituto de Clima y Agua). ....	16
<b>Figura 3.</b> Mapas de temperaturas mínimas extremas promedio y absolutas para la segunda mitad del mes de octubre en base a los datos de temperatura de estaciones meteorológicas para el sur de la provincia de Bs. As. a partir de imágenes satelitales NOAA-AHVRR del 2005 a 2008. <b>a)</b> Temperaturas mínimas extremas promedio; <b>b)</b> Temperaturas mínimas extremas absolutas. ....	17
<b>Figura 4.</b> Distribución de estaciones meteorológicas (2006-2014) en la provincia de Buenos Aires. ....	18
<b>Figura 5.</b> Número de eventos registrados con la Ts superior e inferior a 0°C, para las fechas en que la Ta fue menor o igual a 0°C. ....	22
<b>Figura 6.</b> Porcentaje del número de eventos con Ts por encima de 0°C cuando la Ta detectó helada. ....	23
<b>Figura 7.</b> Porcentaje anual de datos de temperatura Ts por encima de 0°C para heladas detectadas mediante Ta. ....	23
<b>Figura 8. a)</b> Cantidad de píxeles que presentaron valores de temperatura Ts superiores a 0°C en fechas con la Ta menor o igual a 0°C, expresados en número de eventos; <b>b)</b> Cantidad de píxeles cuyos valores al igual que la Ta fueron menores a 0°C (azul oscuro), expresados en número de eventos. ....	24
<b>Figura 9.</b> Cantidad de eventos con Ts superior a 0 de acuerdo a la cobertura del suelo	25
<b>Figura 10.</b> Porcentaje de datos de temperatura Ts mayor a Ta para todo el periodo de estudio 2006-2014. ....	25
<b>Figura 11.</b> Cantidad de datos (%) con valores de Ts superiores a Ta por año. ....	26
<b>Figura 12.</b> Valores promedio de Temperatura de superficie y de abrigo para la estación INTA-Barrow (EMC). ....	26
<b>Figura 13.</b> Gráfico comparativo del 2006 al 2014 entre los valores promedio de precipitación acumulada para septiembre, octubre y noviembre. ....	27
<b>Figura 14.</b> Cantidad de evento de heladas tempranas y tardías ocurridas entre el (2006-2014). ....	28
<b>Figura 15.</b> Conteo de eventos de heladas tempranas y tardías por año. ....	28
<b>Figura 16.</b> Gráfico de regresión para el año 2006. ....	29
<b>Figura 17.</b> Número de heladas detectadas por partido entre el 2006 al 2014, obtenido a partir de la aplicación de métodos de interpolación de la Ta capturada por estaciones meteorológicas. ....	31
<b>Figura 18.</b> Número de heladas detectadas por partido entre el 2006 al 2014, obtenido a partir de la Ts ofrecida por imágenes satelitales del sensor AHVRR del satélite NOAA. ....	32
<b>Figura 19.</b> Diferencia de eventos de heladas entre imágenes satelitales e imágenes interpoladas de acuerdo al partido. ....	33

<b>Figura 20.</b> Diferencia en cantidad de eventos de helada registrados entre imágenes satelitales e imágenes interpoladas durante el periodo (2006-2014). Los partidos con mayores diferencias se representan con tono más intenso. ....	34
<b>Figura 21.</b> Partidos más afectados por temperaturas mínimas según las imágenes interpoladas <b>a).</b> Temperaturas entre -10°C y -9°C. <b>b)</b> Temperaturas entre -8°C y -9°C. <b>c)</b> Temperaturas entre -7°C y -8°C. <b>d)</b> Temperaturas entre -6°C y -7°C.....	36
<b>Figura 22.</b> Partidos más afectados por temperaturas mínimas según las imágenes satelitales NOAA. <b>a).</b> Temperaturas entre -10°C y -9°C. <b>b)</b> Temperaturas entre -8°C y -9°C. <b>c)</b> Temperaturas entre -7°C y -8°C. <b>d)</b> Temperaturas entre -6°C y -7°C .....	36
<b>Figura 23.</b> Partidos más afectados por heladas tempranas y tardías cuyas temperaturas oscilaron entre -10°C y -6°C.....	37
<b>Figura 24.</b> Diferencias de temperatura entre eventos de heladas tempranas y tardías registradas por imágenes satelitales e imágenes interpoladas para los partidos de la provincia de Buenos Aires. ....	38

## ÍNDICE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Cantidad de registros por estación con datos de temperaturas menores a 0°C desde el 2006 a 2014, entre el 1 de enero al 31 mayo (heladas tempranas) y entre el 1 de Septiembre al 31 de Diciembre (heladas tardías) cuyas fechas coincidieron con la recepción de imágenes NOAA-AVHRR. ....	19
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de temperatura INTA (Fuente: <a href="http://sepa.inta.gob.ar">http://sepa.inta.gob.ar</a> ).....	21
Tabla 3. Valores promedio de temperatura mínima mensual de los años 2006, 2009 y 2010 años donde se presentaron más eventos de heladas tempranas que tardías. (fuente: <a href="https://www.meteored.com.ar">https://www.meteored.com.ar</a> ).....	29
Tabla 4. Matriz ANOVA para los años 2006 y 2011 .....	30

# **Análisis de la ocurrencia de heladas en la provincia de Buenos Aires, Argentina.**

## **RESUMEN**

Las heladas son definidas como eventos que se dan cuando la temperatura es igual o menor a 0°C. Estos eventos afectan significativamente a la producción agropecuaria, sobre todo cuando ocurren de forma temprana (entre el 1 de enero al 30 de mayo) o tardía (del 1 de setiembre al 31 de diciembre) a su estación normal de ocurrencia. Hoy en día, la detección de estos fenómenos puede lograrse a partir de distintos instrumentos dispuestos en estaciones meteorológicas, o plataformas satelitales. Las estaciones arrojan valores de temperatura del aire en el abrigo meteorológico a 1,5 metros de la superficie del suelo (temperatura de abrigo -Ta-). Las imágenes de satélites, en cambio, ofrecen información de la temperatura de superficie (Ts), variando entre superficies con cobertura vegetal o suelo desnudo. En este trabajo se compararon y analizaron las diferencias entre los datos de Ta y Ts para heladas tempranas y tardías registradas por las estaciones meteorológicas e imágenes capturadas por el sensor AVHRR del satélite NOAA, para la provincia de Buenos Aires entre los años 2006 a 2014. Para ello se plantearon dos etapas de trabajo. La primera, se centró en un análisis estadístico puntual que evaluó el grado de correlación y la existencia de diferencias significativas entre los datos de temperatura Ta y Ts a diferentes escalas temporales. Y en la segunda etapa, se realizó un análisis comparativo espacial entre mapas de Ta obtenidos de la interpolación de datos de las estaciones meteorológicas con las imágenes de Ts obtenidas del sensor del satélite NOAA (Fuente: SEPA INTA, <http://sepa.inta.gob.ar>).

En este estudio se encontró que los valores medidos por estaciones meteorológicas y por las imágenes satelitales alcanzaron diferencias de hasta 7°C entre sí, siendo superiores los valores de Ts respecto de Ta en la mayoría de los casos (62,30%). Se muestra también que los eventos de heladas tardías superaron a los de las tempranas durante el período de estudio.

Por otra parte, se observó que la zona oriental de la provincia fue la que menos se vio afectada por heladas, tanto con los mapas de interpolación de Ta como con las imágenes de Ts. Y que la diferencia más notable entre ambas fuentes de información se pudo apreciar sobre todo al ubicar los partidos más afectados. Es decir, mientras que con

las imágenes satelitales las zonas más afectadas se encontraban en la zona occidental y centro de la provincia, con las imágenes interpoladas se apreció que principalmente las heladas ocurrieron en su mayoría sobre la zona occidental.

**Palabras clave**

Agrometeorología, temperatura de superficie, temperatura de abrigo, patrones espacio temporales, percepción remota, SIG, heladas

## **ABSTRACT**

Frosts are defined as events occurring when the temperature is equal to or less than 0 ° C. These events significantly affect agricultural production, especially when they occur early (from 1 January to 30 May) or late (from 1 September to 31 December) to their normal season of occurrence. Nowadays, the detection of these phenomena can be useful from the different instruments in the meteorological stations, or satellite platforms. The stations show the temperature values of the air in the meteorological shelter 1.5 meters from the surface of the ground (temperature of the shelter -Ta-). Satellite images, on the other hand, offer information on the surface temperature (Ts), varying between vegetation cover and bare soil. This work compares and analyzes the differences between Ta and Ts data for early and late frosts recorded by the meteorological stations and the images captured by the NOAA satellite AVHRR sensor for the province of Buenos Aires from 2006 to 2014. For this two stages of work were considered. The first, focused on a point statistical analysis that evaluated the degree of correlation and the existence of significant differences between the temperature data. And in the second stage, a spatial comparative analysis was performed between the Ta maps obtained from the interpolation of meteorological station data with the Ts images obtained from the NOAA satellite sensor (Source: SEPA INTA, <http://know.inta.gob.ar>).

In this study it was found that the values measured by meteorological stations and by satellite images reached the differences of up to 7 ° C between them, being higher values of Ts with respect to Ta in most cases (62.30%). It is also shown that the late frost events took longer the early frosts ones during the study period.

On the other hand, it was observed that the eastern part of the province was less affected by frost, both with Ta interpolation maps and Ts images. The most noticeable difference between the two sources of information was, while with the satellite images the most affected areas were in the western zone and the center of the province, with the interpolated images it was noticed that mainly the frosts happened mostly on the western zone.

### **Keywords**

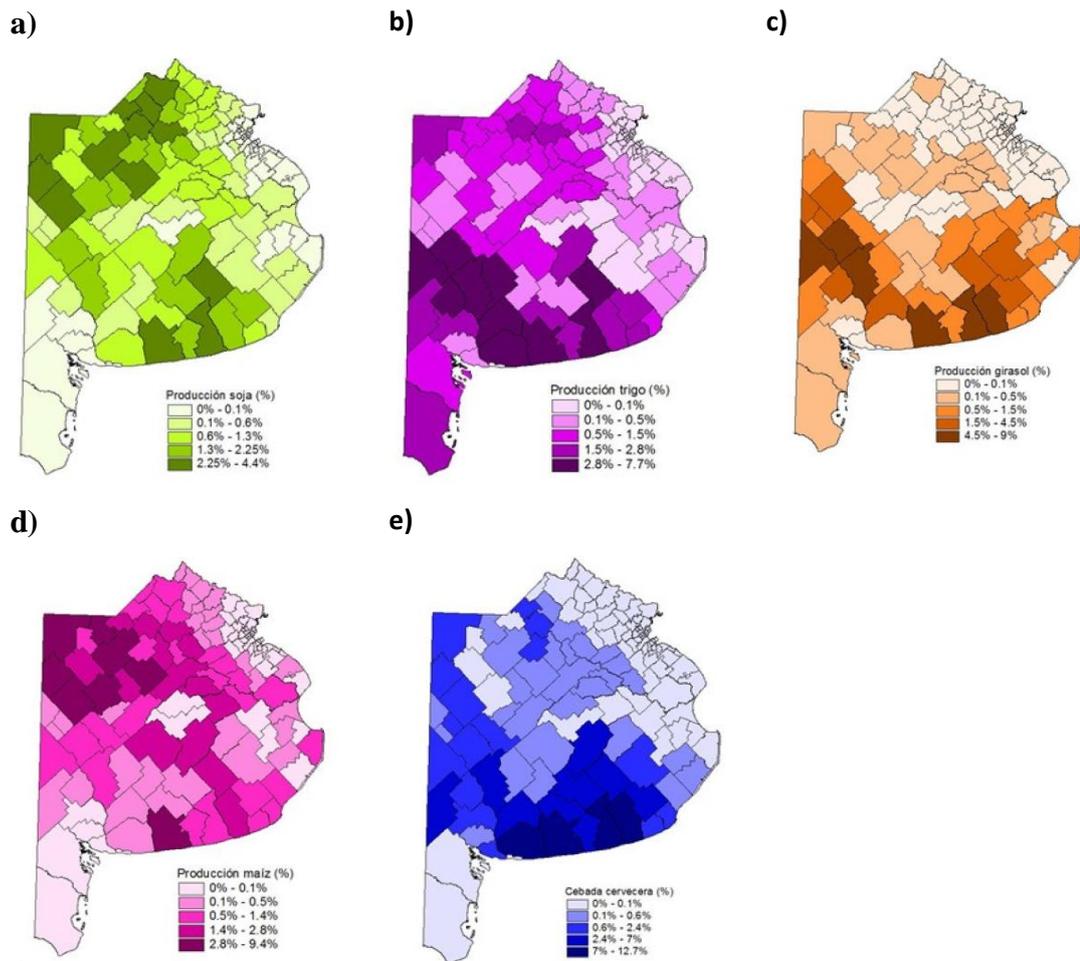
Agrometeorology, surface temperature, shelter temperature, temporal space patterns, remote sensing, GIS, frost

## 1. INTRODUCCIÓN

Las heladas son eventos que ocurren cuando las temperaturas alcanzan valores iguales o menores a un umbral térmico de 0°C (Gómez 2010). Los efectos adversos de las heladas se han podido registrar desde los inicios de la agricultura como actividad productiva, buscándose identificar las especies y los estadios fenológicos cuando sus efectos son más severos. Estos eventos provocan daños que afectan las características estructurales y funcionales de las plantas, produciendo reducción en la actividad enzimática, pérdidas de órganos vegetativos y reproductivos, entre otros (Coll 2014, Augspurger 2013, Gu *et al.* 2008, Inouye 2000). Por ejemplo, en cultivos anuales como algunos cereales, la floración y el llenado de granos son las etapas más vulnerables a la ocurrencia de heladas, provocando retraso en su madurez y reducciones en su rendimiento (Müller y Fernández Long 2007, Carter y Wiersma 2000). Por su ubicación geográfica, Argentina (desde el paralelo 22° al 55° Latitud Sur) es un país severamente afectado por heladas (Müller y Fernández Long, 2007, Monterubbianest y Cendoya, 2001). Estos eventos han provocado daños cada vez más graves en los últimos 50 años como consecuencia de la expansión agrícola hacia zonas más vulnerables (CIMA–Conicet, 2015, Walther *et al.*, 2002).

