



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

ACTUALIZACION NOTA TECNICA HELADAS 2012

REALIZADO POR

*Olga Cecilia González Gómez
Carlos Felipe Torres Triana.
Contrato N° 201/2012*

TABLA DE CONTENIDO

1. MARCO TEÓRICO	4
1.1 Definición del fenómeno de heladas	4
1.2 Clasificación de heladas	4
1.2.1 Helada por advección	4
1.2.2 Helada por evaporación	4
1.2.3 Helada por radiación	4
1.3 Aspectos físicos	5
1.3.1 Balance radiativo	5
1.3.2 Transmisión de calor	6
1.3.3 Variación de la temperatura	7
1.4. Factores que favorecen las heladas	8
1.4.1 El vapor de agua	8
1.4.2 El suelo y la vegetación	8
1.4.3 El Viento	8
1.4.4 Topografía	8
1.4.5 Nubosidad y la temperatura vespertina	8
2. COMPORTAMIENTO DE LAS HELADAS EN COLOMBIA	9
2.1 Distribución espacial de las heladas	9
2.2 Distribución temporal de las heladas	11
3. REGISTROS HISTÓRICOS O ESTADÍSTICAS	11
3.1 Promedios de temperatura mínima y temperaturas mínimas absolutas en algunos municipios susceptibles a heladas en Colombia	11
3.2 Porcentaje de ocurrencia de heladas decadal, para los municipios más susceptibles del país	14
3.3 Número total de heladas anual por municipio	19
3.4 Número total de heladas registradas por mes, periodo (1977 – 2011)	32
3.5 Temperaturas mínimas absolutas registradas por año	36

3.6 Número total de heladas registradas en los principales municipios	43
4. PERIODO LIBRE DE HELADAS (PLH)	47
4.1 Metodología Periodo Libre de Heladas	47
4.2 Probabilidad de ocurrencia de la primera y la ultima helada en algunos municipios de Colombia y Periodo Libre de Heladas (PLH)	49
5. ESCENARIOS DE AFECTACION DE LA TEMPERATURA MINIMABAJO EL FENOMENO ENOS.....	53
5.1 Area de estudio.....	53
5.2 Marco teórico.....	54
5.3 Análisis de resultados.....	56
5.3.1 Fase El Niño.....	61
5.3.2 Fase Neutra.....	61
5.3.3 Fase La Niña.....	62
6. CASO DE ESTUDIO – HELADA DE FEBRERO DE 2007	63
6.1 Registro de la temperatura mínima entre los días 1 y 10 de febrero de 2007	63
6.2 Duración del fenómeno de heladas (horas) en el municipio de Nemocón – Cundinamarca entre los días 2 y 7 de febrero de 2007	66
6.3 Temperatura mínima registrada en la Sabana de Bogotá y algunos municipios de Boyacá entre los días 1 y 23 de febrero de 2007	67
6.4 Análisis situación sinóptica	71
6.4.1 Escala sinóptica	76
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	78

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Definición del fenómeno de heladas

En términos meteorológicos se dice que la helada es la ocurrencia de una temperatura igual o menor a 0°C a un nivel de 2 metros sobre el nivel del suelo, es decir al nivel reglamentario al cual se ubican las casetas de medición meteorológica

Desde el punto de vista agrometeorológico podría definirse una helada como la temperatura a la cual los tejidos de la planta comienzan a sufrir daño. En esta definición entran en juego aspectos fisiológicos, como la resistencia o susceptibilidad del cultivo a bajas temperaturas en sus diferentes estados de desarrollo, altura de la planta sobre el nivel del suelo y la temperatura de la hoja.

Fisiológicamente se puede presentar helada en la planta, así no se presente el fenómeno desde el punto de vista climático a nivel de caseta. Además, en una noche de helada y bajo determinadas condiciones de la planta, la temperatura interna de la hoja puede ser más baja que la del aire, o sea que la intensidad de la helada, desde el punto de vista agronómico, puede ser mayor que la intensidad climática registrada (Fernández R., Jairo, 1995).

1.2 Clasificación de heladas

Desde el punto de vista de sus causas, las heladas pueden clasificarse según Artunduaga S., R. (1980, 1982) como:

1.2.1 Helada por advección

Se dice que una helada es de advección, cuando es ocasionada por la invasión de grandes masas de aire frío procedente de las regiones polares y cuya acción es continua y por varios días. Este tipo de heladas es característico de las latitudes medias y altas.

1.2.2 Helada por evaporación

Una helada es de evaporación cuando después de una precipitación desciende la humedad relativa del aire, la vegetación intercepta parte de la precipitación reteniendo el agua en el follaje y troncos, se produce una intensa evaporación, el calor de evaporación que el agua necesita para pasar del estado líquido al gaseoso lo toma de las plantas y en consecuencia la temperatura de algunos órganos vegetales desciende a límites que ocasionan daños. La cantidad de agua evaporada, está en función de la humedad relativa, la temperatura y la velocidad del viento.

1.2.3 Helada por radiación

La helada de radiación se origina por la pérdida de calor que sufren las plantas y el suelo y que ceden a la atmósfera durante la noche por medio del proceso de radiación. Es la helada típica de las regiones tropicales y son factibles de presentarse a partir de los 2500 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m). Estas heladas ocurren al presentarse un balance de energía negativo, es decir, cuando se pierde durante la noche mayor cantidad de energía de la ganada durante el día.

En relación con los efectos externos que causan las heladas en las plantas, estas heladas se dividen a su vez en la helada blanca y la helada negra. La primera se produce a partir de gotas de rocío o por condensación sólida (paso del estado gaseoso al sólido, sin pasar por el estado líquido) de la humedad del aire, entonces se forma hielo cristalino en forma de agujas o plumas sobre la superficie de las hojas, dando origen a la escarcha. Para que se produzca este fenómeno, la humedad absoluta del aire debe de ser lo suficiente elevada. En el caso de la helada negra, no hay formación de rocío o escarcha y hay un contenido de humedad atmosférica muy bajo, estas sufren quemaduras en sus tejidos lo cual causa un efecto mucho más perjudicial que las primeras.

Como consecuencia de las temperaturas bajas, en la planta se suceden los siguientes procesos:

- Se produce un debilitamiento de la actividad funcional reduciéndose entre otras cosas las acciones enzimáticas, la intensidad respiratoria, la actividad fotosintética y la velocidad de absorción del agua.
- Existe un desplazamiento de los equilibrios biológicos frenándose la respiración, fotosíntesis, transpiración, absorción de agua y circulación ascendente.
- Finalmente se produce la muerte celular y la destrucción de los tejidos.

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 (Fernández R., Jairo, 1995).

1.3 Aspectos físicos

Para entender el fenómeno de la Helada, es importante analizar los procesos físicos que rigen el calentamiento y enfriamiento de la tierra.

1.3.1 Balance radiativo

La energía que recibe la tierra proviene del sol. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima.

La energía emitida por el sol pasa por la atmósfera, donde sufre un proceso de debilitamiento por la difusión, reflexión en las nubes y de absorción por las moléculas de gases y por partículas en suspensión, alcanza la superficie terrestre oceánica y continental que la refleja o la absorbe. La radiación que absorbe la superficie es devuelta en dirección al espacio exterior con la cual calienta la atmósfera. De la energía absorbida por el suelo, parte penetra en el terreno, parte se utiliza en la evaporación del agua existente en el suelo y luego es transportada en la atmósfera en forma de calor latente y la última parte, viene cedida por contacto, a la atmósfera, que la distribuye en su interior mediante un mecanismo de convección turbulenta (ver Figura 1).

La radiación proveniente del sol, al ingresar a la atmósfera y chocar con algún obstáculo se convierte de energía electromagnética a energía calórica o cinética, calentando la tierra durante el día. La superficie de la tierra al emitir permanentemente energía calórica, calienta el vapor de agua y otros gases de la atmósfera, los que a su vez emiten su energía propia, energía que se suma para calentar la tierra. Durante la noche, la tierra deja de recibir energía del sol, pero se convierte en un cuerpo que irradia energía al espacio (IDEAM, 2004).

La figura 1 muestra los flujos verticales medios de energía en el sistema terrestre (atmósfera y superficie), en vatios por metro cuadrado (W/m^2). Tanto en superficie como en el tope de la atmósfera el balance entre lo entrante y lo saliente es cero (<http://homepage.mac.com/uriarte/maprad.html>).

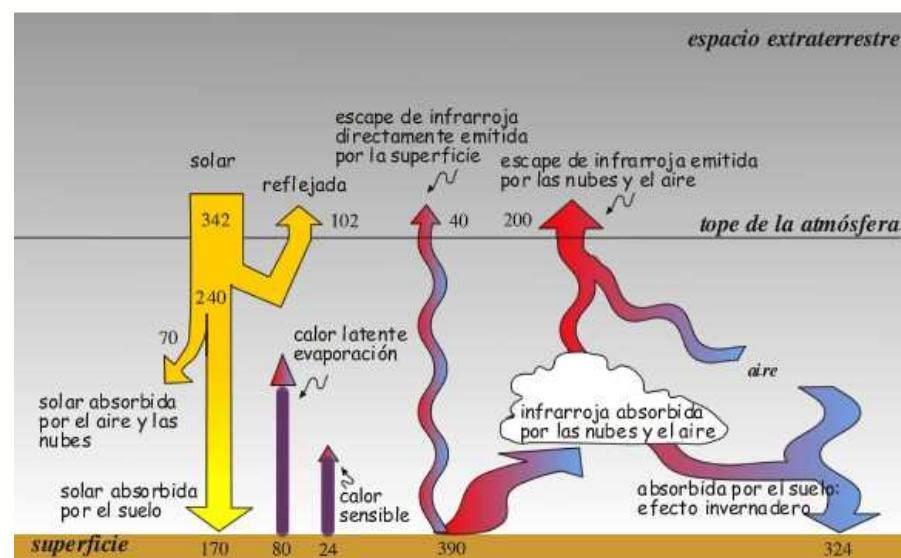


Figura 1. Esquema de la distribución de la radiación en el sistema tierra – atmósfera.

Fuente: (<http://homepage.mac.com/uriarte/maprad.html>)

1.3.2 Transmisión de calor

El calor, se puede definir como “la condición o capacidad que en un determinado momento tiene un cuerpo de ceder energía calórica a otro cuerpo”, es decir, en el caso teórico en que si un cuerpo no posee calor, no puede ceder energía calórica a otro cuerpo, y por lo tanto no puede enfriarse más.

Según lo anterior, el frío es una condición relativa, debido a la falta de recepción de calor; o a la reducción o pérdida de calor por parte de un objeto o sistema. No se añade frío, sino que por el contrario se quita calor (Artunduaga S., R. 1980, 1982).

Como se ha mencionado antes, existe una tendencia a que las diferencias de temperatura entre dos objetos adyacentes o diferentes partes de un mismo objeto se disipen. El transporte de calor requerido es realizado por procesos tales como la radiación, la conducción o la convección.

- La radiación. El calor y la luz del sol alcanzan la tierra en forma de radiación de onda corta. La mayor parte de la energía radiante es absorbida. La superficie de la tierra está continuamente emitiendo radiación de onda larga. Esta pérdida de calor de la tierra debida a la radiación es permanente, pero durante el día la cantidad recibida del sol usualmente es mucho mayor que la perdida, en consecuencia la temperatura de la superficie aumenta. Luego de la caída del sol, la llegada de radiación de la atmósfera y las nubes generalmente es insuficiente para contrarrestar la pérdida de calor debida a la radiación saliente, y de esta manera la temperatura cae.

- Conducción. El calor puede ser intercambiado entre dos cuerpos en contacto o diferentes partes de un mismo cuerpo. Esto sucede entre el suelo y el aire. Sin embargo, debido a que tanto el aire como el suelo son malos conductores de calor, el proceso de conducción juega un papel menor en la producción de la helada.
- Convección. Durante un día claro y calmado, la temperatura del suelo se eleva por el calor recibido del sol y al mismo tiempo el aire en inmediato contacto con la superficie es calentado por conducción. Debido a que el aire es un pobre conductor, el calor de la superficie es transferido a solo una delgada capa de aire. Sin embargo, tan pronto como este aire comienza a ser más caliente que la capa superior y circundante a él, su densidad disminuye y por tanto es forzado hacia arriba, mientras que el aire más frío y por tanto más denso se mueve hacia abajo y lo reemplaza. Este aire más frío a su vez es calentado por el suelo adyacente y el proceso se repite. El movimiento ascendente y descendente del aire es conocido como convección y constituye uno de los principales procesos de transferencia de calor en la atmósfera.

1.3.3 Variación de la temperatura

La Tierra tiene una temperatura media constante en el tiempo, por la existencia del balance entre la cantidad de radiación solar entrante y la radiación terrestre saliente. La temperatura del aire es el resultado del efecto calórico que produce la radiación solar, influenciada por otros aspectos como la latitud, altitud de lugar, la circulación de los vientos y el contenido del vapor de agua en la atmósfera.

En la zona ecuatorial, los valores de radiación recibidos sobre la superficie son prácticamente constantes durante todo el año, siendo afectados más por la nubosidad. Como consecuencia de la poca variación que manifiestan los valores de radiación diarias en los trópicos, las diferencias de las temperaturas medias para un sitio dado son también pequeñas, presentando sus mayores variaciones en sus valores extremos (máximas y mínimas). Estas variaciones en los extremos presentan una considerable amplitud, especialmente durante los períodos secos del año, dando lugar así a la presencia de heladas (Artunduaga S., R. 1980, 1982) y (Fernández R., Jairo, 1995).

Variaciones de la temperatura con la altura

Como una condición normal, la temperatura del aire desciende durante el día en función de la altura en una proporción de aproximadamente de 0.6°C por cada 100 m. Esta situación es bastante notable en los trópicos, en donde las temperaturas medias mensuales y anuales de un sitio están dadas básicamente por la altitud, con variaciones más o menos importantes debidas a ciertas condiciones locales que pueden presentarse (zonas deforestadas o erosionadas, regiones desérticas, situaciones fisiográficas que afectan la circulación de los vientos y la humedad del aire, masas de agua, construcciones, etc.).

Variación nocturna – Inversión de la temperatura

Como se ha mencionado antes, durante la noche, la superficie de la tierra se enfriá rápidamente debido a la pérdida de calor por radiación, y la temperatura del suelo se hace inferior a la de la capa de aire adyacente. Tan pronto como esto ocurre, el aire adyacente comienza a enfriarse por conducción repitiéndose el proceso diurno pero en sentido inverso, tendiendo el aire frío a permanecer en la superficie, presentándose así el fenómeno conocido como inversión de temperatura (Artunduaga S., R. 1980).

1.4. Factores que favorecen las heladas

De acuerdo con Hurtado, G. (1996) y Artunduaga S., R. (1980, 1982), los factores que favorecen las bajas temperaturas en la superficie terrestre son:

1.4.1 El vapor de agua

El vapor de agua contenido en la atmósfera juega un papel importante en regular la emisión de calor de la tierra. Generalmente, a mayor sea la cantidad de vapor de agua en la atmósfera, menor será la pérdida neta de calor radiativo hacia el espacio y más lenta será la caída de temperatura en una noche clara y calmada. Esto ocurre debido a que el vapor de agua absorbe algo de la radiación de onda larga emitida por la superficie terrestre la cual a su vez es emitida nuevamente hacia la tierra compensando en parte la pérdida original de calor.

1.4.2 El suelo y la vegetación.

El suelo incide en el comportamiento de las heladas, de acuerdo a su color, textura, grado de compactación y contenido de humedad. Los niveles intermedios de suelo son una fuente de calor durante la noche. La onda de calor se mueve hacia arriba dentro de la capa activa de suelo y reduce el enfriamiento nocturno. Así mismo la humedad del suelo acelera este flujo de calor. De otra parte, el movimiento de calor se ve favorecido al estar el suelo compactado. Suelos secos y recientemente arados inhiben el movimiento de calor hacia la superficie. Por último, un suelo cubierto de rastrojo también cambia el patrón de temperatura, un suelo cubierto favorece el enfriamiento, al dificultar la llegada de calor del suelo durante la noche e impedir la llegada de radiación solar durante el día.

1.4.3 El Viento.

Cuando hay ausencia de viento, la formación de la inversión de temperatura durante la noche es más factible y por lo tanto es de esperarse la ocurrencia de una helada; en cambio cuando en lugar de calma hay viento, la turbulencia que este produce, hace que los distintos estratos de aire se mezclen y se rompa la inversión, de tal forma que las capas calientes puedan llegar a ocupar las partes bajas, con lo cual la probabilidad de bajas acentuadas de temperatura disminuye.

1.4.4 Topografía.

Las características fisiográficas como el relieve juegan un papel importante, debido a que por diferencias de densidades (el aire frío es más denso que el aire caliente), el aire frío tiende a ocupar los niveles más bajos del terreno, desplazando al aire más caliente. Es así como, los terrenos en ladera y de pendiente suave, son los menos propensos a las heladas y en cambio los valles u hondonadas presentan un mayor número de ellas. La orientación de la ladera también es factor importante; en general, aquellos terrenos orientados hacia el sur presentarán menor probabilidad de heladas ya que recibirán durante el día la mayor cantidad de radiación solar. De otra parte las formas cónicas de terreno son más propensas al frío y las heladas que las convexas.

1.4.5 Nubosidad y la temperatura vespertina.

La escasa nubosidad facilita la radiación de calor del suelo hacia el espacio y facilita la helada. Además, un factor estrechamente relacionado con la temperatura mínima de un lugar, es la temperatura existente a la

puesta del sol, como resultado de las condiciones atmosféricas precedentes. Si la temperatura a la puesta del sol es alta, un descenso grande durante la noche no será muy dañino; por el contrario si es relativamente baja al empezar la noche, el daño causado por la disminución gradual de la temperatura puede ser severo en las primeras horas de la mañana siguiente.

2. COMPORTAMIENTO DE LAS HELADAS EN COLOMBIA

El fenómeno de la helada en Colombia es bastante más frecuente de lo que podría esperarse y es causante de millonarias pérdidas a la agricultura de las tierras altas del país. Afecta áreas localizadas a más de 2500 m.s.n.m, especialmente en los meses secos del año.

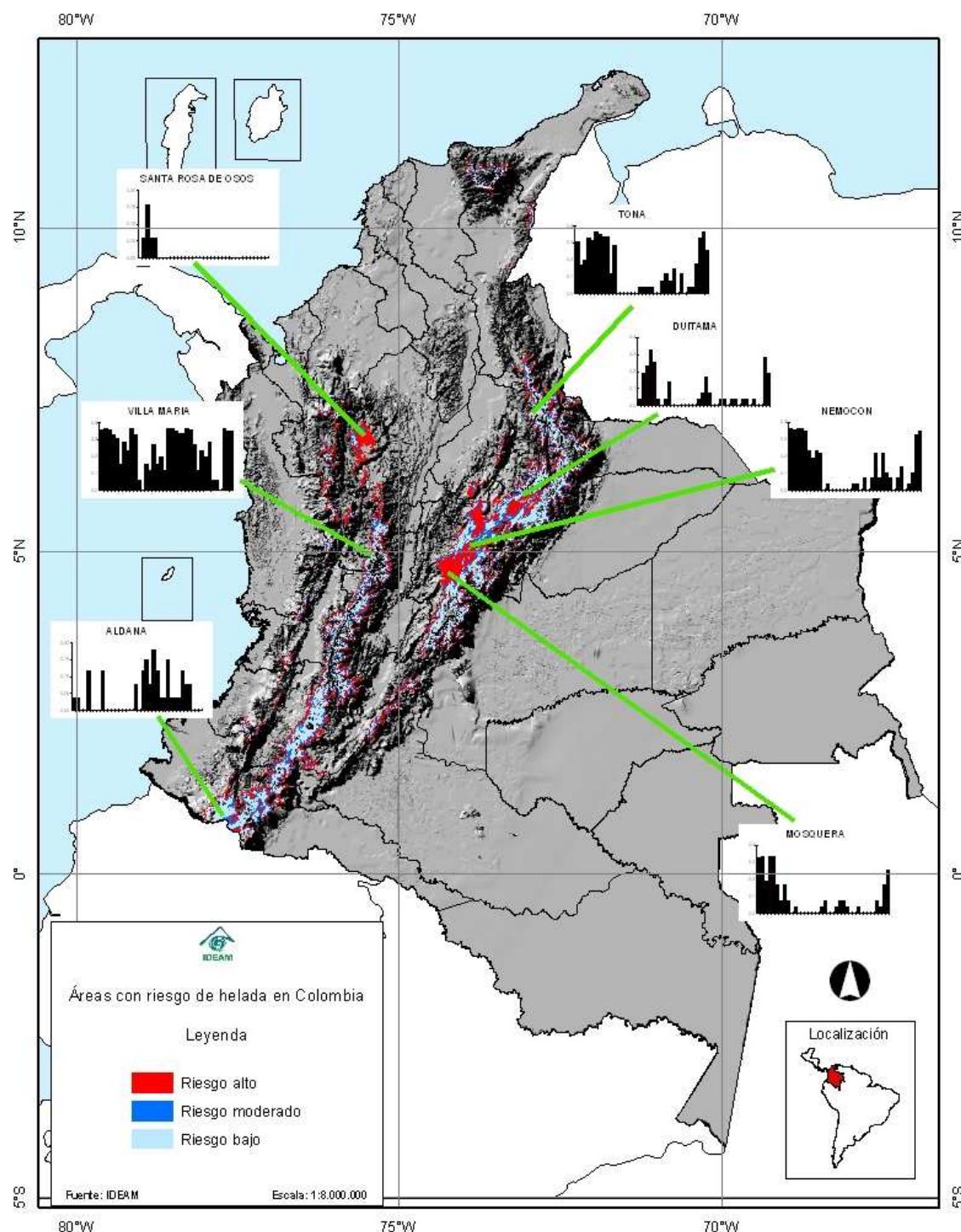
Puede afirmarse que el único tipo de helada que se presenta en el país, con muy escasas excepciones es la de radiación, la cual es originada por enfriamiento nocturno y por tanto desaparece generalmente a la salida del sol. La helada blanca es la de mayor ocurrencia en nuestro medio y el aspecto blanquecino del cultivo puede permanecer un tiempo después de la salida del sol, lo que indica que dentro del cultivo aún persiste la condición de helada, así esto no ocurra al nivel de la caseta meteorológica (Hurtado, G., 1996).

En el territorio nacional las heladas se dan principalmente en los altiplanos y los cultivos más expuestos son generalmente las flores, la papa, el maíz y las hortalizas de clima frío.

2.1 Distribución espacial de las heladas

Como se ha mencionado antes, en el territorio nacional las heladas se concentran principalmente en las regiones ubicadas por encima de los 2500 m.s.n.m. Teniendo en cuenta las áreas ubicadas por encima de esta elevación y su extensión territorial, el Mapa 1, muestran las áreas de Colombia con susceptibilidad a heladas; así como la distribución temporal de la helada en algunos municipios de Colombia. Las áreas más susceptibles a heladas se encuentran en los Altiplanos fríos, principalmente el Altiplano Cundiboyacense en la Cordillera Oriental y los altiplanos de Túquerres e Ipiales en Nariño y el de Paletará (Cauca) al suroccidente del país. Estos altiplanos están localizados entre 2500 y 3000 m.s.n.m, correspondiéndoles temperaturas medias entre 9°C y 12°C, cuyas características de cielos despejados o escasa nubosidad y con humedad del aire muy baja favorecen la pérdida de

radiación terrestre en las horas de la noche y madrugada (Hurtado, G., 1996).



Mapa 1. Áreas con riesgo a heladas en Colombia. Y distribución del número de heladas durante el año Fuente: (IDEAM, 2008).

2.2 Distribución temporal de las heladas

En Colombia las épocas secas son las de mayor probabilidad de ocurrencia de heladas. A nivel anual, la probabilidad de presentación de una helada en las áreas críticas del Altiplano Cundiboyacense (Funza-Madrid-Mosquera, Nemocón-Ubaté y Duitama-Sogamoso) es superior al 90 %, es decir, en 9 de cada 10 años, puede presentarse al menos una helada durante el año. En regiones de menor riesgo como Subachoque y Cota, la probabilidad se encuentra alrededor del 20%. Sin embargo, puede afirmarse que en la mayor parte del área correspondiente a la Sabana de Bogotá, la probabilidad excede el 50%, lo cual es equivalente a afirmar que aún en las localidades menos afectadas, aproximadamente una vez cada dos años es posible esperar helada.