Argentina está conformada por 23 provincias, entre ellas Buenos Aires, la capital, que está ubicada en la región centro-oriental del país. Dicha provincia, se ubica en la región pampeana, una de las seis regiones más agroproductivas del planeta, gracias a sus suelos, ricos en nutrientes y con un alto contenido de materia orgánica (Pengue 2001). Por ello, la producción de cultivos de cereales y oleaginosas (Figura 1), es uno de los motores de crecimiento económico más importantes de la provincia y del país. Prueba de ello son los resultados vistos en las campañas de los años 2012/2013. En ellas Buenos Aires aportó el 46% de la producción nacional de trigo, el 30% de la producción nacional de maíz, el 92% de la producción nacional de cebada, y el 40% de la producción nacional de oleaginosas (DINREP, 2015).

Por su importancia en el crecimiento económico del país, se ha buscado optimizar los procesos de producción, llegando al uso de agroquímicos, nuevos genotipos, y la implementación de nuevas técnicas de manejo que eviten la pérdida de cultivos por factores externos como lo son las heladas (Pengue 2001).



**Figura 1.** Distribución territorial de la producción de los cultivos cuyo aporte a la producción nacional represento más de un 35%: a) cultivo de soja, b) trigo, c) girasol, d) maíz, e) cebada.

Las heladas ocurren más frecuentemente en la temporada invernal, aunque las que ocasionan mayores daños son las que se presentan anticipada o posteriormente a este período (Irygoyen 1993). En el país, a las heladas que ocurren desde el 1 de enero al 31 de mayo se las considera heladas tempranas, mientras que desde el 1 de septiembre al 31 diciembre, se las define como heladas tardías (Straschnoy *et al.* 2006).

Para la detección y estudio de estos fenómenos se requiere de datos de temperatura, ofrecidos tanto por termómetros dispuestos en las estaciones meteorológicas, así como por sensores montados en plataformas satelitales. Los termómetros de las estaciones meteorológicas ofrecen información correspondiente a la temperatura en el abrigo meteorológico ( $T_a$ ), a una altura de 1,5 m de la superficie, con una alta precisión local, y a una frecuencia temporal de 10 o 30 minutos (Renom 2011).

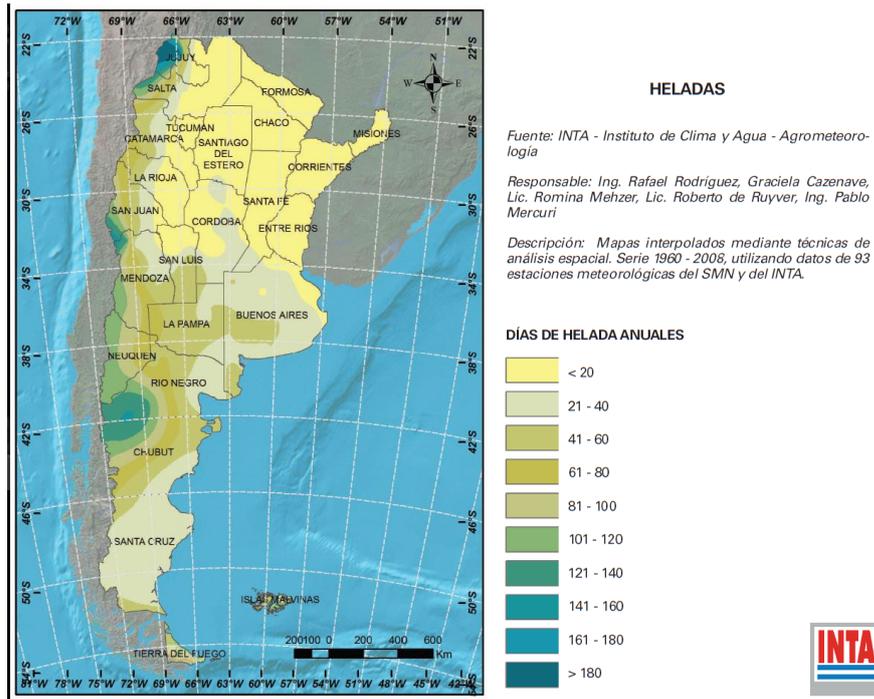
Si bien la información obtenida tiene una alta confiabilidad, la única forma de lograr analizar de forma continua la temperatura en una amplia superficie, es a partir de

métodos de interpolación de estos datos. A partir de ellos, es posible generar mapas con valores estimados de temperatura en aquellas zonas donde no hay presencia de estaciones. No obstante, cuando la densidad de estaciones es baja, y/o cuando las características del terreno son muy variables, es posible que la información resultante de la interpolación subestime o sobreestime los valores de temperatura real (Rodríguez *et al.* 2008). Existen diferentes métodos de interpolación, y hasta la fecha no hay evidencia de que alguno de estos métodos sea el mejor para cualquier condición, no obstante el más aceptado para aplicaciones meteorológicas e hidrológicas es el método de interpolación Kriging. Este método de interpolación cuantifica la estructura espacial de los datos mediante el uso de variogramas, y asume que los datos más cercanos a un punto conocido tienen más peso, el cual va disminuyendo a medida que se aleja de ese punto (Villatoro *et al.*, 2008, Ibañez y Rosell 2001). Por otra parte, las imágenes satelitales ofrecen la oportunidad de cubrir amplias superficies de una forma rápida, continua y uniforme espacialmente. Sin embargo, cabe destacar que la temperatura ofrecida por los sensores satelitales corresponde a la temperatura de la superficie (Ts), es decir, a nivel del suelo cuando hay suelo desnudo o al tope del canopy, cuando hay cobertura vegetal (Castro Díaz 2009). El sensor AVHRR del satélite NOAA por ejemplo, registra información de temperatura superficial en las bandas 3 (3,55 – 3,93  $\mu\text{m}$ ), 4 (10,3-11,3  $\mu\text{m}$ ) y 5 (y 11,5-12,5  $\mu\text{m}$ ) (Butler *et al.* 1990). Este sensor, con una resolución de 1  $\text{km}^2$ , un tamaño de escena de 2700 Km, y un horario de pasaje sobre territorio Argentino a las 6:00 am hora local aproximadamente, provee de imágenes útiles de Ts para detectar los eventos de heladas. Sin embargo, las imágenes capturadas por los satélites pueden presentar errores de estimación debido al efecto de las nubes, o por características propias de la superficie, como por ejemplo las variaciones en su emisividad (Parra *et al.* 2006).

La comunidad científica ha realizado grandes esfuerzos para estudiar la distribución y el comportamiento de las heladas, principalmente mediante el uso de información provista por estaciones meteorológicas, y su relación con la información de imágenes satelitales (Burgos 1961, Rodríguez *et al.* 2008, Fernández Long *et al.* 2007). En EEUU y Canadá, por ejemplo, se ha demostrado que las mediciones de temperatura realizadas por los satélites (Ts) y las de estaciones (Ta) pueden presentar diferencias medias de hasta 7,5°C (Gallo *et al.* 2009). Gallo y colaboradores señalaron, que en Estados Unidos tanto en condiciones de cielo despejado como nublado la Ts presentó valores más altos respecto de Ta, en un rango de mínimo 2°C.

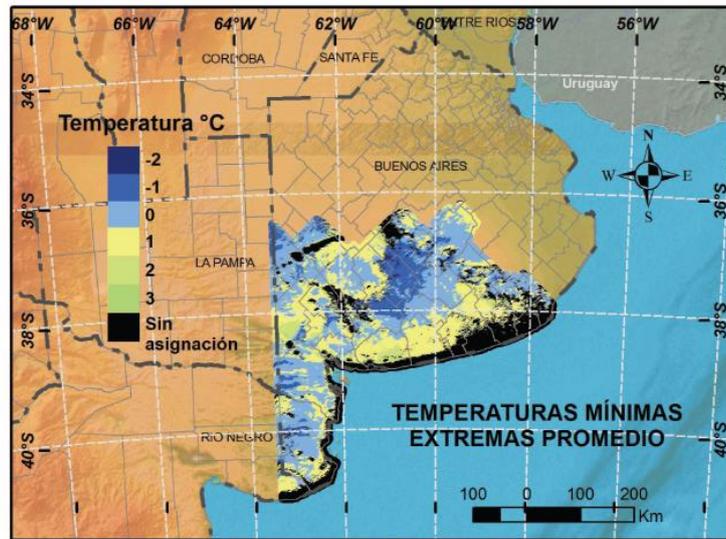
En Argentina, por su parte, existen varias publicaciones referidas al estudio de heladas que van desde 1950 a 2012 (Burgos, 1961; Fernández Long 2013); entre ellas se destacan los mapas de temperatura obtenidos por procesos de interpolación de 93 estaciones meteorológicas para la serie 1960 al 2008, realizados por el Instituto de Clima y Agua del INTA (Figura 2), los mapas de temperaturas mínimas extremas promedio y absolutas para el sur de la provincia de Buenos Aires durante el periodo de 1961-2004 (Fuente: INTA-Instituto de Clima y Agua), donde se compararon los valores de Ts absolutos y promedio con los valores de Ta obteniendo ajustes de hasta 0,8 (de Ruyver 2004; Figura 3), o el estudio de caracterización espacial de heladas y estrés hídrico en la región pampeana usando información satelital, realizado por Straschnoy y colaboradores (2006).

Si bien hay diferentes estudios que buscan comparar los datos de temperatura obtenidos por imágenes satelitales y estaciones meteorológicas, así como analizar el comportamiento de las heladas tempranas y tardías en la provincia de Buenos Aires, aún no hay registros bibliográficos con comparaciones cuantificables de temperaturas Ts y Ta, o análisis de heladas tempranas y tardías hasta el año 2014. Por este motivo, y gracias a la disponibilidad de información, tanto de imágenes satelitales como de estaciones meteorológicas por parte del Instituto de Clima y Agua (INTA), el objetivo principal de este trabajo fue analizar y comparar la información provista por imágenes de satélite y por estaciones, durante la ocurrencia de heladas tempranas y tardías entre el año 2006 al año 2014 en la provincia de Buenos Aires. Acorde a este objetivo, se propusieron dos fases de trabajo. En la primera fase, se propuso analizar para las mismas fechas (días con temperaturas por debajo de 0°C según la estación meteorológica), el grado de correlación, y la diferencia en valor absoluto entre la temperatura registrada por las estaciones (Ta) y la obtenida a partir de sensores de satélite NOAA-AVHRR (Ts) para las épocas del año donde ocurren las heladas que causan mayor daño a la producción agropecuaria (entre el 1 de enero y el 31 de mayo y desde el 1 de septiembre al 31 de diciembre). Para la segunda fase, se propuso analizar la potencialidad del uso de las imágenes de satélite para cubrir una amplia región de modo homogéneo. Para ello, se planteó analizar las diferencias entre las imágenes de satélite y los mapas obtenidos mediante procesos de interpolación de datos de estaciones, ambos clasificados de acuerdo a la clasificación empleada en SEPA (<http://sepa.inta.gob.ar>).

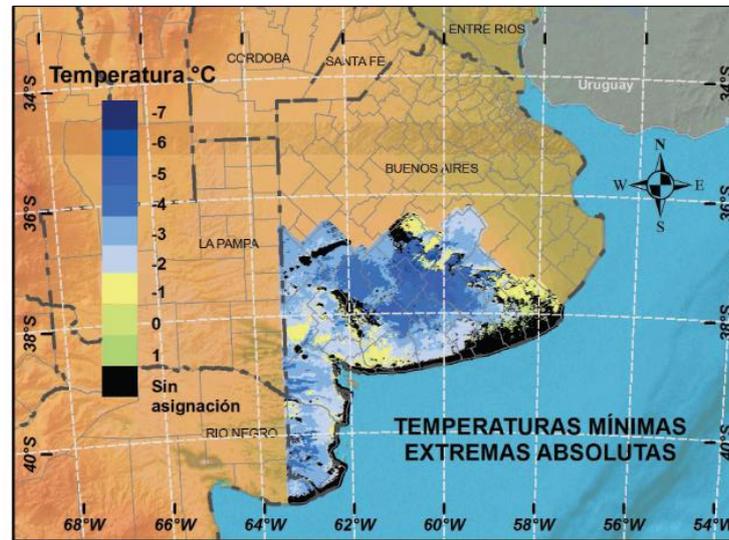


**Figura 2.** Mapa obtenido a partir de interpolación de la cantidad de días con temperaturas menores a 0°C registrados por las estaciones meteorológicas INTA entre 1960 a 2008 (Fuente: INTA- Instituto de Clima y Agua).

a)



b)



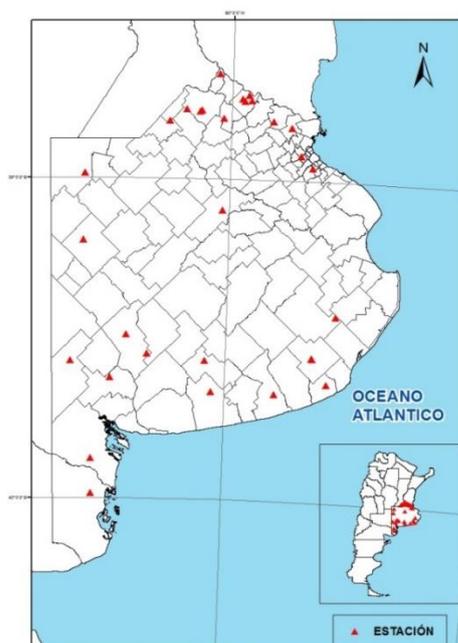
**Figura 3.** Mapas de temperaturas mínimas extremas promedio y absolutas para la segunda mitad del mes de octubre en base a los datos de temperatura de estaciones meteorológicas para el sur de la provincia de Bs. As. a partir de imágenes satelitales NOAA-AHVRV del 2005 a 2008. a) Temperaturas mínimas extremas promedio; b) Temperaturas mínimas extremas absolutas.

## 2. MATERIALES Y METODOS

### 2.1 Insumos

#### 2.1.1. Información provista por estaciones meteorológicas

Se consideraron los datos de temperatura provistos por el Instituto de Clima y Agua (CIRN-INTA), capturados por 26 estaciones meteorológicas, cuyos registros en la provincia de Buenos Aires fueron menores o iguales a 0°C (Figura 4). La información recopilada comprende la época de heladas tempranas y tardías entre el año 2006 al 2014, es decir, los meses de enero a mayo y de septiembre a diciembre, respectivamente. Con esta información se creó una base de datos con la cual se identificaron 110 eventos de heladas cuya fecha de ocurrencia coincidió con las imágenes satelitales disponibles (Tabla 1).



**Figura 4.** Distribución de estaciones meteorológicas (2006-2014) en la provincia de Buenos Aires.

Cabe resaltar, que de las 26 estaciones meteorológicas que arrojaron datos de temperatura de abrigo (que por debajo de 0°C estarían indicando la presencia de helada), 8 pertenecen a estaciones meteorológicas convencionales “EMC” que forman parte de la red INTA, y cuyas mediciones las realiza un observador tres veces al día. A partir de estas tres mediciones se genera un valor diario medio que es almacenado, el resto son “EMA” estaciones meteorológicas automáticas y ofrecen información con un frecuencia de 30

minutos. La información provista por las EMC y las EMA se puede visualizar en la plataforma web SIGA (Fuente: <http://siga2.inta.gob.ar/>).

**Tabla 1.** Cantidad de registros por estación con datos de temperaturas menores a 0°C desde el 2006 a 2014, entre el 1 de enero al 31 mayo (heladas tempranas) y entre el 1 de Septiembre al 31 de Diciembre (heladas tardías) cuyas fechas coincidieron con la recepción de imágenes NOAA-AVHRR.

<b>Estación</b>	<b>Registros</b>	<b>Estación</b>	<b>Registros</b>
INTA - Barrow (EMC)	48	INTA- San Pedro (EMC)	7
INTA - Gral Villegas (EMC)	46	Las Armas - EEA Cuenca Salado	7
INTA - Hilario Ascasubi (EMC)	46	Cnel Pringles - EEA Bordenave	6
INTA - Bordenave (EMC)	42	INTA – Pergamino	6
INTA - Pergamino (EMC)	30	Arrecifes- EEA Pergamino	5
Miramar - EEA Balcarce	19	Ferre - EEA Pergamino	4
Villalonga - EEA H Ascasubi	19	INTA – Delta	3
INTA - Balcarce (EMC)	14	Rio Tala - EEA San Pedro	3
Trenque Lauquen-EEA Villegas	12	San Pedro - EEA San Pedro	3
INTA - Castelar (EMC)	11	Alfonso - EEA Pergamino	2
Coronel Suarez-EEA Bordenave	9	25 de Mayo - EEA Pergamino	1
Balcarce - EEA Balcarce	8	Castelar - ICyA CIRN	1
La Dulce - EEA Balcarce	8	INTA - San Pedro	1

### 2.1.2. Información provista por sensores satelitales

Se utilizó información capturada por el sensor AVHRR de la serie NOAA, recibida por la antena ubicada en el Instituto de Clima y Agua (INTA-CIRN); estas imágenes cubren un ancho de 2.700 km y tienen una resolución espacial de 1 km<sup>2</sup>. Por su disponibilidad se usó la información de la banda térmica 4 (10,3-11,3 μm). Y un total de 110 imágenes satelitales fueron seleccionadas, cuya fecha de captura coincidió con la fecha de ocurrencia de heladas que registraron las estaciones meteorológicas.

### 2.1.3. Información político-administrativa

Para la selección de las estaciones meteorológicas ubicadas en el área de estudio, y para el recorte de las imágenes satelitales en base al límite provincial, se utilizó

información vectorial catastral de la provincia de Buenos Aires descargada del Instituto Geográfico Militar, Se utilizó también una capa vectorial con información por partidos, que sirvió de insumo para identificar las zonas más afectadas por este fenómeno (Fuente: <http://www.ign.gob.ar/sig>).

#### 2.1.4. Información de cobertura

Se utilizaron imágenes del Global Land Cover 2000 para la provincia de Buenos Aires (Eva et al. 2004). Para esta región se obtuvieron las siguientes clases de usos y coberturas en orden de extensión: agricultura intensiva (29% de la superficie), mosaico de agricultura/vegetación degradada (24,3%), estepa/pastizal herbáceo abierto (15,9%), Mosaico de agricultura/bosque degradado (9,4%), sabana periódicamente inundable (6,7%), arbustal abierto (4,2%), arbustal cerrado (3,5%), bosque caduco cerrado (1,4%), bosque tropical cerrado perenne (1,2%), cuerpos de agua (1%), y las clases de bosque tropical abierto perenne, estepa desértica arb/herb abierta, marisma, brezal, manglar, zonas urbanas, desérticas, estepa herbácea cerrada, sabana arbustiva, y bosques de montaña entre 500 y 1000 metros abiertos o cerrados, con menos de 1% de cobertura.

#### 2.2. Procesamiento de la información

El trabajo se dividió en dos fases o etapas. Durante la fase 1 se recopiló la información registrada por las estaciones meteorológicas de la región de estudio (ver punto 2.1.1) y se transformó la base de datos (formato Excel) en un archivo vectorial usando Arcmap 10, en dicho archivo, cada una de las estaciones fue representada por un punto que almacenaba los valores de temperatura de abrigo de las fechas en que la  $T_a$  fue menor o igual a  $0^{\circ}\text{C}$ . Luego, para cada estación se extrajo el valor del píxel de la imagen satelital correspondiente a esa misma fecha (ver punto 2.1.2) y se conformó una nueva tabla con formato .xls con los siguientes campos: nombre de estación, fecha de ocurrencia, temperatura de abrigo ( $T_a$ ) y temperatura de superficie ( $T_s$ ). Con esta información se realizó una comparación preliminar de datos. Para ello se calcularon los valores de temperatura promedio diarios de  $T_s$  y  $T_a$ , y luego se realizó una regresión lineal entre las variables. Este procedimiento se llevó a cabo con todos los datos de temperatura que se almacenaron desde el año 2006 hasta el 2014, así como anualmente. Por otra parte, para evaluar la significancia de la diferencia entre  $T_a$  y  $T_s$  se usó la matriz ANOVA, con las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula: las diferencias entre los valores de temperatura obtenidos entre Ts (Temperatura superficie) y Ta (Temperatura de abrigo) no presentan diferencias significativas.

Hipótesis alterna: Existen diferencias significativas entre los valores de temperatura de Ts con respecto a Ta.

Cabe resaltar que para este análisis estadístico, se omitieron aquellos valores de imágenes satelitales cuya diferencia en valor absoluto con respecto a la medición de la estación meteorológica, presentaba valores por encima de los 10 grados centígrados, debido a que esta diferencia probablemente estaría principalmente asociada a la presencia de fenómenos de tipo atmosférico (nubes), o por algún defecto de la imagen (bando, ruido, etc).

En la segunda fase del trabajo, se usó la información provista por estaciones (ver punto 2.1.1), y con ella se generaron mapas temáticos elaborados a partir del proceso de interpolación Kriging (Villatoro *et al*, 2008, Ibañez y Rosell 2001). Este es un método de interpolación para el cual los valores interpolados son modelados por un proceso gaussiano gobernado por covarianzas previas.

Posteriormente, siguiendo los estándares de clasificación para las imágenes satelitales utilizados en <http://sepa.inta.gob.ar/> se clasificaron las imágenes obtenidas por interpolación en 12 clases de la siguiente forma:

**Tabla 2.** Clasificación de temperatura INTA (Fuente: <http://sepa.inta.gob.ar/>).

Clase	Rango de temperatura	Símbolo
1	Entre -9 y -10°C	
2	Entre -8 y -9°C	
3	Entre -7 y -8°C	
4	Entre -7 y -6°C	
5	Entre -6 y -5°C	
6	Entre -5 y -4°C	
7	Entre -4 y -3°C	
8	Entre -3 y -2°C	
9	Entre -2 y -1°C	
10	Entre -1 y 0°C	
11	Mayores a 0°C	
12	Temperaturas por debajo de los -10°C (Nubes)	

Las imágenes interpoladas fueron utilizadas en conjunto con las imágenes satelitales (ver punto 2.2.2) para realizar un análisis del comportamiento espacial de las heladas. Este análisis consistió en comparar las diferencias espacio-temporales entre los

2 productos obtenidos; primero se buscaron coincidencias espaciales en cuanto a los partidos con mayor cantidad eventos de heladas durante todo el periodo de estudio, y luego se realizó un análisis similar, comparando los partidos que presentaron temperaturas más bajas durante todo el periodo de estudio.

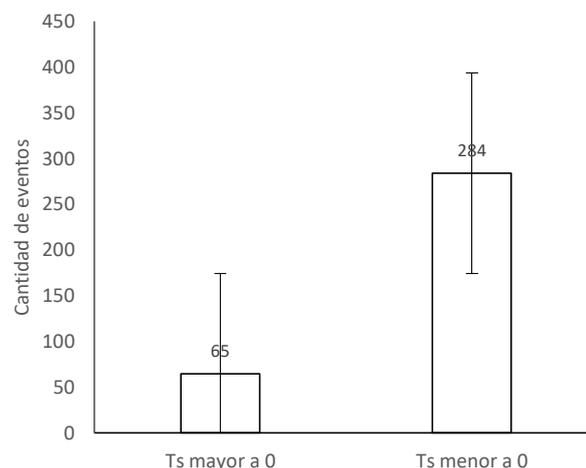
Por último, se procedió a identificar las zonas con mayores diferencias de temperatura  $T_s$  versus  $T_a$ . Para ello se realizó una diferencia aritmética entre las imágenes satelitales y las interpoladas, y con los resultados obtenidos se enumeraron los partidos que mayores diferencias presentaron.

Para poder llevar a cabo esta parte grafica se usó el software ArcMap 10.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Fase 1. Análisis del comportamiento de $T_a$ y $T_s$ .

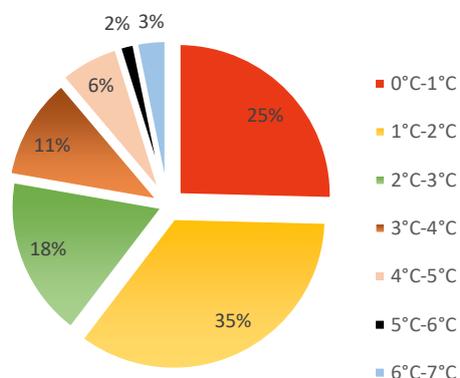
Habiendo identificado las fechas que presentaron temperaturas iguales o inferiores a 0 grados (heladas) a partir de la  $T_a$  registrada con estaciones meteorológicas, se encontró que en el 81,4% de los casos, los valores de temperatura de superficie ( $T_s$ ) registrados por el satélite también mostraron valores por debajo de 0°; mientras que en el 18,6% restante, las temperaturas de superficie fueron superiores a 0°C (Figura 5).