A nivel decadal, en la mayor parte de las estaciones del Altiplano Cundiboyacense (Duitama, Nemocón y Mosquera) y otros sectores del norte de la cordillera Oriental (Tona y Santander), las mayores probabilidades de ocurrencia de heladas se presentan hacia la última década de diciembre y la segunda década de enero, como se observa en los histogramas del Mapa 1. En estos histogramas se representa la probabilidad de que se presente en una determinada década un año con helada. En los núcleos fríos de Funza, Nemocón y Sogamoso, la probabilidad de que alguna de estas décadas registre helada puede llegar al 50 %, es decir, una vez cada dos años se puede presentar una helada en la última década de diciembre o segunda década de enero.

Otras zonas del país susceptibles a heladas, se encuentran localizadas sobre la cordillera Occidental y se caracterizan por un comportamiento atípico. Por ejemplo, en el departamento de Antioquia, municipio de Santa Rosa, la incidencia a las heladas es baja y éstas ocurren solamente a principios del año, especialmente en el mes de enero y con una probabilidad del 20%. Hacia el sur de la cordillera, en el Altiplano de Ipiales en Nariño, zona de actividad agrícola, la probabilidad de presentación de heladas es moderada (cercana al 20%) y la mayor concentración de heladas es en el periodo de mitad de año, particularmente en el inicio del segundo semestre.

3. REGISTROS HISTORICOS O ESTADISTICAS

3.1 Promedios de temperatura mínima y temperaturas mínimas absolutas en algunos municipios susceptibles a heladas en Colombia.

A continuación, en las tablas 1, 2 y 3. se presentan los promedios de temperatura mínima ubicadas en los municipios más susceptibles a heladas ocurridos tanto en el Altiplano Cundiboyacense como en los departamentos de Norte de Santander, Santander, Antioquia, Caldas, Cauca y Nariño. El registro histórico comprende el periodo entre 1971 y el 2011, ubicadas entre los 2500 y 3000 m.s.n.m.

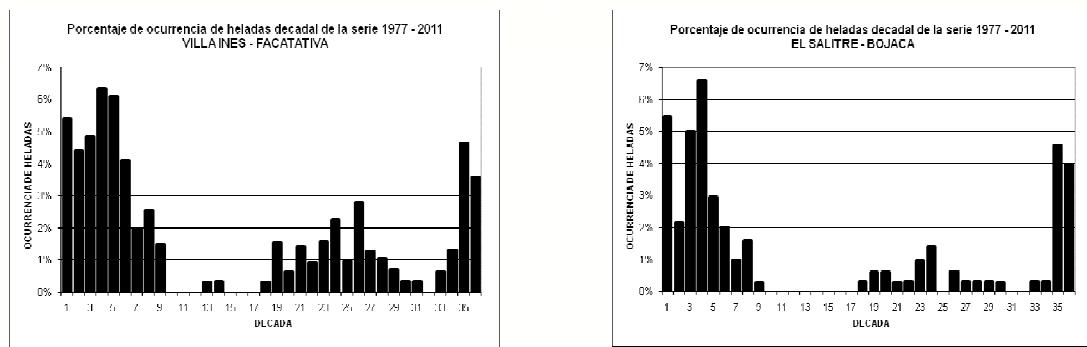


Grafico 2. Porcentaje de ocurrencia de heladas decadal en los municipios de Facatativá y Bojacá.

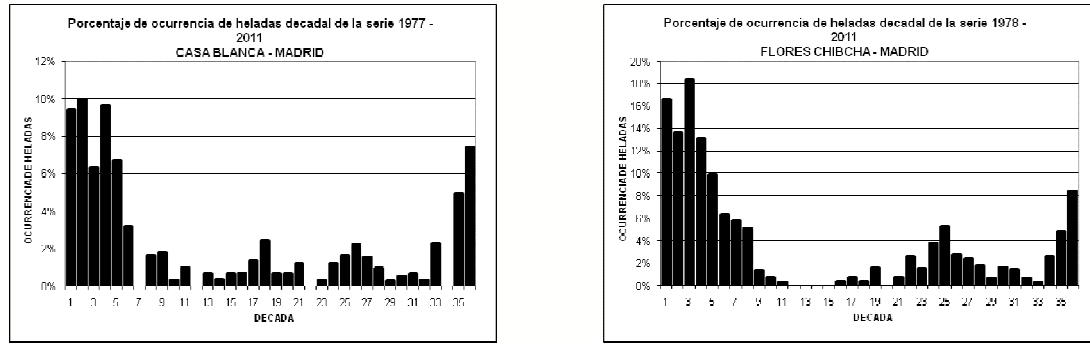


Grafico 3. Porcentaje de ocurrencia de heladas decadal en el municipio de Madrid.

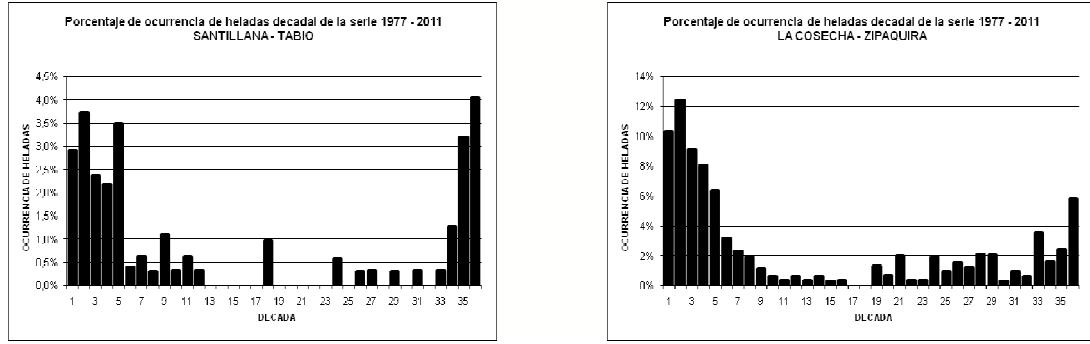


Grafico 4. Porcentaje de ocurrencia de heladas decadal en los municipios de Tabio y Zipaquirá.

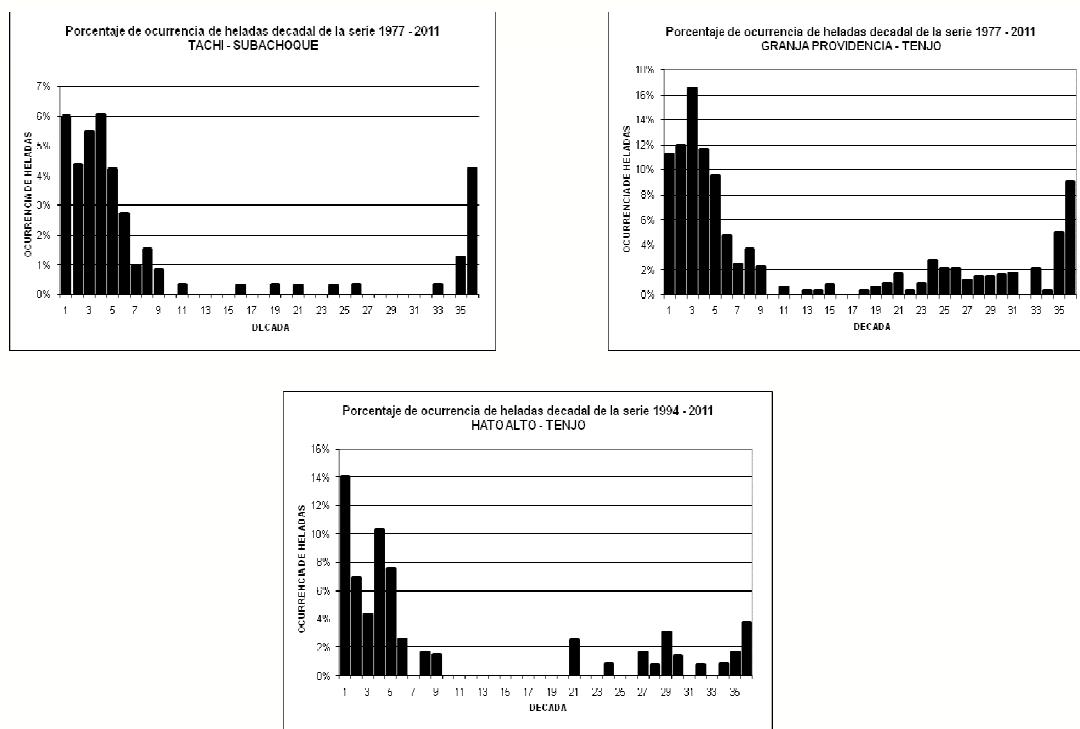


Grafico 5. Porcentaje de ocurrencia de heladas decadal en los municipios de Subachoque y Tenjo.

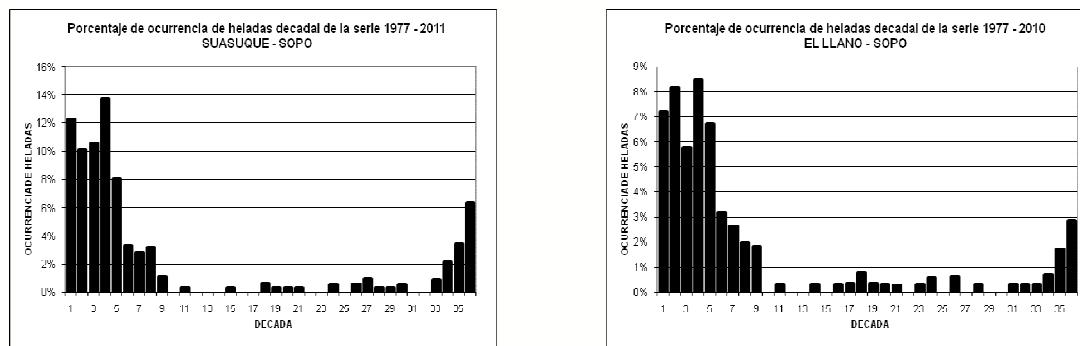


Grafico 6. Porcentaje de ocurrencia de heladas decadal en el municipio de Sopo.

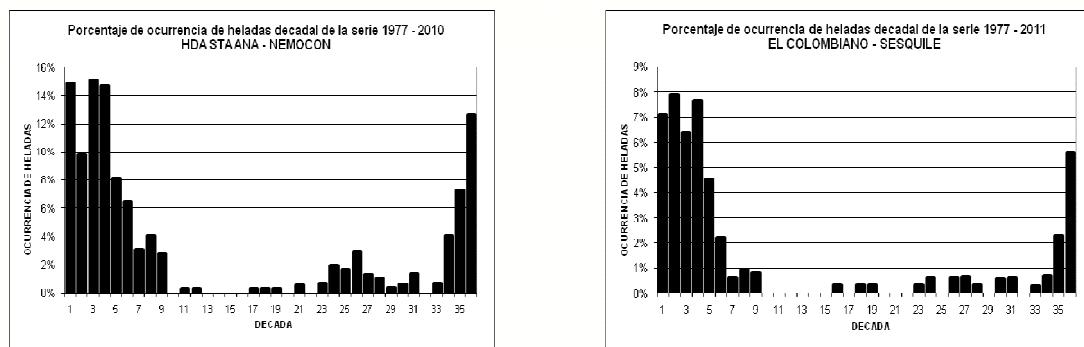


Grafico 7. Porcentaje de ocurrencia de heladas decadal en los municipios de Nemocón y Sesquile.

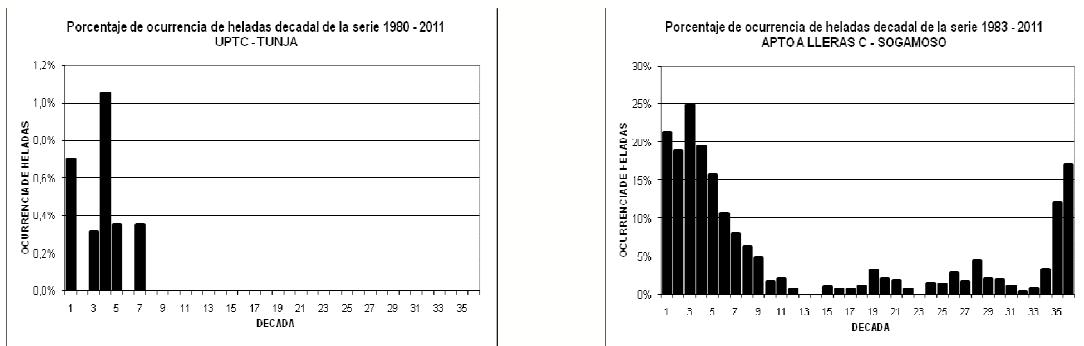


Grafico 8. Porcentaje de ocurrencia de heladas decadal en los municipios de Tunja y Sogamoso.