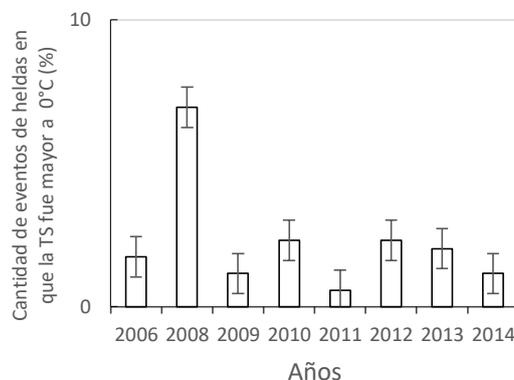
**Figura 5.** Número de eventos registrados con la  $T_s$  superior e inferior a 0°C, para las fechas en que la  $T_a$  fue menor o igual a 0°C.

De ese 18,6%, se encontró que en un 60% de los casos, los valores de  $T_s$  se desviaron sólo entre 0°C y 2°C por encima del umbral de 0 (Figura 6). Se pudo observar

también, que el año 2008 fue el año que presentó mayor número de eventos con Ts superiores a 0° cuando la Ta detectaba helada (Figura 7).



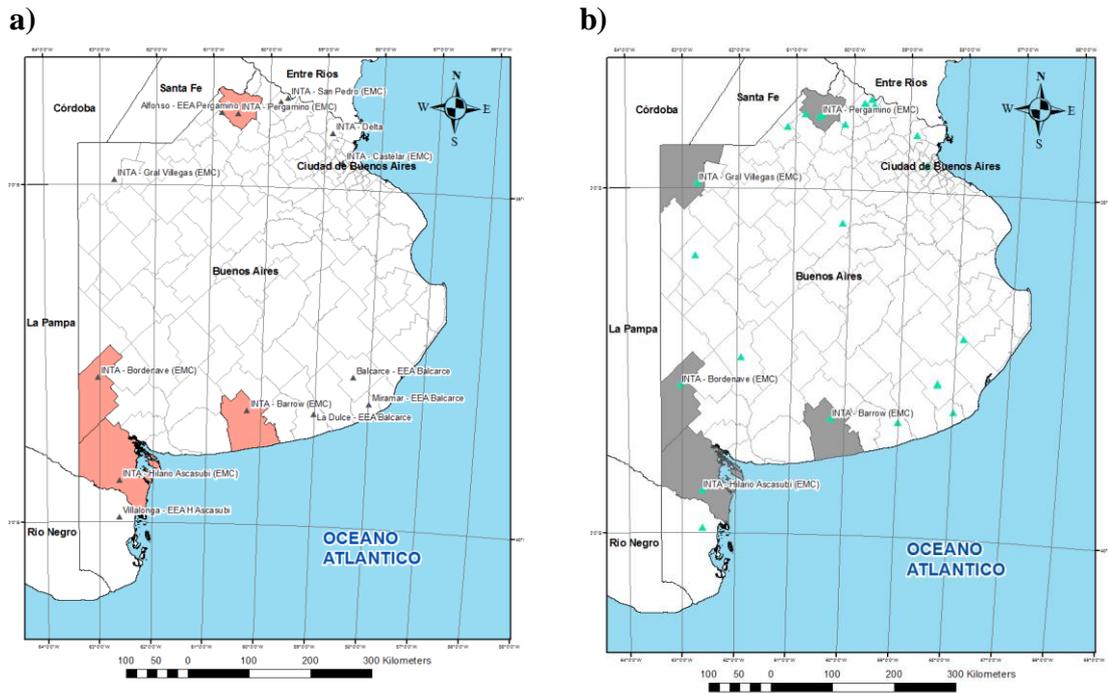
**Figura 6.** Porcentaje del número de eventos con Ts por encima de 0°C cuando la Ta detectó helada.



**Figura 7.** Porcentaje anual de datos de temperatura Ts por encima de 0°C para heladas detectadas mediante Ta.

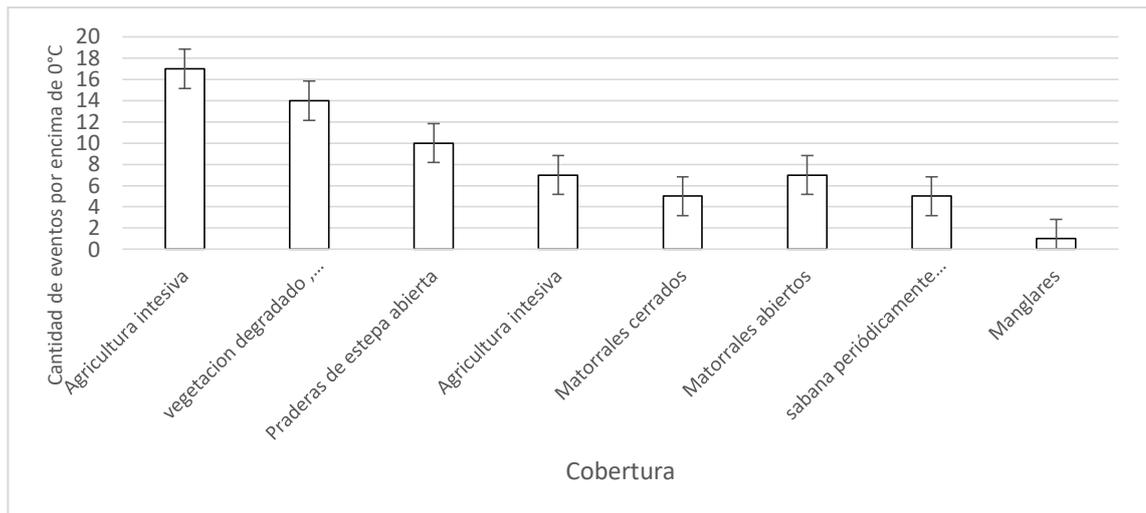
Estos 65 eventos donde la temperatura de superficie (Ts) fue mayor a 0 mientras la Ta era igual o menor a este valor, se localizaron en 14 estaciones meteorológicas, siendo las estaciones INTA - Barrow (EMC), e INTA - Hilario Ascasubi (EMC), las que más casos registraron, ambas ubicadas en la zona sur de la provincia (Figura 8a).

Por otra parte los 284 pixeles restantes que sí arrojaron valores de temperatura de superficie por debajo de 0°C cuando la Ta detectó helada, se distribuyen en toda la provincia, siendo las estaciones INTA - Gral Villegas (EMC), INTA - Bordenave (EMC), INTA - Hilario Ascasubi (EMC), INTA - Barrow (EMC), INTA - Pergamino (EMC) las que más aciertos mostraron (Figura8b).



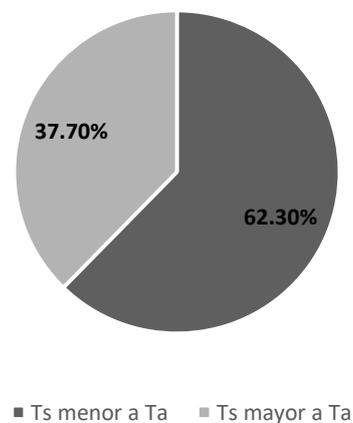
**Figura 8. a)** Cantidad de píxeles que presentaron valores de temperatura  $T_s$  superiores a  $0^\circ\text{C}$  en fechas con la  $T_a$  menor o igual a  $0^\circ\text{C}$ , expresados en número de eventos; **b)** Cantidad de píxeles cuyos valores al igual que la  $T_a$  fueron menores a  $0^\circ\text{C}$  (azul oscuro), expresados en número de eventos.

De acuerdo a lo anterior, la razón por la cual se obtuvieron registros por encima de  $0^\circ\text{C}$ , cuando la estación meteorológica arrojó valores por debajo de este umbral, estuvo en función del tipo de cobertura (tamaño y estructura), ya que de acuerdo al mapa de usos y coberturas del suelo para Buenos Aires (Global Land Cover 2000, Eva et al. 2002), las coberturas correspondientes a agricultura intensiva y vegetación degradada son las que más se presentaron al momento de contar la cantidad de eventos por encima de  $0^\circ\text{C}$ , y su ubicación corresponde a las estaciones mencionadas anteriormente (Figura 9), también cabe mencionar que la sequía sufrida en el 2008 donde la zona sur de la provincia fue declarada en emergencia fue otra de las causas del porque los valores de  $T_s$  estuvieron por encima de 0 (Scarpati y Capriolo, 2013).



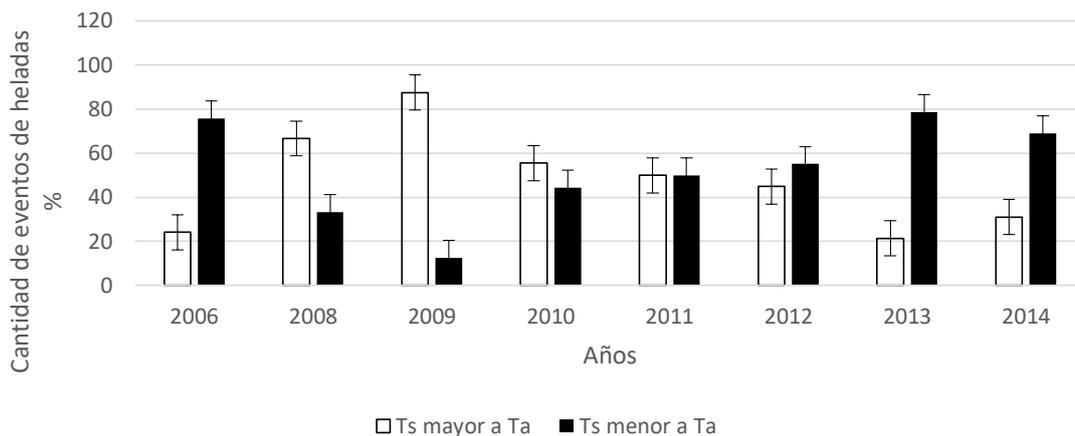
**Figura 9.** Cantidad de eventos con  $T_s$  superior a 0 de acuerdo a la cobertura del suelo

Por su parte, se encontró que en el 62,3% de los casos, cuando la  $T_s$  fue menor a  $0^\circ\text{C}$  también registró valores por debajo al valor de la  $T_a$  de la estación meteorológica (Figura 10).



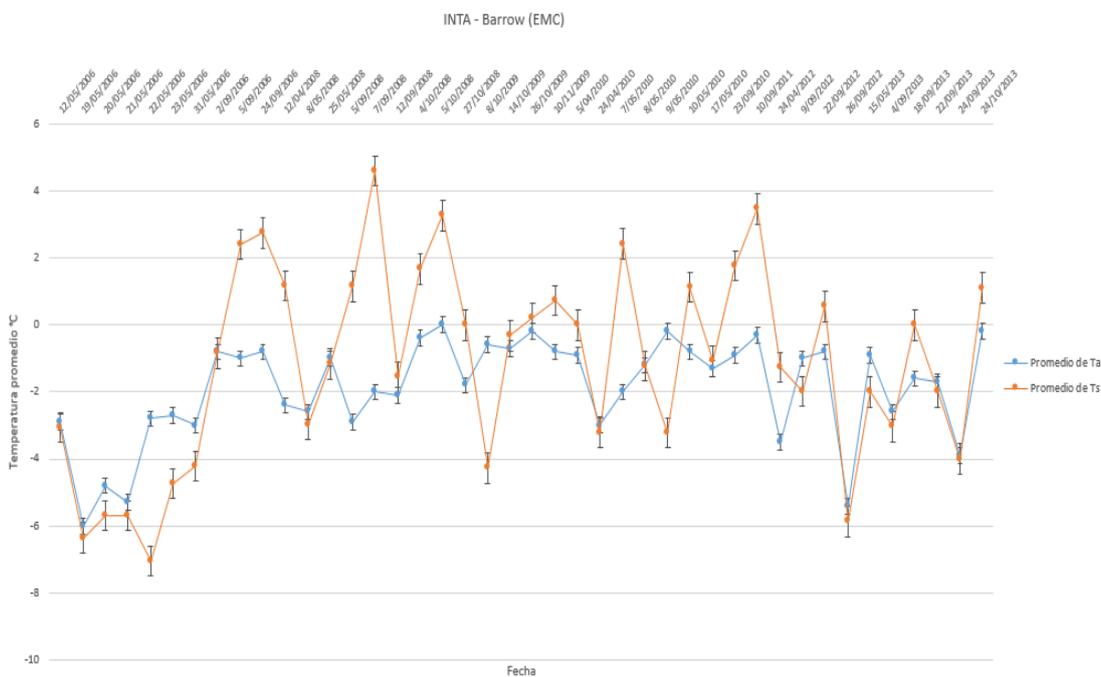
**Figura 10.** Porcentaje de datos de temperatura  $T_s$  mayor a  $T_a$  para todo el periodo de estudio 2006-2014.