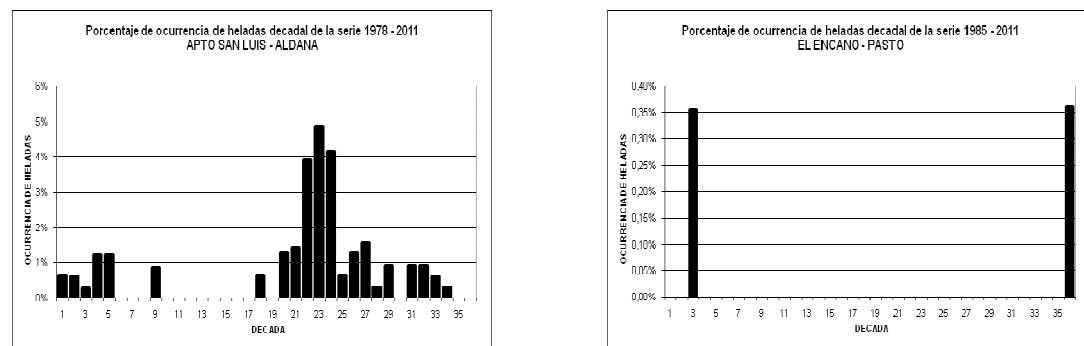


Grafico 9. Porcentaje de ocurrencia de heladas decadal en los municipios de Aldana y Pasto del departamento de Nariño.

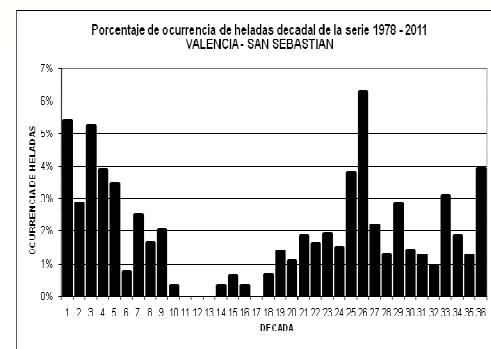
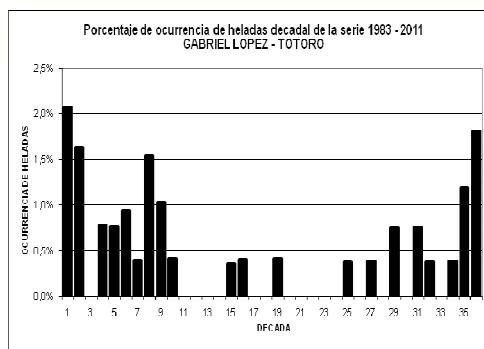


Grafico 10. Porcentaje de ocurrencia de heladas decadal en los municipios de Totoro y San Sebastian del departamento de Cauca.

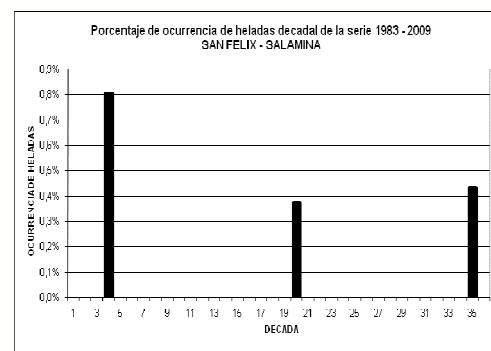
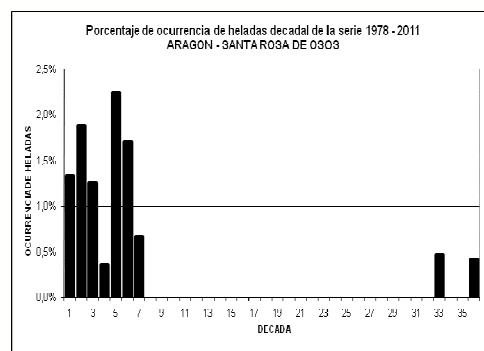
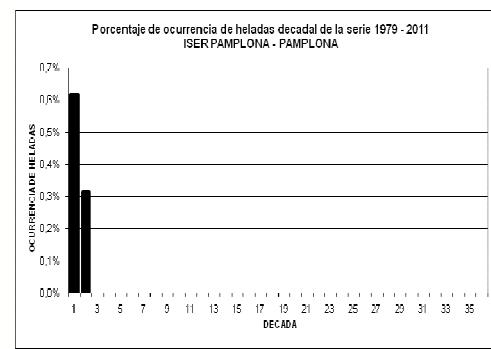
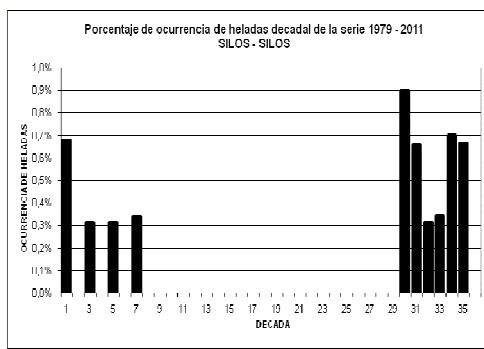


Grafico 11. Porcentaje de ocurrencia de heladas decadal en los municipios de Santa Rosa de Osos y Salamina de los departamentos de Antioquia y Caldas respectivamente.



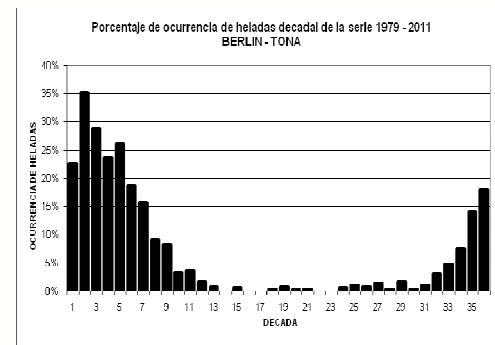


Grafico 12. Porcentaje de ocurrencia de heladas decadal en los municipios de Silos, Pamplona y Tona de los departamentos de Norte de Santander y Santander respectivamente.

3.3 Número total de heladas anual por municipio

El los gráficos 12 al 33 se pueden apreciar el número de eventos de heladas ocurridas por año en una estación específica; los años donde más eventos se registraron fueron: 1977, 1978, 1985, 1993, 1995, 2001, 2002, 2004, 2007 y 2010. Años que se pueden registrar incluso más de 25 eventos por estación.

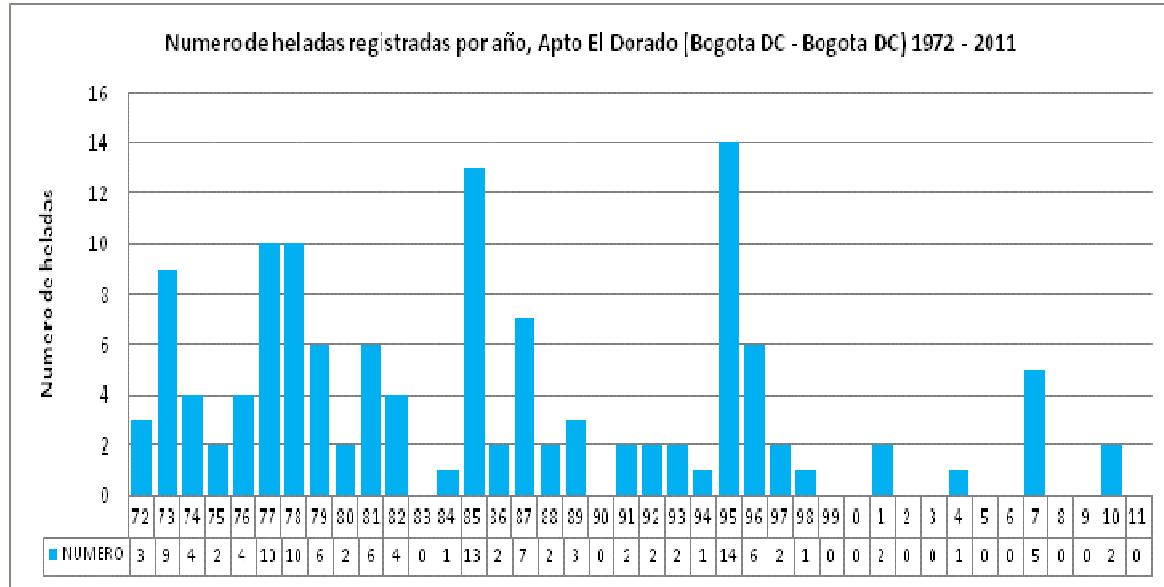


Grafico 13. Número de heladas registradas por año, en la estación Aeropuerto El Dorado, ubicada en el municipio de Bogota D.C – Bogota D.C.

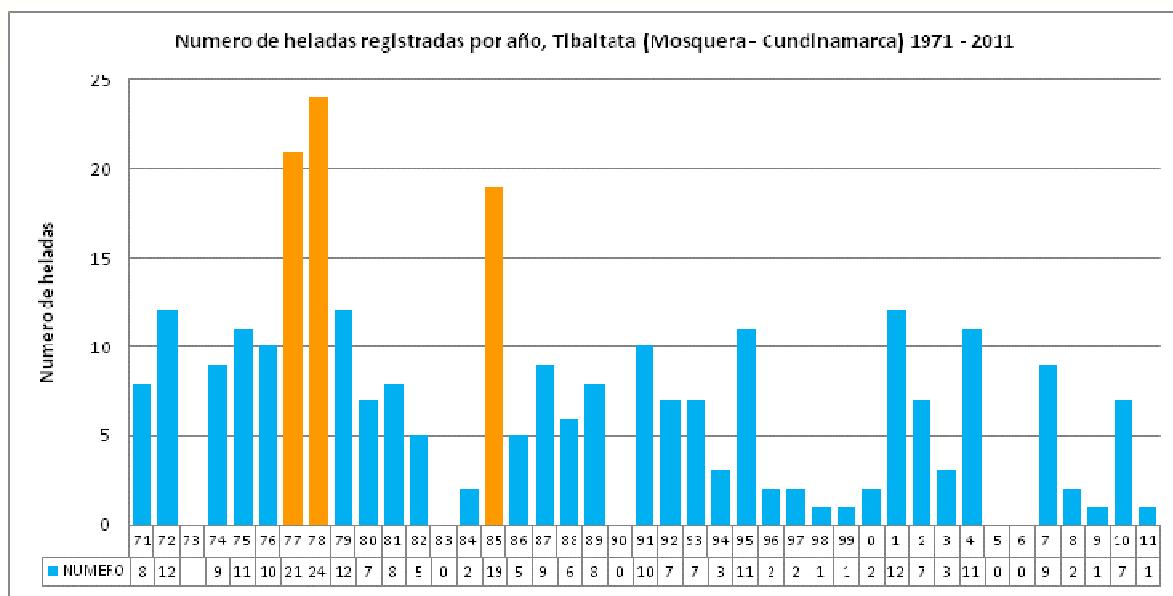
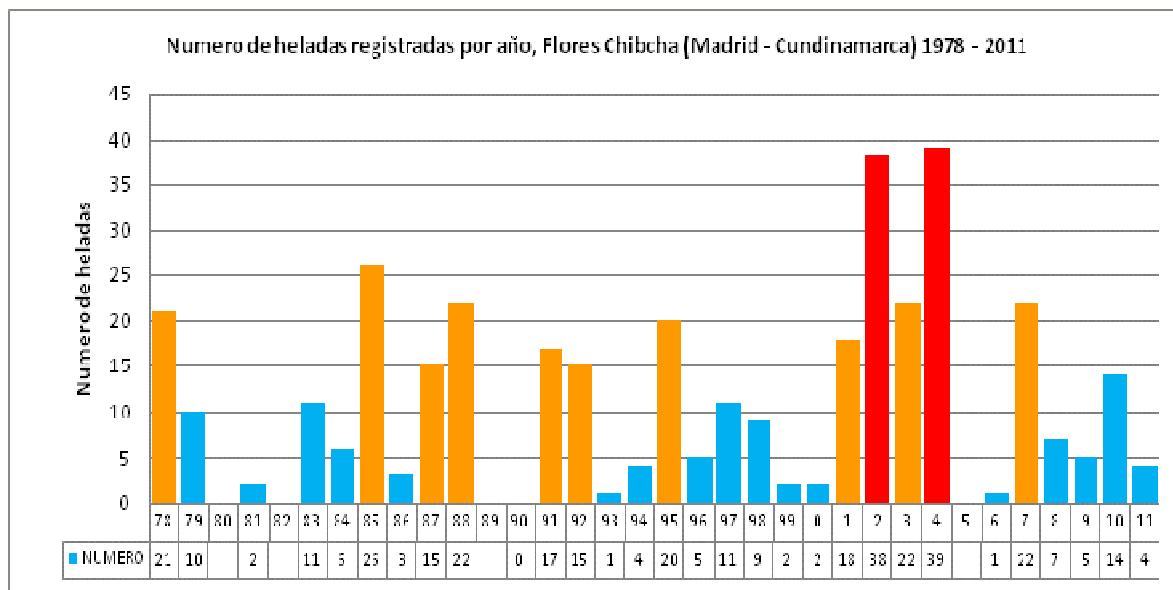


Grafico 14. Número de heladas registradas por año, en la estación de Tibaitata, ubicada en el municipio de Mosquera - Cundinamarca.