Al analizar este tipo de eventos anualmente, se encontró que la tendencia observada en la figura 10, se mantuvo en los años 2006, 2012, 2013 y 2014 (Figura 11), mientras que en los años 2008, 2009 y 2010 se observó que los valores de  $T_s$  fueron en su mayoría superiores a los de  $T_a$ .



**Figura 11.** Cantidad de datos (%) con valores de Ts superiores a Ta por año.

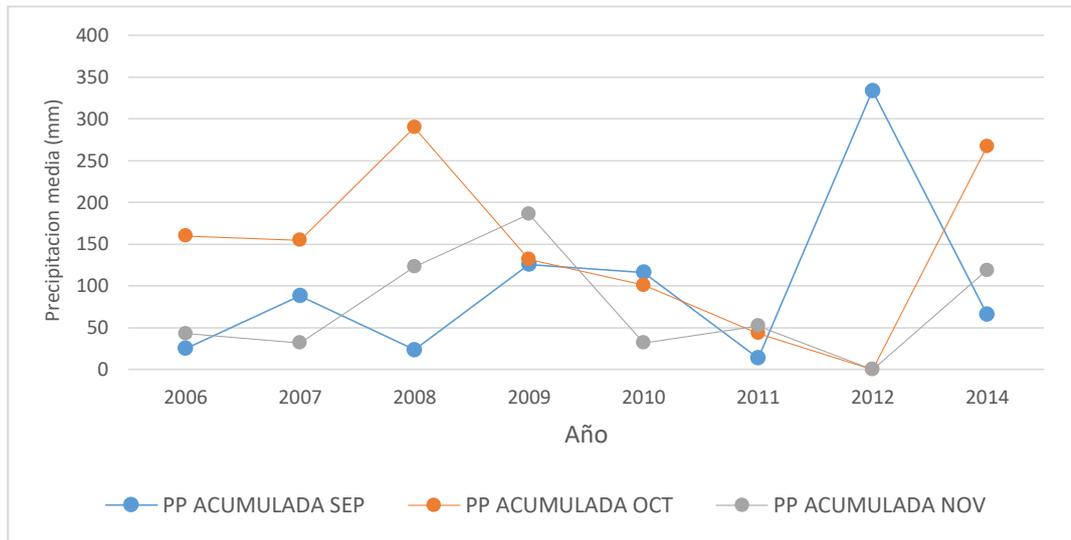
En estos años donde la Ts fue mayor a la Ta, se pudo observar que para los meses de septiembre y octubre, los valores promedio de temperatura de superficie fueron superiores en todas las estaciones, un ejemplo de ello es la estación INTA-Barrow -EMC- (Figura 12).



**Figura 12.** Valores promedio de Temperatura de superficie y de abrigo para la estación INTA-Barrow (EMC).

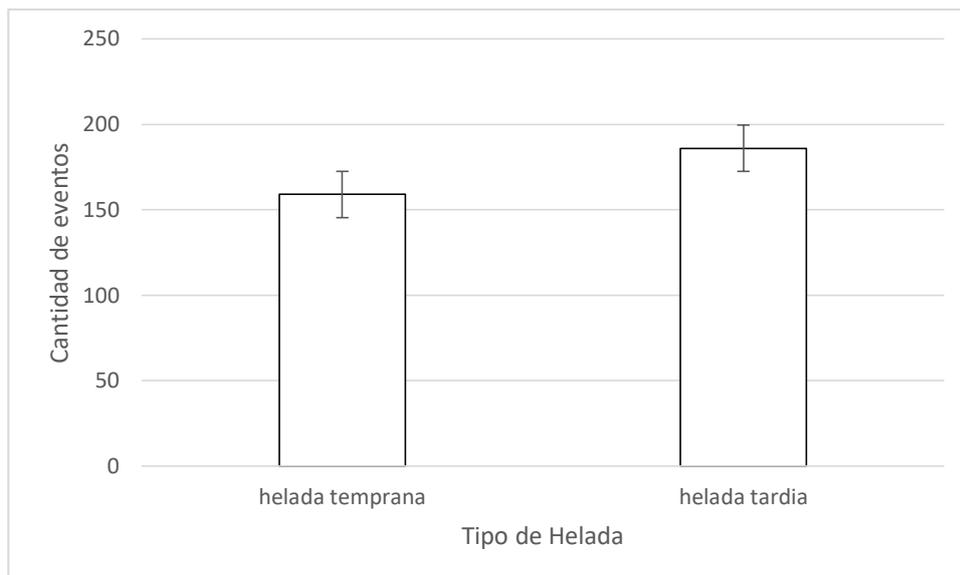
Estos resultados están relacionados a eventos atmosféricos como la precipitación acumulada, que en octubre de 2008 y 2012 aumentó considerablemente, alcanzando valores máximos de 289,8 y 334 mm, respectivamente (Figura 13). Estos valores

afectaron las mediciones de  $T_s$ , haciendo más grande la brecha entre  $T_s$  y  $T_a$ , ya que las imágenes satelitales, al capturar información al tope del canopy si bien hablamos de cobertura vegetal como bosque, o de superficie, si hablamos de suelo desnudo, esta presenta descensos en el cálculo de temperatura de superficie por los cambios que sufren las coberturas al entrar en contacto con más agua.



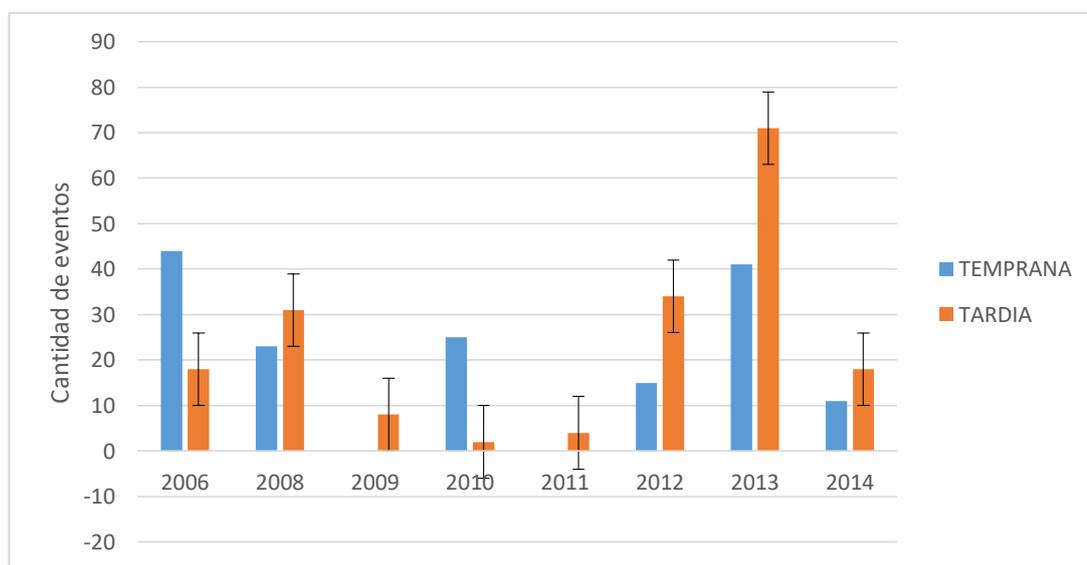
**Figura 13.** Gráfico comparativo del 2006 al 2014 entre los valores promedio de precipitación acumulada para septiembre, octubre y noviembre.

Por otra parte, se observó que la cantidad de heladas tardías detectadas por estaciones meteorológicas y por los sensores satelitales fueron mayores en comparación a las heladas tempranas desde el 2006 al 2014 (Figura 14).



**Figura 14.** Cantidad de evento de heladas tempranas y tardías ocurridas entre el (2006-2014).

Esta diferencia, en cuanto a cantidad de eventos, estuvo vinculada principalmente por la tendencia registrada durante los años 2008, 2009, 2011, 2012, 2013 y 2014 (Figura 15).



**Figura 15.** Conteo de eventos de heladas tempranas y tardías por año.

Durante los años 2006 y 2010 la tendencia fue inversa. Es decir, la cantidad de heladas tempranas fue superior a las tardías (Figura 15). Este hecho se pudo validar con los datos de temperatura mínimos obtenidos del portal de Meteored del mes de mayo

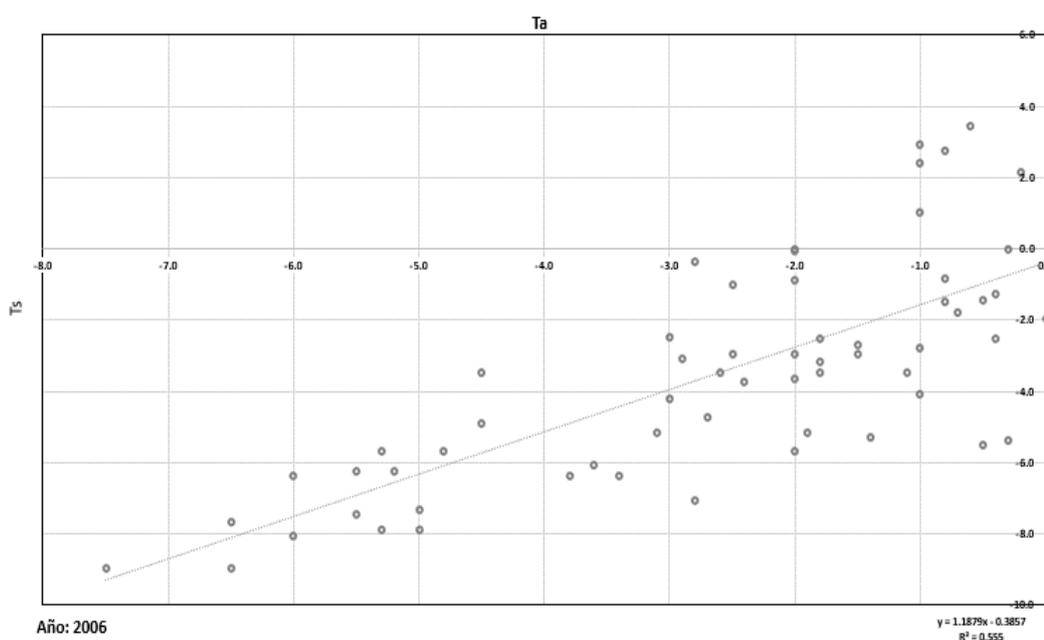
(fuente: <https://www.meteored.com.ar/>), los cuales estuvieron por debajo de los valores de temperatura promedio mínimos de septiembre (Tabla 3).

**Tabla 3.** Valores promedio de temperatura mínima mensual de los años 2006, y 2010 años donde se presentaron más eventos de heladas tempranas que tardías. (fuente: <https://www.meteored.com.ar/>).

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	SET	OCT	NOV	DIC
<b>2006</b>	15,9 °C	14,9 °C	11,1 °C	9 °C	5,2 °C	3,8 °C	10 °C	10,5 °C	15,7 °C
<b>2010</b>	17,1 °C	13,5 °C	11,3 °C	8 °C	6,8 °C	7,2 °C	9 °C	10,4 °C	11,7 °C

A nivel estadístico, se pudo encontrar que para todo el periodo de estudio 2006-2014, hay una muy baja correlación entre los datos  $T_s$  y  $T_a$ , llegando a ser de 0,24. Anualmente, se pudo observar también que los coeficientes de correlación entre  $T_s$  y  $T_a$  que presentaron los valores de  $r^2$  más altos, se dieron en los años 2011 ( $r^2=0,88$ ), y 2006 ( $r^2=0,55$ ); este último muestra una nube de puntos no muy dispersa, y de no ser por los valores de  $T_s$  superiores a  $0^\circ\text{C}$ , el 2006 pudo ser el año con mejor ajuste (Figura 16). La principal razón por la que se obtuvo este ajuste se debe a que la incertidumbre en los datos de temperatura de superficie es considerable, sobre todo cuando los valores de  $T_a$  están entre  $0^\circ\text{C}$  y  $-1^\circ\text{C}$ .

Por su parte, el año 2011 a pesar de tener un ajuste alto, no cuenta con los suficientes datos de temperatura de superficie que permitieran validar el grado de correlación entre los datos  $T_s$  y  $T_a$ .



**Figura 16.** Gráfico de regresión para el año 2006.

Los demás años presentaron un  $r^2$  por debajo de 0,5, entre ellos se encuentran: el año 2010 y 2014 ( $r^2$ : 0,3), el año 2012 ( $r^2$ : 0,2), y los años 2008, 2013 y 2009, con ajustes de 0,15, 0,12 y 0,06, respectivamente. Para los años 2008, 2009, y 2013; los bajos valores de  $r$  son el resultado del alto volumen de Ts que estuvieron por encima de 0°C, como se mostró en la figura 5, y del incremento en el régimen de lluvias que se presentaron para el mes de septiembre en estos años, reduciendo la cantidad de días con condiciones óptimas para la ocurrencia de heladas.