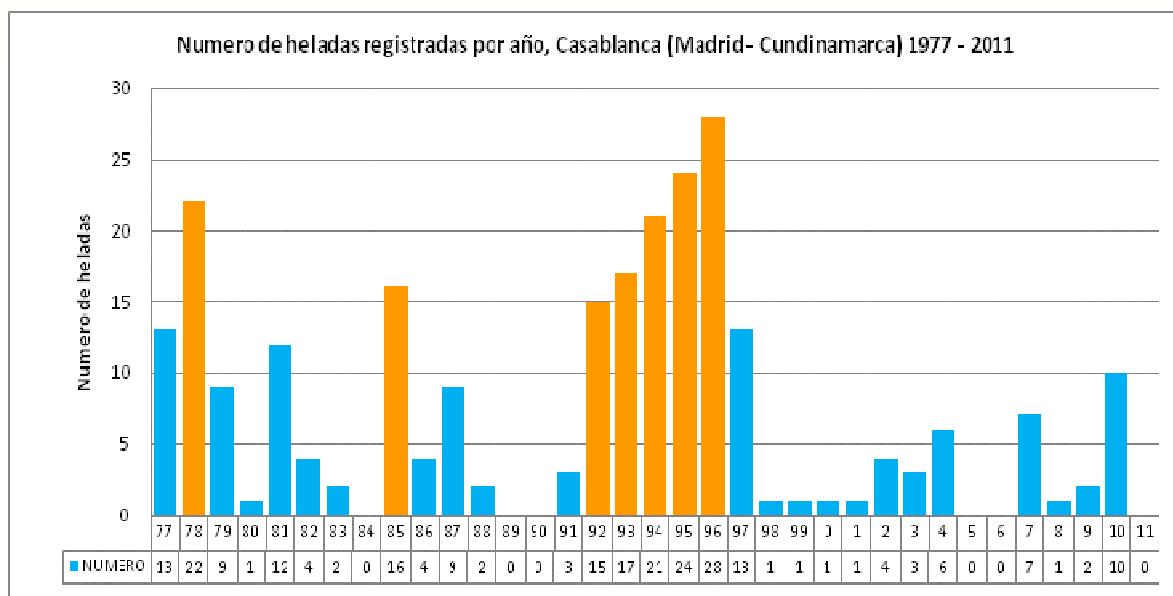


Grafico 15. Numero de heladas registradas por año, en las estaciones de Flores Chibcha y Casablanca, ubicadas en el municipio de Madrid - Cundinamarca.

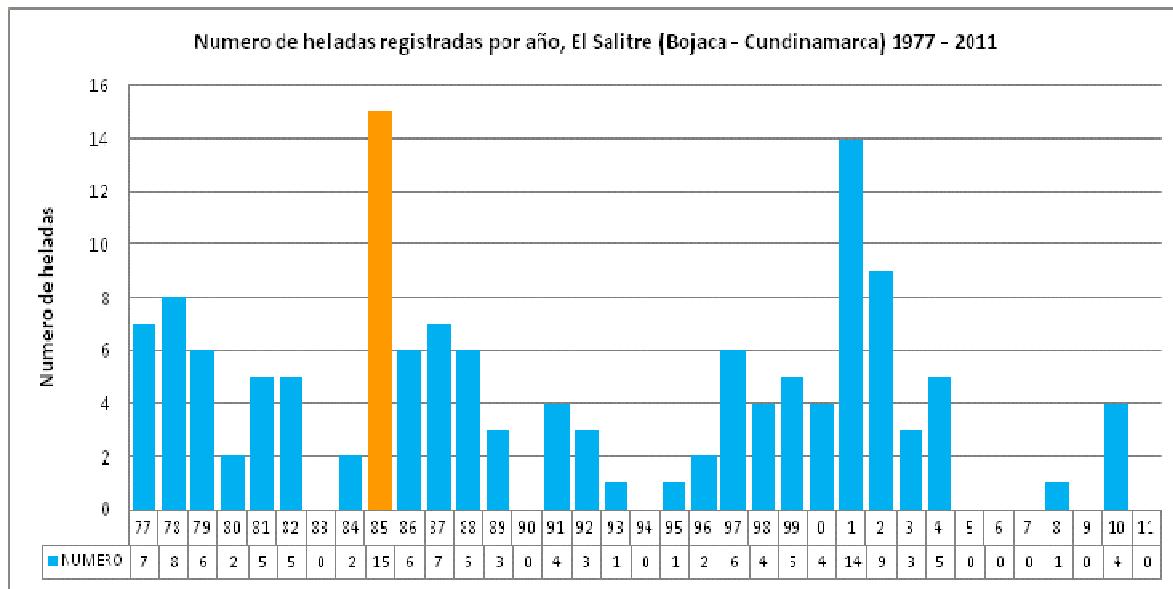


Grafico 16. Numero de heladas registradas por año, en la estación de El Salitre, ubicada en el municipio de Bojacá - Cundinamarca.

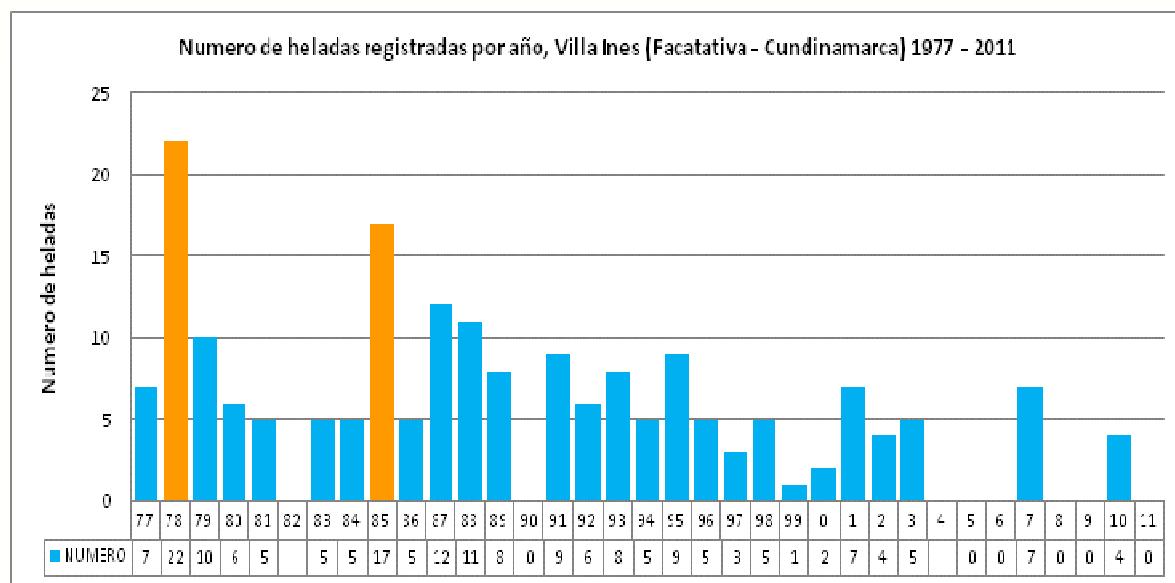


Grafico 17. Número de heladas registradas por año, en la estación de Villa Ines, ubicada en el municipio de Facatativá - Cundinamarca.

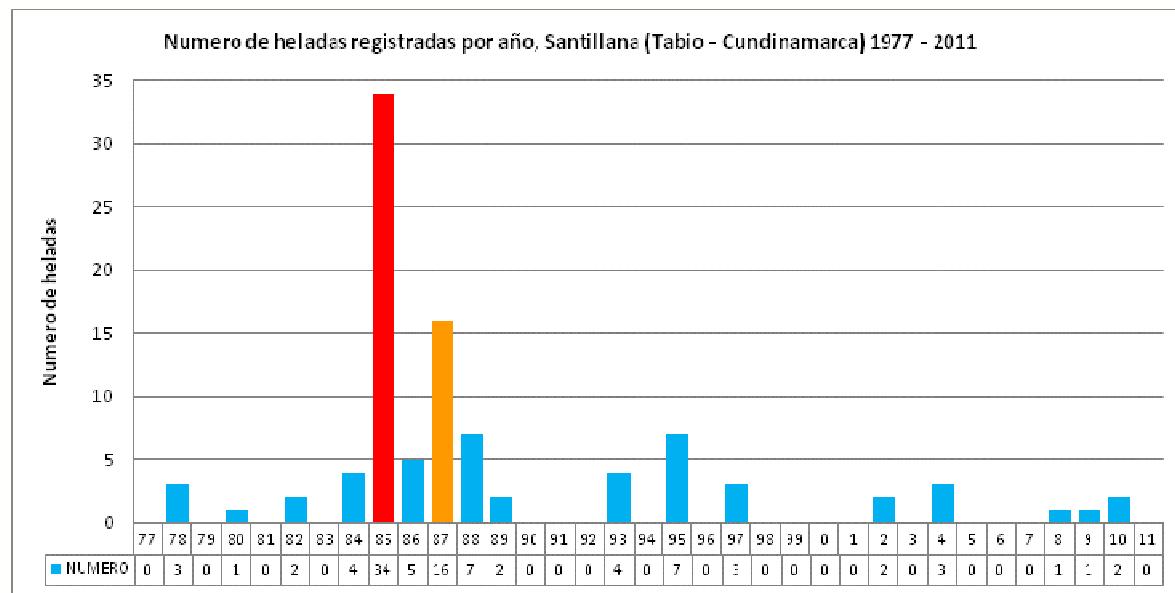


Grafico 18. Número de heladas registradas por año, en la estación de Santillana, ubicada en el municipio de Tabio - Cundinamarca.

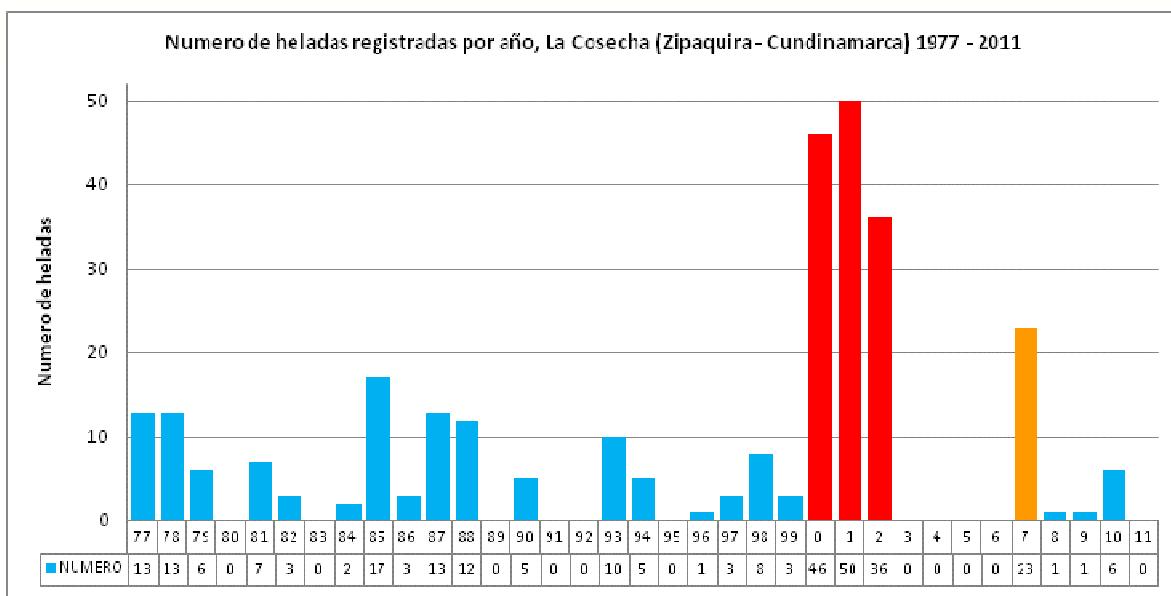


Grafico 19. Numero de heladas registradas por año, en la estación de La Cosecha, ubicada en el municipio de Zipaquirá - Cundinamarca.