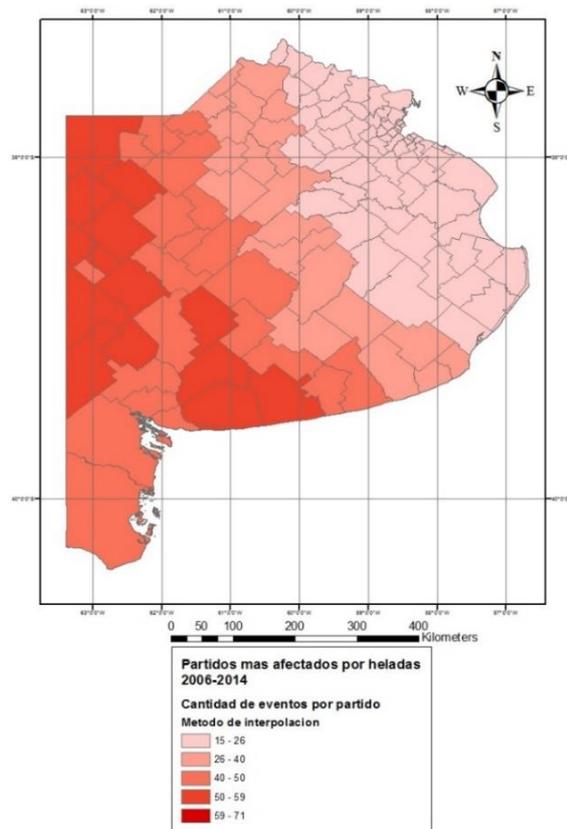
Al momento de realizar el análisis de varianza de la matriz ANOVA, se pudo observar que para todo el periodo de estudio se aprobó la hipótesis alterna, y que los años 2006 y 2011 fueron los únicos que no mostraron diferencias significativas entre los datos de temperatura de superficie y los de abrigo (Tabla 4). Para los años en los que se aprobó la hipótesis alterna se pudo notar que el amplio margen entre  $F$  y el valor crítico de  $F$ , se debe a que según las barras de error de los análisis de regresión, la incertidumbre en los valores de Ts era más grandes, sin importar los valores arrojados por las estaciones meteorológicas.

**Tabla 4.** Matriz ANOVA para los años 2006 y 2011

	<i>Grados de libertad</i> <i>2006</i>	<i>Grados de libertad</i> <i>2011</i>	<i>Suma de cuadrados</i> <i>2006</i>	<i>Suma de cuadrados</i> <i>2011</i>	<i>F</i> <i>2006</i>	<i>Valor Crítico</i> <i>2006</i>	<i>F</i> <i>2011</i>	<i>Valor crítico</i> <i>2011</i>
<b>Regresión</b>	1	1	318.8284	50.588	74.8	3.83E-12	0.04	5.97
<b>Residuos</b>	60	2	255.6337	30.541				
<b>Total</b>	61	3	574.4622	81.13				

### 3.2. Fase 2. Análisis espacial de las heladas

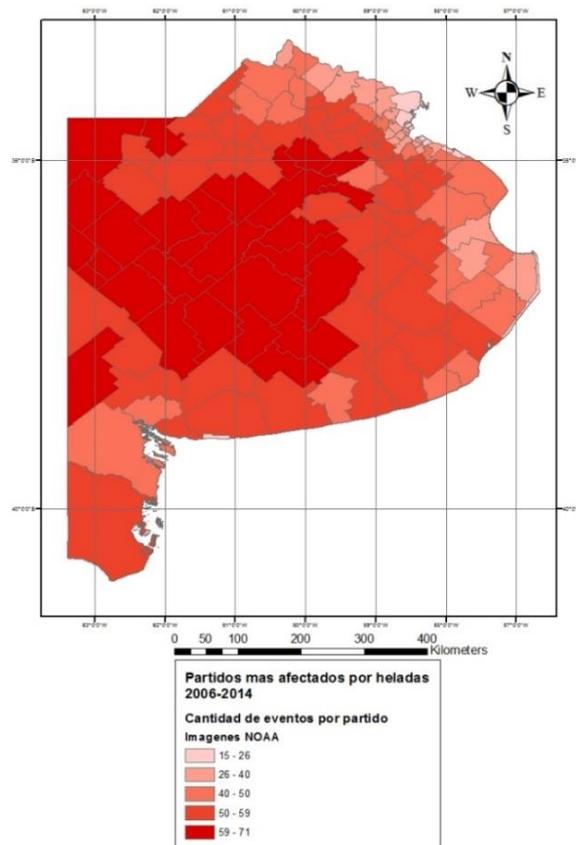
Al convertir la información obtenida de las estaciones meteorológicas a formato de raster o imagen, se encontró que para todo el período de estudio, tanto las heladas tempranas como las tardías se manifestaron inicialmente en la zona occidental de la provincia (Figura 17).



**Figura 17.** Número de heladas detectadas por partido entre el 2006 al 2014, obtenido a partir de la aplicación de métodos de interpolación de la Ta capturada por estaciones meteorológicas.

De acuerdo a la figura 18 los partidos de Monte hermoso con 57 eventos, seguido por Coronel Dorrego, General Villegas, Rivadavia y Tres Arroyos con 55 eventos, fueron los más afectados entre el 2006-2014, todos ellos ubicados en la zona oriental de la provincia. Mientras que General Lavalle, La Costa, Berisso y Tordillo, ubicados en la zona oriental, fueron los partidos que según los mapas de interpolación sufrieron menos afectaciones por estos fenómenos (16 eventos).

Por otra parte, al realizar este análisis a partir de la información obtenida por imágenes satelitales, se evidenció que los eventos de Ts iguales o inferiores a 0°C afectaron además de la zona occidental de la provincia, la zona centro. Allí, los partidos General La Madrid, Daireaux, Benito Juárez, Coronel Suárez, e Hipólito Yrigoyen con más de 69 eventos entre el 2006 al 2014, fueron los más afectados (Figura 18).



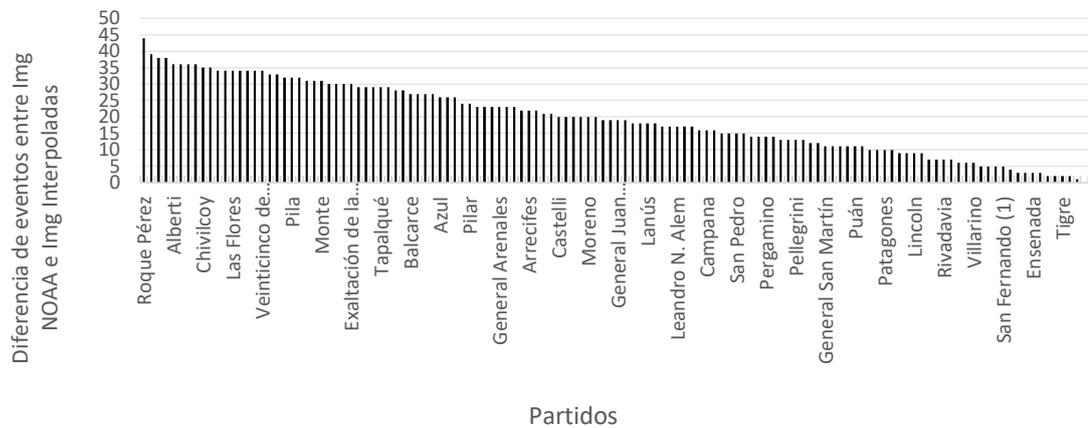
**Figura 18.** Número de heladas detectadas por partido entre el 2006 al 2014, obtenido a partir de la Ts ofrecida por imágenes satelitales del sensor AHVRR del satélite NOAA.

De acuerdo a lo anterior, los partidos que fueron más afectados por heladas detectadas a partir de las imágenes satelitales, no fueron los mismos que los de las imágenes interpoladas. Este resultado se debe a que la red de estaciones meteorológicas usadas para este estudio no cubre la totalidad de la provincia, por lo que la imagen resultante del proceso de interpolación, pudo tener valores de temperatura estimados con cierto grado de error.

Además de encontrar una mayor cantidad de eventos con las imágenes NOAA, se observa que a nivel espacial la zona centro de la provincia sufre importantes afectaciones que no se visualizan en los mapas de interpolación de las estaciones meteorológicas, ya que en su mayoría las mismas se encuentran en la zona sur y norte, salvo la estación 25 de Mayo - EEA Pergamino, cuya ubicación es la más próxima a las provincias de la zona centro.

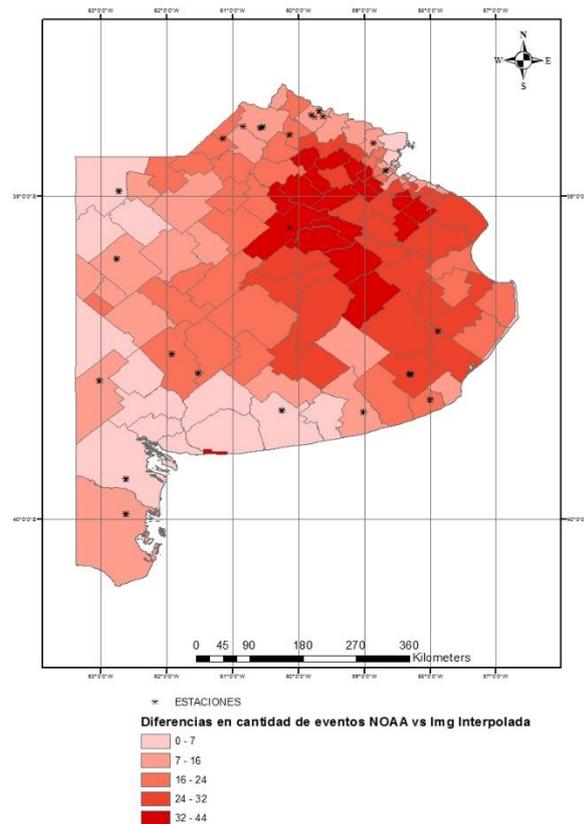
Ahora bien, al momento de identificar exactamente los partidos que más diferencias en cuanto a cantidad de eventos obtenidos por mapas de interpolación e

imágenes satelitales se dieron, se encontraron partidos donde las diferencias fueron de un máximo de 44, y un mínimo de 0 (Figura 19).



**Figura 19.** Diferencia de eventos de heladas entre imágenes satelitales e imágenes interpoladas de acuerdo al partido

Espacialmente hablando, fue la zona centro oriental en donde se agruparon la mayoría de partidos donde las diferencias entre imágenes interpoladas e imágenes satelitales fueron mayores, mientras que la zona occidental fue la que más similitudes presento en cuanto a número de eventos entre el 2006 y el 2014 (Figura 20).



**Figura 20.** Diferencia en cantidad de eventos de helada registrados entre imágenes satelitales e imágenes interpoladas durante el periodo (2006-2014). Los partidos con mayores diferencias se representan con tono más intenso.

En este punto se pudo observar que en los partidos donde hubo una mayor coincidencia fueron aquellos ubicados en zonas que cuya presencia de estaciones era mayor y continua espacialmente, por lo que se infiere que en el proceso de interpolación se subestimaron o sobreestimaron los valores de  $T_a$  sobre todo en el área oriental de la provincia.