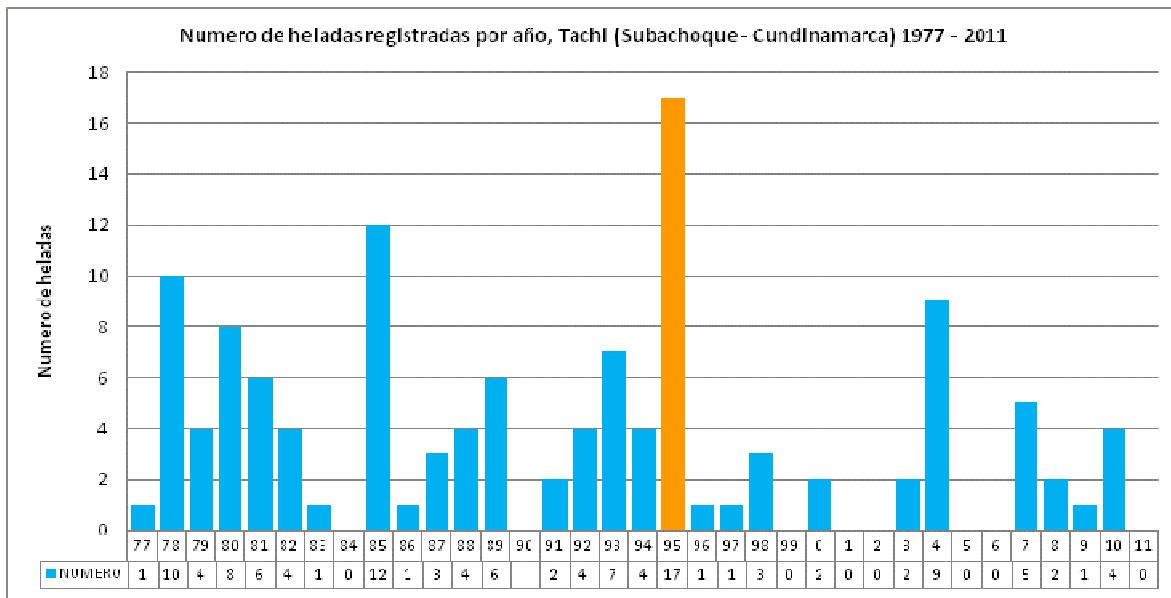


Grafico 20. Numero de heladas registradas por año, en la estación de Tachi, ubicada en el municipio de Subachoque - Cundinamarca.

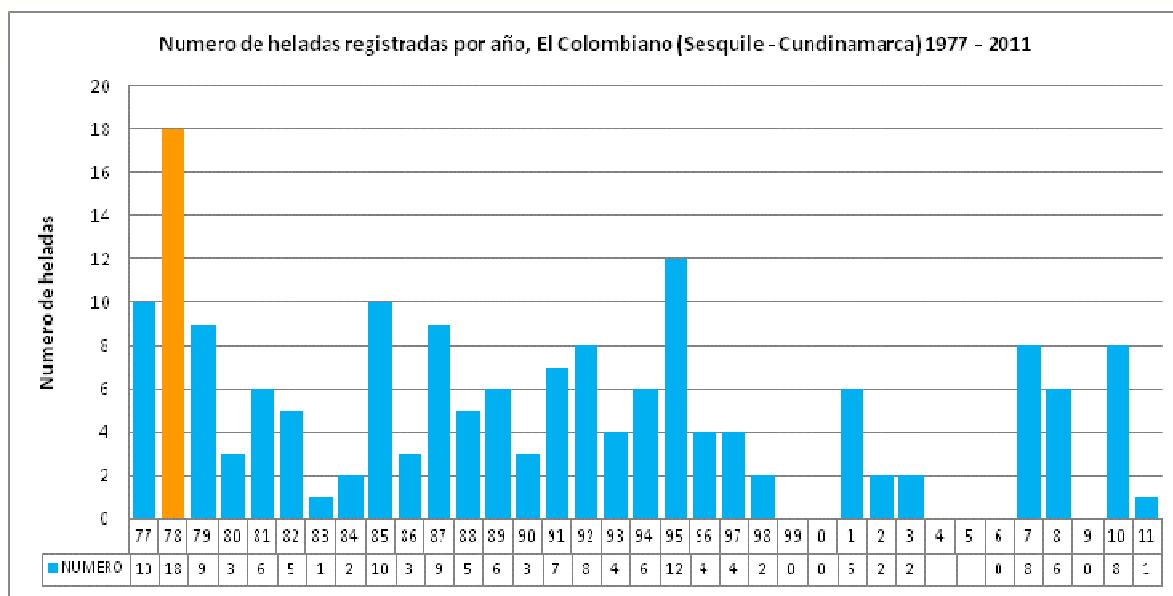


Grafico 21. Número de heladas registradas por año, en la estación de *El Colombiano*, ubicada en el municipio de Sesquile - Cundinamarca.

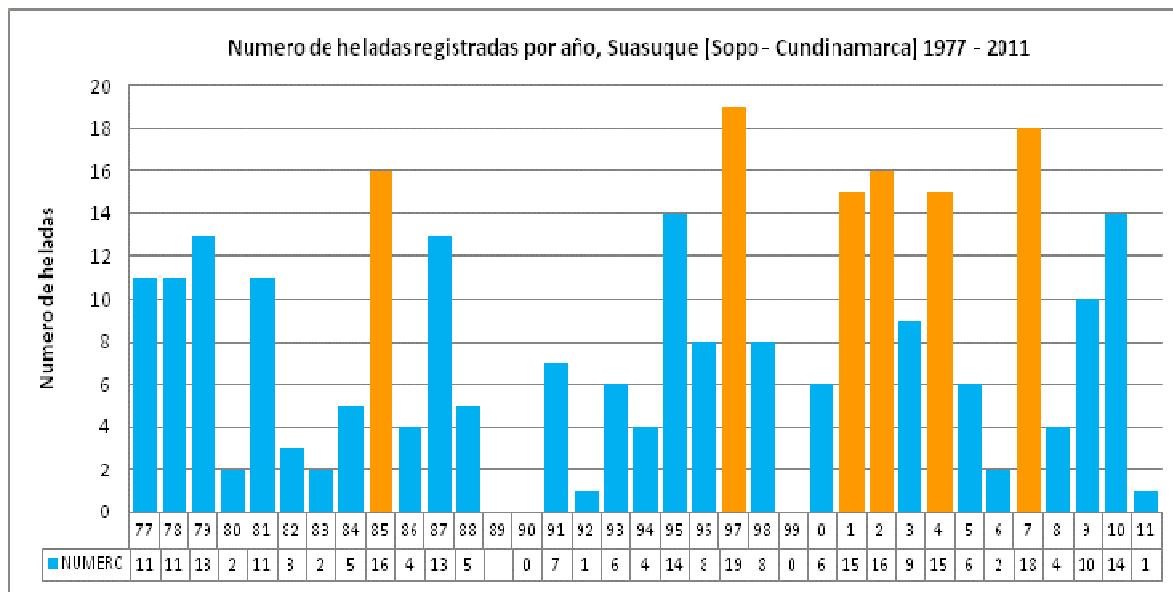


Grafico 22. Número de heladas registradas por año, en la estación de *Suasque*, ubicada en el municipio de Sopo - Cundinamarca.

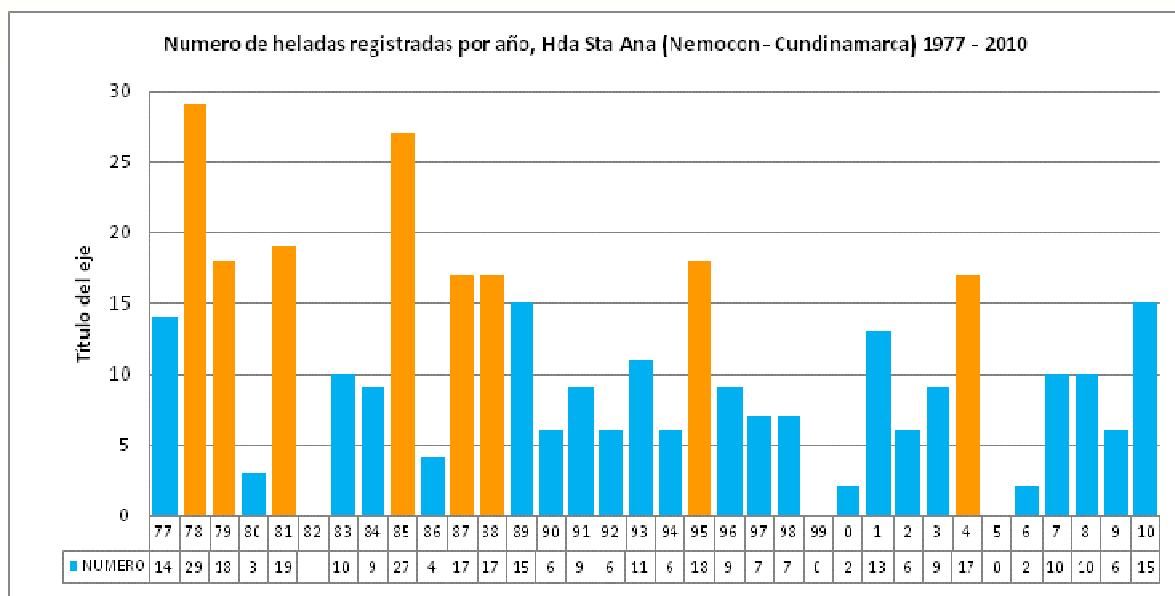


Grafico 23. Número de heladas registradas por año, en la estación de Hacienda Santa Ana, ubicada en el municipio de Nemocón - Cundinamarca.

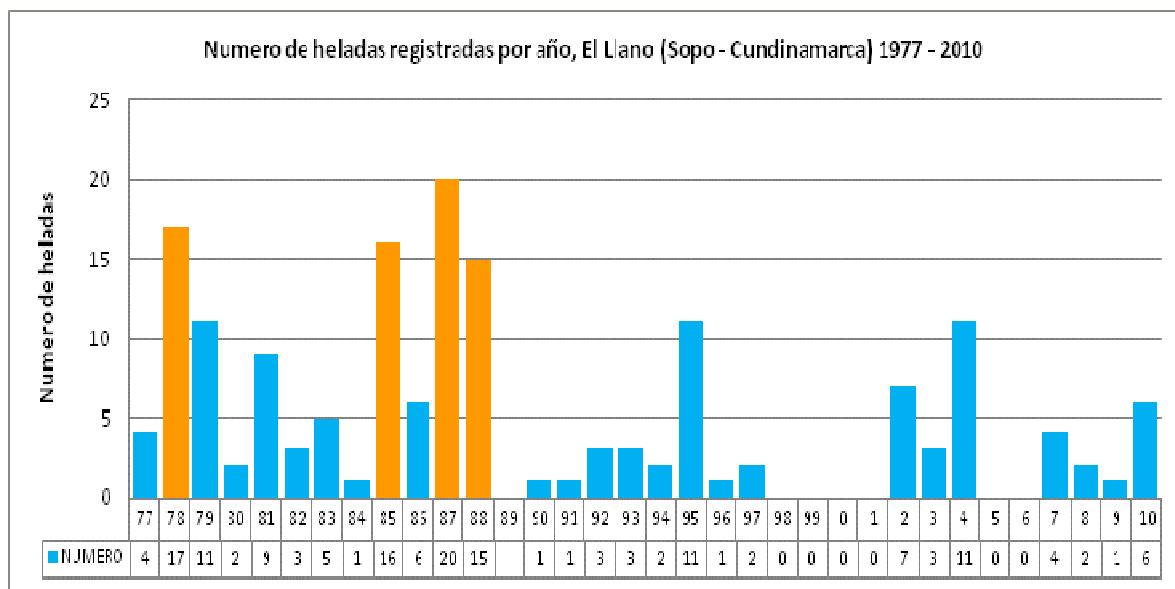


Grafico 24. Número de heladas registradas por año, en la estación de El Llano, ubicada en el municipio de Sopo - Cundinamarca.