Además de comparar la cantidad de eventos de heladas obtenidos por imágenes satelitales e imágenes interpoladas según la cantidad de eventos, también se hizo una comparación de acuerdo a su intensidad. En este punto se encontró que, con las imágenes interpoladas, los partidos que sufrieron de temperaturas más bajas fueron; Patagones, Saavedra, Puan, Adolfo Alsina, General Villegas, Guaminí, Monte Hermoso, y Tornquist, ubicados en la zona occidental, y donde se alcanzaron temperaturas mínimas de  $-9^{\circ}\text{C}$  y  $-10^{\circ}\text{C}$  (Figura 21a). Ahora bien, al comparar estos resultados con los obtenidos de imágenes satelitales, se puede afirmar que no hay coincidencias, ya que los partidos que

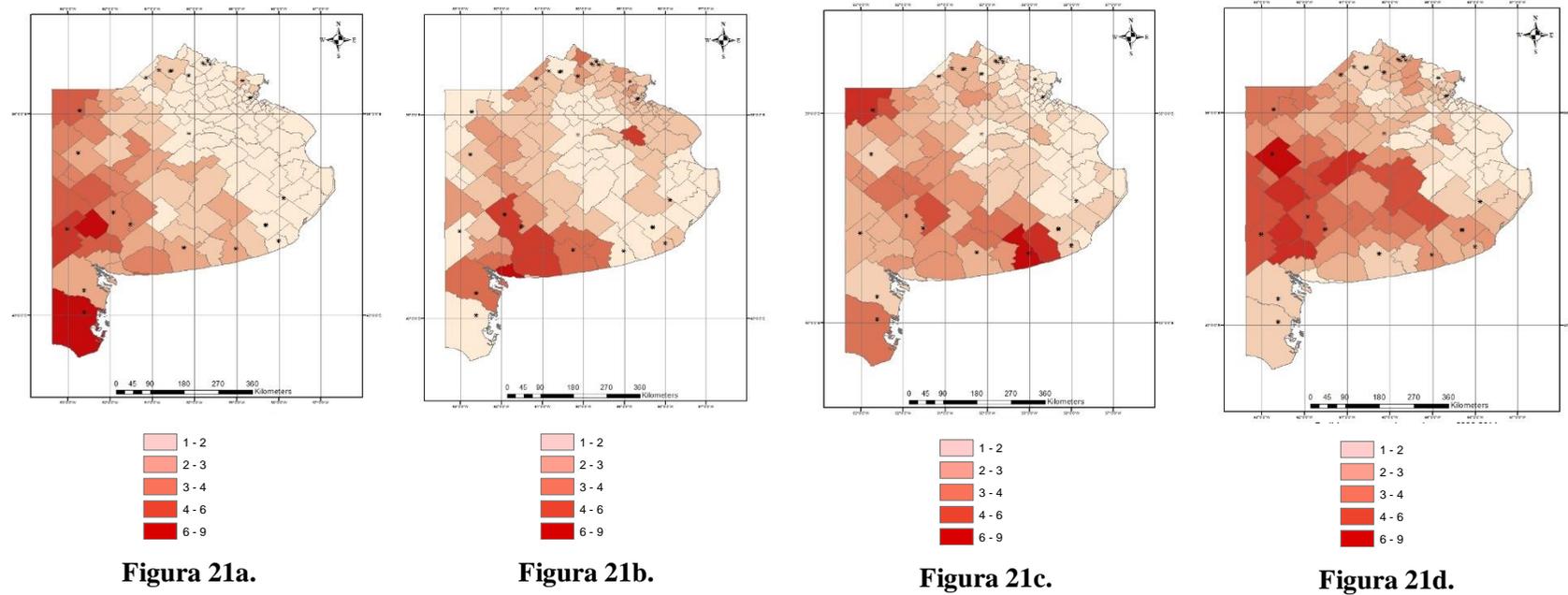
registraron las temperaturas más bajas con este insumo fueron: Arrecifes, General Pueyrredón, y Lincoln distribuidos en la zona norte y sur de la provincia (Figura 22a).

Se observó que la  $T_a$  del mapa de interpolación perteneciente a la clase 2 (entre  $-9^{\circ}\text{C}$  y  $-8^{\circ}\text{C}$ ), fueron más frecuentes en partidos ubicados en la zona suroccidental de la provincia; a excepción de Monte, ubicado en la zona oriental y a un radio de más de 100 kilómetros de distancia a la estación meteorológica más cercana (Figura 21b). Por su parte, las imágenes satelitales mostraron un patrón similar (Figura 22b), en donde los partidos más afectados se encuentran en la zona occidental (General La Madrid, Guaminí, Hipólito Yrigoyen, Lincoln, Pehuajó y Tordillo).

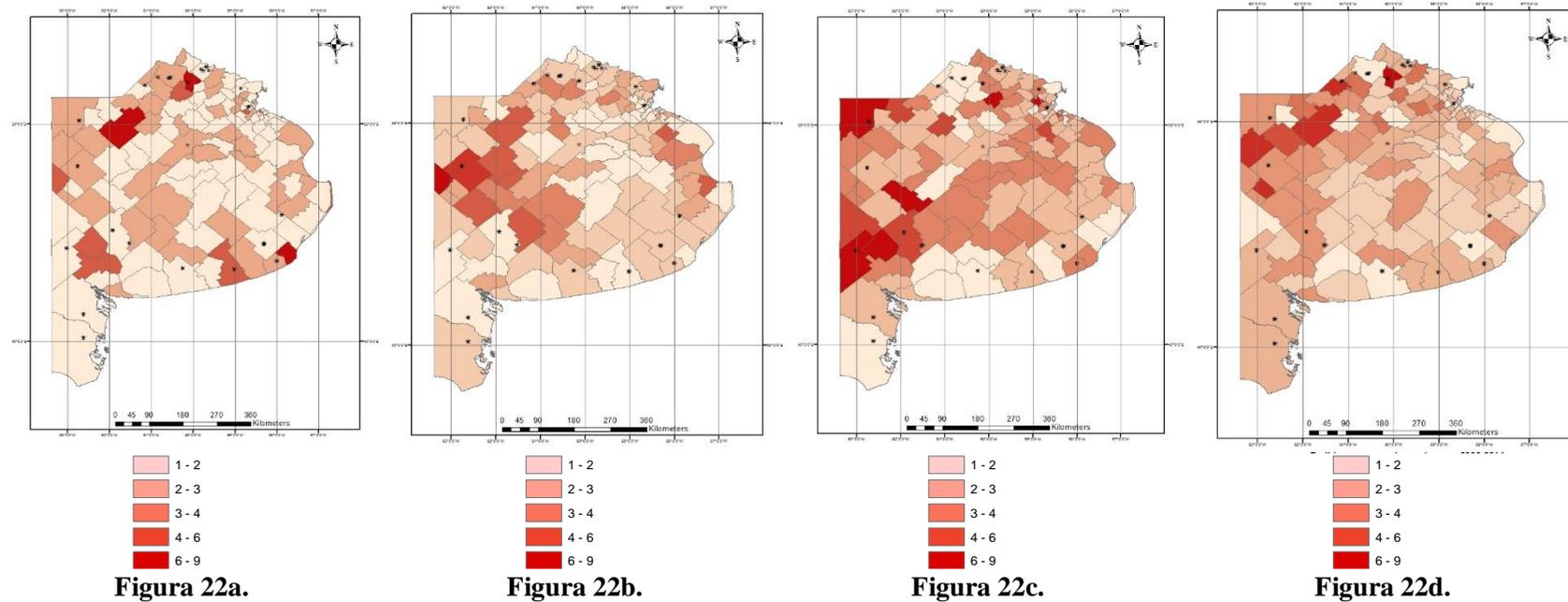
A partir de los mapas de obtenidos de imágenes satelitales, se observó que para los eventos pertenecientes a la clase 3 donde las temperaturas oscilaban entre  $-8^{\circ}\text{C}$  y  $-7^{\circ}\text{C}$  el patrón era similar al obtenido por mapas de  $T_a$  (Figura 21c). No obstante, este patrón no se observó cuando se analizaron las heladas que registraron entre  $-7^{\circ}\text{C}$  y  $-6^{\circ}\text{C}$  (grupo 4), donde los partidos más afectados ocupaban la zona nor-occidental de la provincia (Figura 21d).

Las diferencias espaciales encontradas entre las imágenes de satélite y los mapas de interpolación, se pudieron atribuir a los errores del proceso de interpolación en sí, a la dispersión espacial de las estaciones meteorológicas que dejan un vacío importante sobre la región central de la provincia, y a la diferencia intrínseca entre la  $T_s$  y  $T_a$  analizada en la fase I de este trabajo. Por este motivo se encontró que los valores de Temperatura de superficie, en la mayoría de los casos, fueron mayores a los de abrigo, por lo que no fue de extrañar ver que sólo hasta después de la clase 2 ( $-9^{\circ}\text{C}$  a  $-8^{\circ}\text{C}$ ), un patrón similar entre imágenes satelitales e imágenes interpoladas.

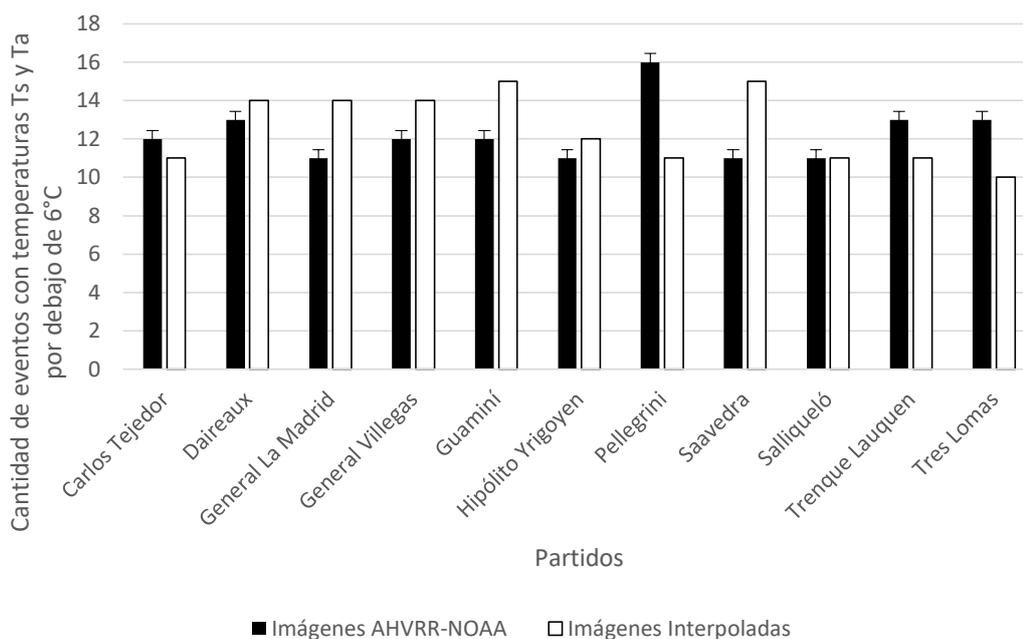
Al final de esta comparación, se identificó que la ubicación de aquellos partidos que más eventos de heladas entre de  $-6^{\circ}\text{C}$  y  $-10^{\circ}\text{C}$  ocurridas de manera temprana o tardía al período invernal fue en la zona Nor-occidental de la provincia (Figura 23).



**Figura 21.** Partidos más afectados por temperaturas mínimas según las imágenes interpoladas a) Temperaturas entre  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $-9^{\circ}\text{C}$ . b) Temperaturas entre  $-8^{\circ}\text{C}$  y  $-9^{\circ}\text{C}$ . c) Temperaturas entre  $-7^{\circ}\text{C}$  y  $-8^{\circ}\text{C}$ . d) Temperaturas entre  $-6^{\circ}\text{C}$  y  $-7^{\circ}\text{C}$



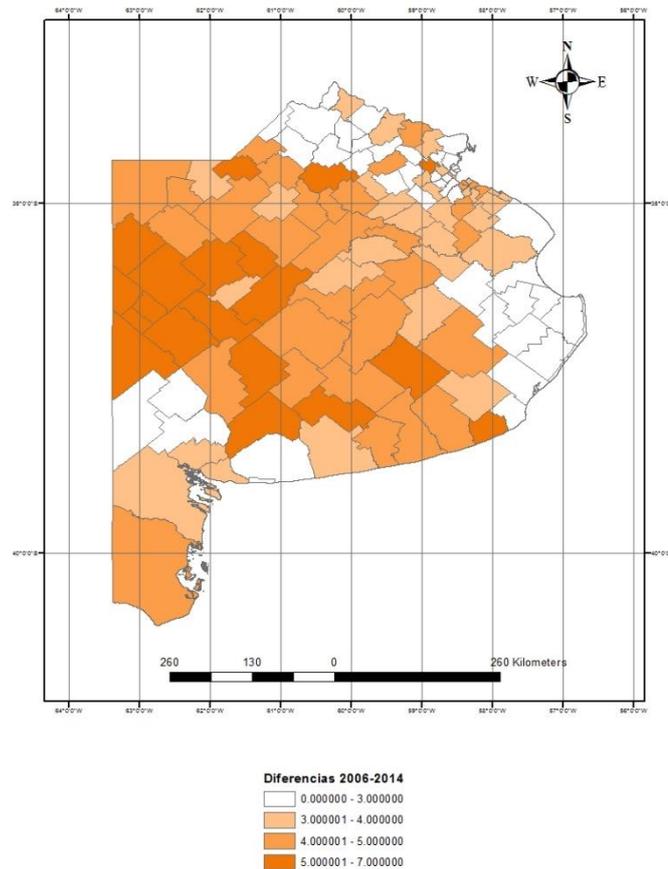
**Figura 22.** Partidos más afectados por temperaturas mínimas según las imágenes satelitales NOAA. a) Temperaturas entre  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $-9^{\circ}\text{C}$ . b) Temperaturas entre  $-8^{\circ}\text{C}$  y  $-9^{\circ}\text{C}$ . c) Temperaturas entre  $-7^{\circ}\text{C}$  y  $-8^{\circ}\text{C}$ . d) Temperaturas entre  $-6^{\circ}\text{C}$  y  $-7^{\circ}\text{C}$



**Figura 23.** Partidos más afectados por heladas tempranas y tardías cuyas temperaturas oscilaron entre  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $-6^{\circ}\text{C}$

Para la clases cuyas temperaturas van de  $-6^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$ , se pudo encontrar que la cantidad de eventos de heladas fue alto, siendo la clase 10 la que más se vio presente llegando a un máximo de 27 eventos por partido, también se observó que con las imágenes interpoladas hay un caso especial donde los partidos más afectados se encuentran en la zona Nor-oriental de la provincia y no en la occidental; este caso se apreció con la clase 7 ( $-4^{\circ}\text{C}$  a  $-3^{\circ}\text{C}$ ), y es el producto de los valores de temperatura obtenidos de la estación 25 de Mayo - EEA Pergamino en el 2006, la cual como ya se mencionó, es la única estación ubicada en la zona centro.