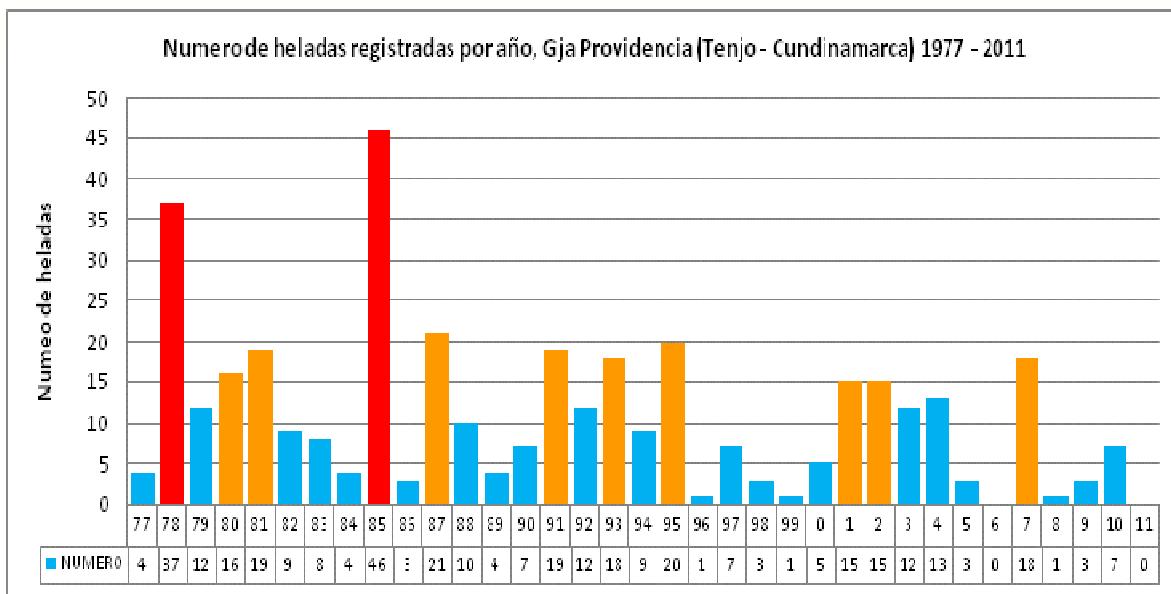


Grafico 25. Número de heladas registradas por año, en la estación de El Llano, ubicada en el municipio de Sopo - Cundinamarca.

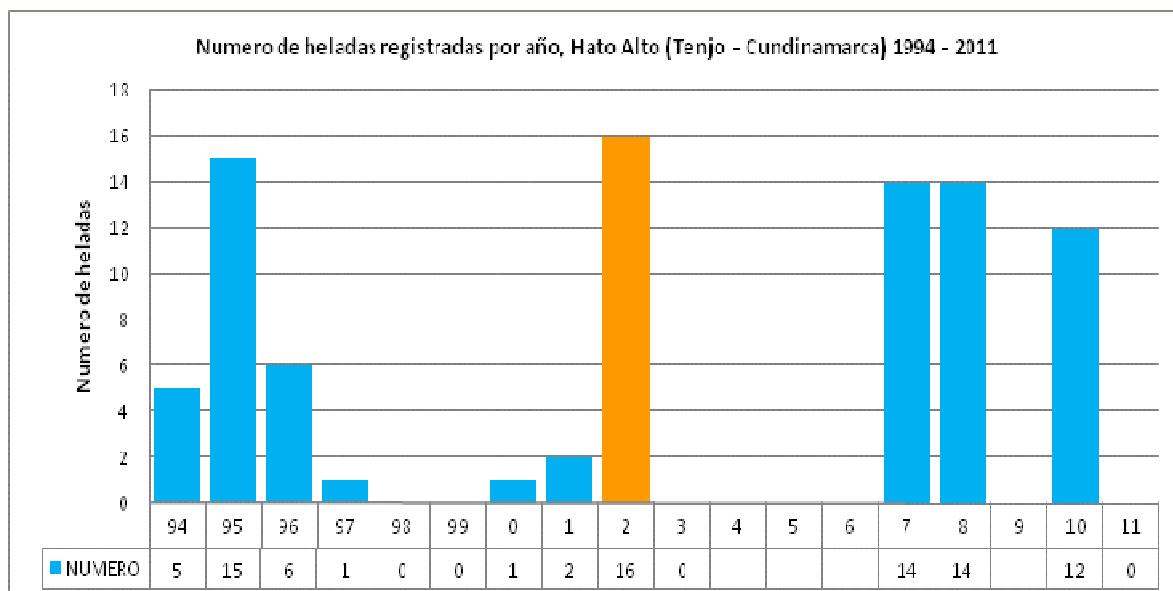


Grafico 26. Número de heladas registradas por año, en la estación de Hato Alto, ubicada en el municipio de Tenjo - Cundinamarca.

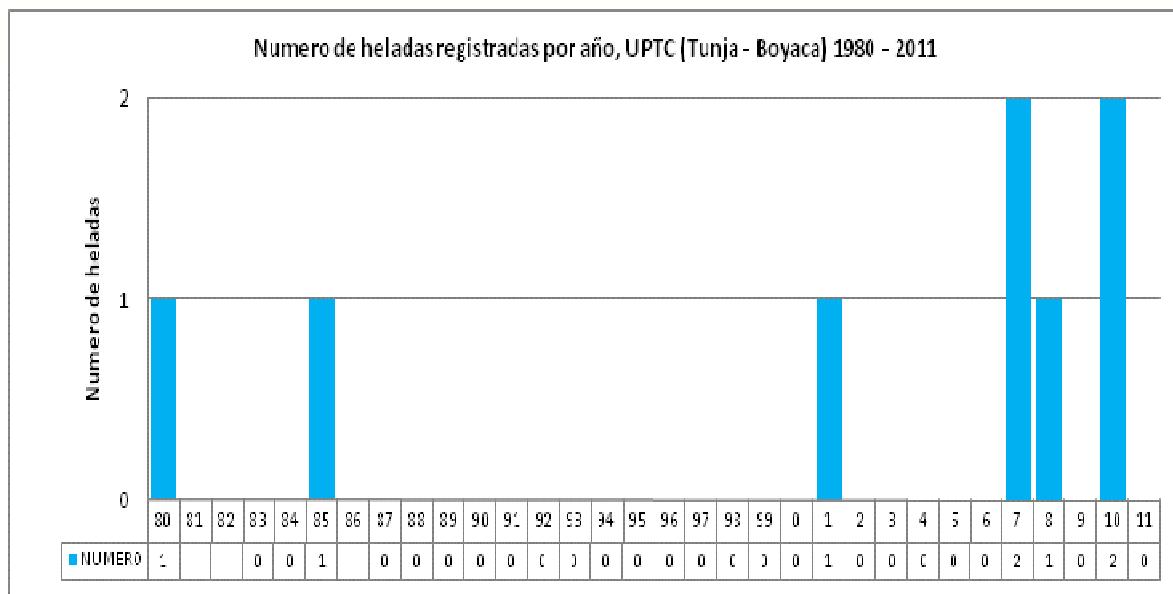


Grafico 27. *Numero de heladas registradas por año, en la estación de U.P.T.C, ubicada en el municipio de Tunja - Boyacá.*

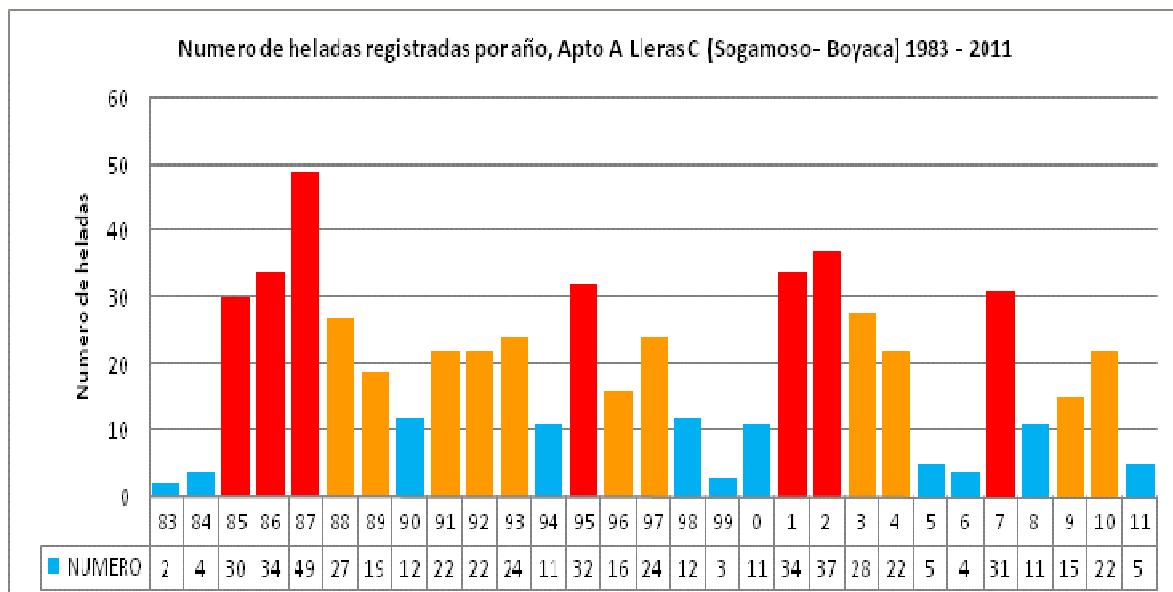


Grafico 28. *Numero de heladas registradas por año, en la estación de U.P.T.C, ubicada en el municipio de Sogamoso - Boyacá.*

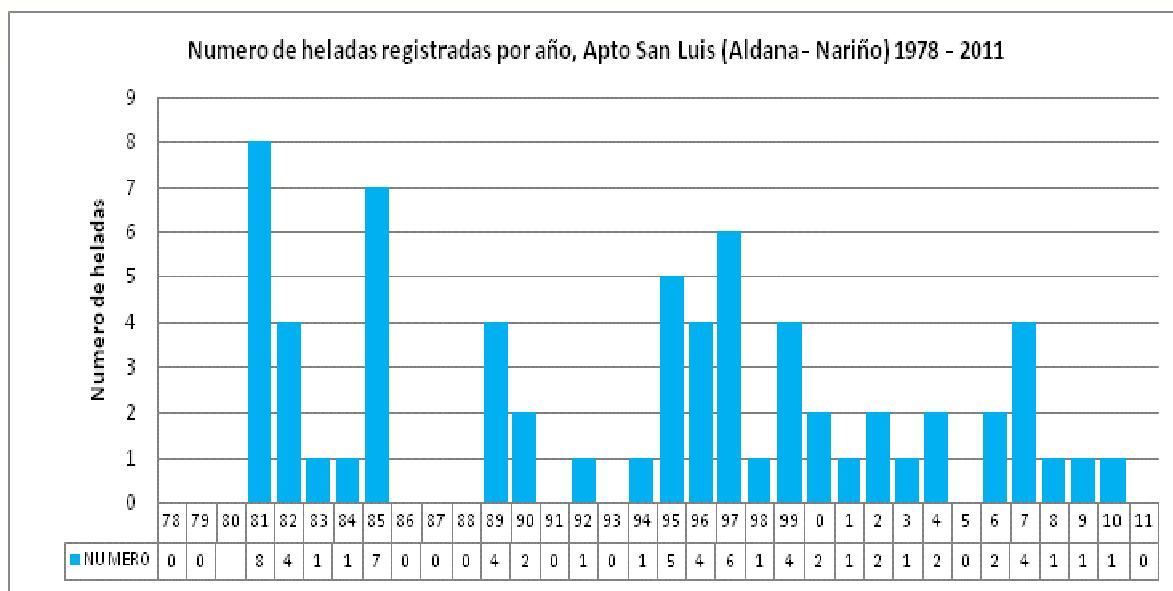
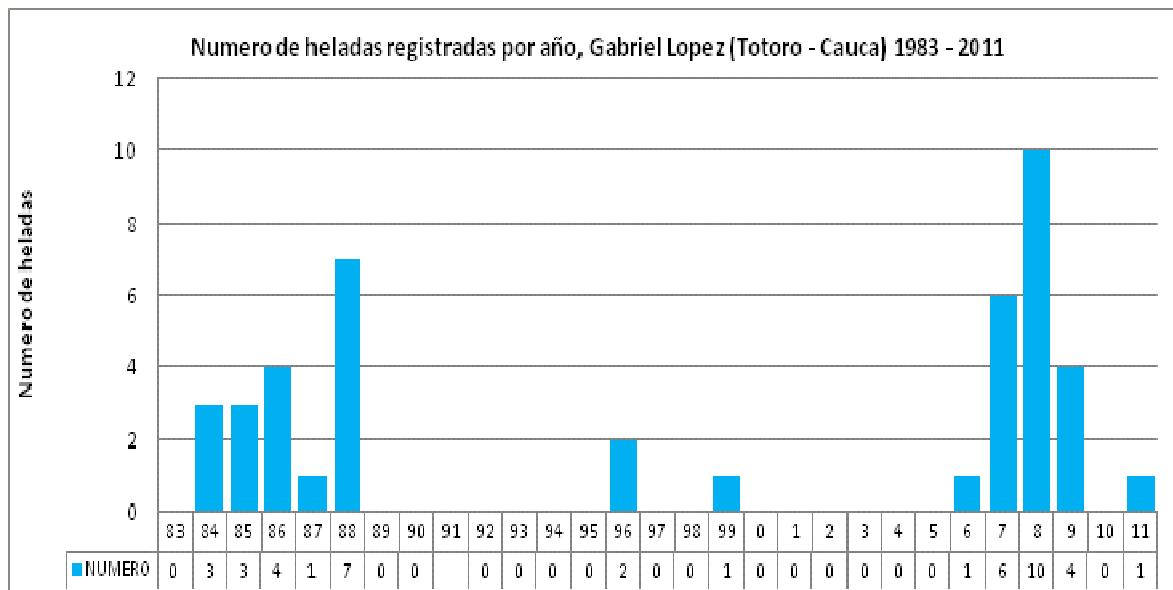