Por otra parte, al restar entre si las imágenes interpoladas de las imágenes satelitales, se pudo encontrar que las diferencias entre los pixeles de las imágenes NOAA y los pixeles calculados de la imagen interpolada alcanzaron una diferencia máxima de  $7^{\circ}\text{C}$ , y los partidos que más diferencias presentaron se distribuyen en la zona sur y centro de la provincia, mientras que las diferencias más pequeñas entre los dos insumos se ubicaron en la zona norte de esta (Figura 24).



**Figura 24.** Diferencias de temperatura entre eventos de heladas tempranas y tardías registradas por imágenes satelitales e imágenes interpoladas para los partidos de la provincia de Buenos Aires.

Las diferencias en la zona centro-sur, se asocia principalmente a las diferencias encontradas entre los años 2010 y 2012 en la Fase I. En donde se determinó que para estos años, específicamente en la temporada de heladas tardías, la precipitación acumulada tuvo un pico considerable que pudo afectar los valores de temperatura medidos por el sensor y la estación.

Otro factor que contribuyó a que los partidos con más similitudes de Ts y Ta se ubicaran en la zona norte, fue debido a que la distancia entre estaciones en esa zona no superó los 5 km entre estación y estación.

#### 4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se logró comparar los datos de temperatura de abrigo capturados por termómetros dispuestos en las estaciones meteorológicas con las imágenes satelitales NOAA-AVHRR, haciendo posible encontrar las diferencias entre ambos insumos y permitiendo así utilizarlos para lograr una estimación de la ocurrencia e intensidad de las heladas tempranas y tardías ocurridas en Buenos Aires desde el 2006 al 2014.

Por otra parte se destacó como la influencia de fenómenos atmosféricos como la lluvia no solo provocan cambios en los valores de temperatura medidos con las estaciones, sino que es una variable que afecta los valores captados por el sensor remoto, y que provocan que las diferencias entre  $T_s$  y  $T_a$  incrementen considerablemente. Otro factor importante que provocó que las diferencias entre  $T_a$  y  $T_s$  fueran más notorias, radica en el tipo y tamaño de las coberturas circundantes alrededor de la estación meteorológica al momento de la toma de datos.

Se logró determinar que para la selección del método de interpolación es necesario tener en cuenta la cantidad de estaciones meteorológicas a disposición, y su distribución espacial, ya que de haber contado con una red meteorológica que cubriera más zonas de la provincia (por ejemplo en la zona central), las diferencias encontradas entre la  $T_a$  estimada por interpolación y la  $T_s$  medida pudieron ser menores.

De acuerdo a lo anterior se hace evidente que los valores de  $T_a$  sufren sobreestimaciones y subestimaciones durante la interpolación. Este aspecto se hace más notable debido a que las estaciones que proporcionaron información, se encuentran agrupadas en su mayoría en la zona norte y sur de la provincia, dejando sin información gran parte del centro de Buenos Aires.

De igual forma, sucede con la disponibilidad de imágenes satelitales, ya que de haber contado con un catálogo que cubriera todas las fechas de detección de heladas con estaciones meteorológicas, independientemente de si en las imágenes se detectó heladas o no, pudo haberse obtenido mejores ajustes en los cálculos de regresión.

Al convertir a formato de imagen la información de temperatura de abrigo se encontró, que así como sucedió en el trabajo de Monterrubianesi y Cendoya, los partidos que primero se vieron afectados por heladas, se encuentran en la zona occidental de la

provincia. No obstante con las imágenes satelitales, que proporcionan información de temperatura de superficie continua, se pudieron identificar otras zonas que también fueron afectadas en igual medida por heladas, tanto en frecuencia como en intensidad.

Finalmente, cabe mencionar que el uso y aplicación de información satelital y complementaria en sistemas de información geográfica hace del estudio y análisis de fenómenos eventuales como lo son las heladas una tarea más sencilla y precisa; ya que la implementación de estas técnicas marcan la pauta para desarrollar nuevas metodologías de caracterización de heladas más rápidas y completas; que permiten conocer el impacto e incidencia de este tipo de fenómenos sobre áreas agrícolas de relevancia, como los que se ubican en la provincia de Buenos Aires.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- Augspurger K. (2013). *Reconstructing patterns of temperature, phenology, and frost damage over 124 years: Spring damage risk is increasing. Ecology: Ecological society of America. Vol 94. pp 41-50*
- Burgos J. (1963). *Las heladas en Argentina*. Colección científica del INTA, Vol. III, pp. 388. Buenos Aires.
- Butler, M.-C. Mouchot V. Barale C. Leblanc., (1990), *Aplicación De La Tecnología De Percepción Remota A Las Pesquerías Marinas: Manual Introductorio*, (<http://www.fao.org/docrep/003/t0355s/T0355S00.HTM#toc> consultado el 28 Marzo de 2016).
- Castro Díaz I. (2009). *Metodología de validación de productos MODIS para la estimación de temperatura de la superficie en zonas heterogéneas y homogéneas de Colombia*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia.
- Carter P., Wiersma D. (2000). Daños por Heladas tardías en Maíz. Universidad de Wisconsin, Conocimientos Agrícolas, Vol 10, No. 14, pp 4
- CIMA–Conicet. (2015). Modelos climáticos, Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera–CIMA- para la TCNCC. (<http://ns1.cima.fcen.uba.ar/espanol/index.htm>)
- CIAG – Centro de Información Agroclimática (2008). *Heladas en la Argentina*. ( <http://www.agro.uba.ar/heladas/index.html>, consultado el 5 de septiembre de 2015).
- Coll L. (2014). *Las últimas heladas y su efecto en el cultivo de Colza*. INTA EEA Paraná. ([http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-\\_heladas\\_y\\_su\\_efecto\\_en\\_el\\_cultivo\\_de\\_colza\\_2013.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-_heladas_y_su_efecto_en_el_cultivo_de_colza_2013.pdf), consultado el 20 de septiembre de 2015).
- Dirección Nacional de Relaciones Económicas con las Provincias – DINREP. (2015) *Informes Sintéticos de Caracterización Socio-Productiva, Buenos Aires*. (<http://www2.mecon.gov.ar/hacienda/dinrep/Informes/InformesSinteticos.php>, consultado el 20 de Marzo de 2017).
- Eva H.D., Belward A.S., De Miranda E.E., Di Bella C.M., Gond V., Huber O., Jones S., Sgrenzaroli M., Fritz S. 2004. A land cover map of South America. *Global Change Biology*, 10: 732–745.

- Falasca S., Bernabé M.A. (2009). *La importancia de las heladas en Argentina para el cultivo de Jatropha Curcas*. Informe CONICET, UNICEF (<http://www.biodiesel.com.ar/download/Jatropha2009.pdf>, consultado 01 de noviembre de 2015)
- Farber I. (2014). *Panorama de la Agricultura Argentina*. Grupo editorial sur del sur (<http://surdelsur.com/es/agricultura-argentina/>, consultado el 20 de septiembre de 2015).
- Fernández Long M.E., Barnatán I., Serio L., Murphy G. (2007). *Cambios en la disponibilidad térmica para la vegetación de la región pampeana Argentina*. Actas Primeras Jornadas Interdisciplinarias sobre Cambio Climático 14, 15 y 16 de Noviembre 2007. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
- Fernández Long M.E. (2013). Información agroclimática de heladas para toda la Argentina. Agroinfo. (<https://www.agro.uba.ar/noticias/node/1033>)
- Gallo K, Hale R, Tarpley D, Yu Y. (2009). *Evaluation of the Relationship between Air and Land Surface Temperature under Clear- and Cloudy-Sky Conditions*. Journal of applied meteorology and climatology. pp. 767-775.
- Garrán S., (2007). *¿Heladas Agronómicas O Meteorológicas?* (<http://www.corrientesaldia.info/es/articulo/102408/heladas-agronomicas-o-meteorologicas> consultado el 26 marzo de 2016).
- Gómez G.M.C. (2010). *Las heladas en el Perú y el mundo*. Tesis de Maestría en ciencias con mención en gestión de riesgos de desastres y responsabilidad social. Universidad Continental de Ciencias e Ingeniería. Huancayo, Perú.
- González, G., & Abellán, C. (2003). *Cartografía Para La Distribución De La Población: Aplicación A La Provincia De Albacete*, pp. 165–178.
- Gu L., Hanson P.J., Mac Post W., Kaiser P., Yang B., Nemani R, Pallardy S. G., Meyers T. (2008). The 2007 Eastern US Spring Freeze: Increased Cold Damage in a Warming World. *BioScience*, Vol 25 No3, pp 253-262.
- Inouye D.W. (2000). The ecological and evolutionary significance of frost in the context of climate change. *Ecology letters*, Vol 3, pp. 457–463.
- Ibañez M, Rosell J., (2001). *Interpolación espacial de la temperatura del aire incorporando imágenes AVHRR, Teledetección, medio ambiente y cambio global*. pp 405-408.

- IGN.(2017). *Base de datos geográfica-Infraestructura de datos espaciales del IGN, Descarga de geodatos,, ProyecTO sig 250.* (<http://www.ign.gob.ar/sig> Consultado el 10 de Noviembre de 2015)
- Irygoyen, A. (1993). *Ocurrencia de heladas tempranas y Tardias en el centro-sudeste de la provincia de Buenos Aires.* II Jornadas Nacionales de defensa contra Heladas. Primer seminario Internacional. Mendoza Argentina.
- Li Z., Guo X., Dixon P., He Y. (2008). *Applicability of Land Surface Temperature (LST) estimates from AVHRR satellite image composites in northern Canada.* Praire Perspectives 11. pp. 119-130.
- Monterubbianest., Cendoya. 2001, caracterización del régimen de heladas metereologicas y agrometeorologicas en Balcarce (Argentina) en el periodo 1970-1999, Rev Facultad de Agronomia UNMdP, 21. Pp 69-78
- Müller G.V., Fernández Long M.E. (2007). *Las heladas y el cambio climático.* (<http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/AdCC/File/08lasheladasyelcambioclimatico.pdf>, consultado el 01 enero de 2016).
- Olesen F, Gattsche F, Bork-Unkelbach A, (2010). *Validation results for Land Surface Temperature.* Institute of Meteorology and Climate Research, 2010 User meeting Toulouse-France.
- Parra J.C, Sobrino J.A, Acevedo P.C, Morales L.J, (2006). *Estimación de la temperatura de suelo desde datos satelitales AVHRR-NOAA aplicando algoritmos de split window.* Revista mexicana de física No 52, pp.238–245.
- Pengue W. (2001). *Expansión de la soja en Argentina, Globalización, Desarrollo Agropecuario e Ingeniería Genética: Un modelo para armar.* (<https://www.grain.org/es/article/entries/453-expansion-de-la-soja-en-argentina?print=true>)
- Pérez, G, García R., (2000), *Estudio de las bandas térmicas del sensor AVHRR del satélite NOAA-14 en masas de agua continentales.* Anales de Geografía de la Universidad Complutense 2000, 20: pp, 163–176.
- Renom M, (2011). *Principios básicos de las mediciones atmosféricas.* Unidad de ciencias de la atmosfera, Facultad de ciencias ([http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/PBMA/PBMA\\_teotico/Bolilla3-Termometria.pdf](http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/PBMA/PBMA_teotico/Bolilla3-Termometria.pdf) consultado 05 de Mayo de 2016)
- Roberto De Ruyver., María J. Denegri., Patricio Oricchio. (2010), *Mapa De Riesgo De Temperaturas Extremas Frías Para El Sur De La Provincia De Buenos Aires*

*Usando Datos Satelitales Y De Superficie.*, Meteorologica vol.37 no.1. pp. 104-118.

- Rodríguez R, Cazenave G. R., Mezher Romina, Ruyver Roberto & Mercuri P., (2008). *Mapa de heladas - Probabilidad de temperaturas mínimas. En Riesgos derivados del impacto del clima*, MAGyP. Capítulo 6, pp. 104–118.
- Straschnoy J, Di Bella C, Jaimes F. (2006). *Caracterización espacial del estrés hídrico y de las heladas en la región pampeana a partir de información satelital y complementaria*. Revista RIA 35, pp. 117–141.
- Scarpati O, Capriolo A. (2013). *Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina) y su distribución espacio-temporal*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, Vol 2013, pp: 35-51.
- Villatoro M, Henríquez C, Sancho F. (2008) *Comparación De Los Interpoladores Idw Y Kriging En La Variación Espacial De Ph, Ca, Cice Y P Del Suelo*. Rev Agronomía Costarricense Vol 32, pp: 95-105.
- Walther, G., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J., Hoegh-Guldberg, O. & Bairlein, F., 2002. Ecological responses to recent climate change. Nature, 416: 389-395.