Grafico 29. *Numero de heladas registradas por año, en la estación de Aeropuerto San Luis, ubicada en el municipio de Aldana - Nariño.*



Numero de heladas registradas por año, Valencia (San Sebastian - Cauca) 1978 - 2011

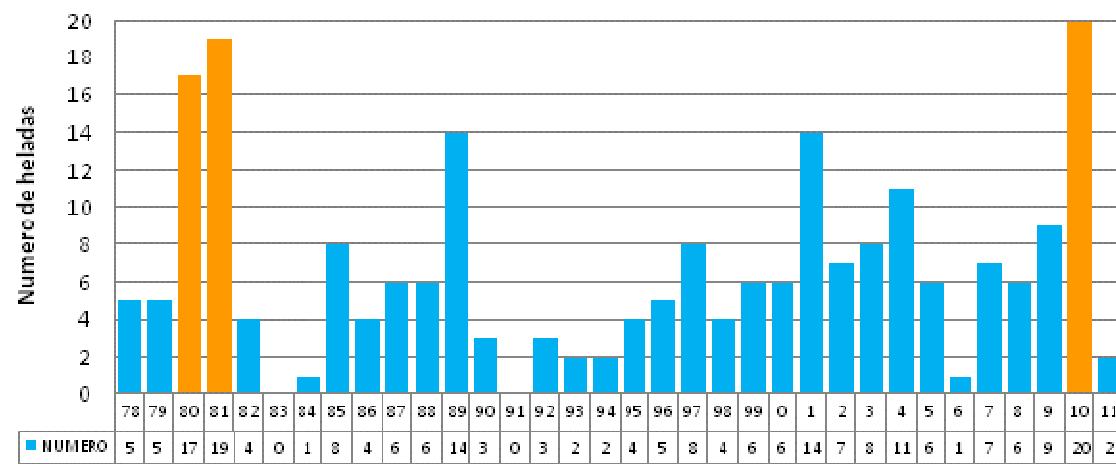


Grafico 30. Numero de heladas registradas por año, en las estaciones de Gabriel Lopez y Valencia, ubicadas en los municipios de Totoro y San Sebastian – Cauca.

Numero de heladas registradas por año, Aragon (Santa Rosa de Osos - Antioquia) 1978 - 2011

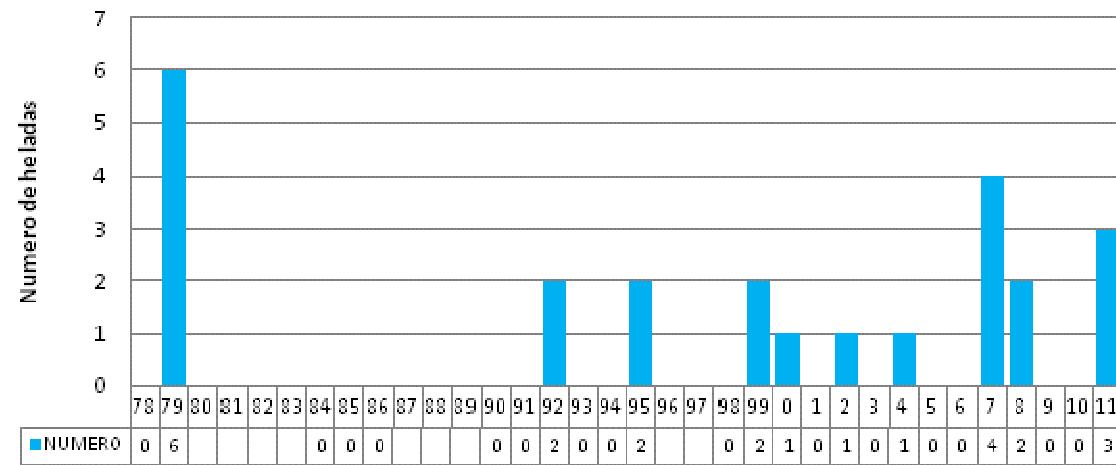


Grafico 31. Numero de heladas registradas por año, en la estación de Aragon, ubicada en el municipio de Santa Rosa de Osos - Antioquia.

**Numero de heladas registradas por año, San Felix (Salamina - Caldas) 1983
- 2009**

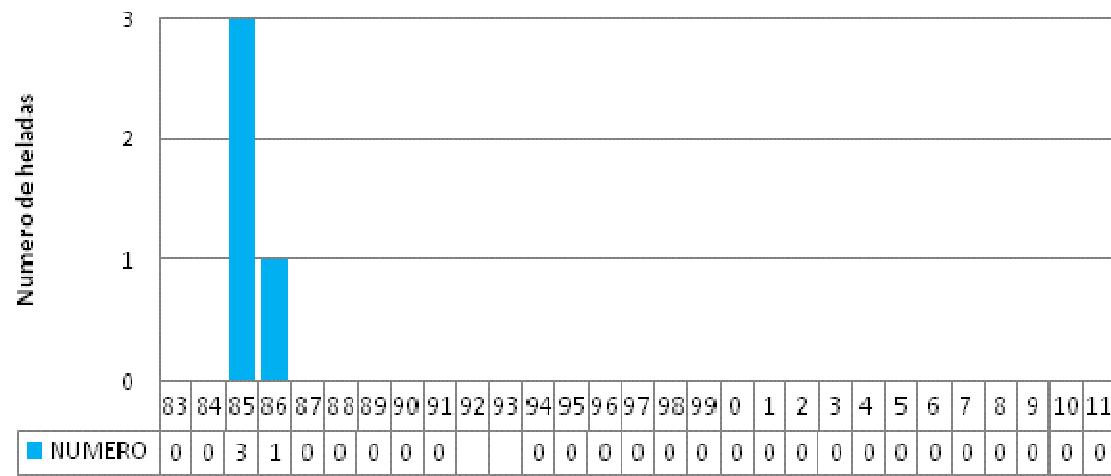
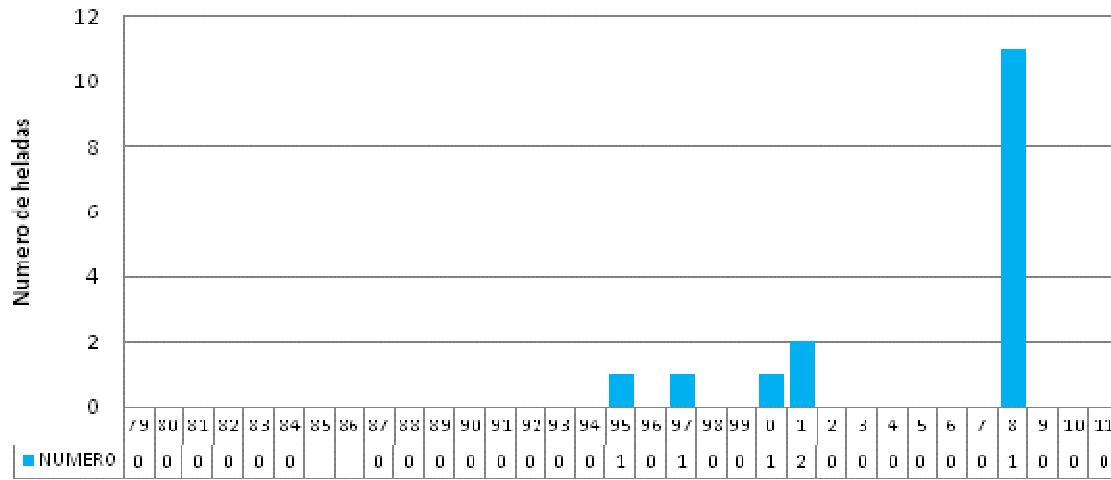


Grafico 32. *Numero de heladas registradas por año, en la estación de San Felix, ubicada en el municipio de Salamina - Caldas.*

**Numero de heladas registradas por año, Silos (Silos - Norte de Santander) 1979
- 2011**



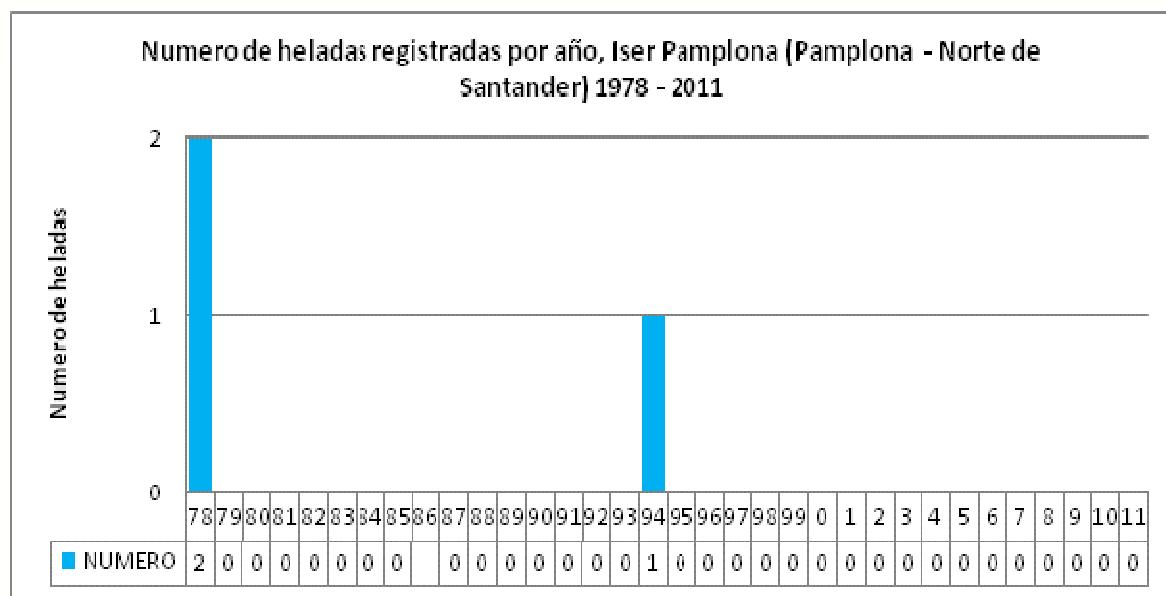


Grafico 33. Numero de heladas registradas por año, en las estaciones de Silos e Iser Pamplona, ubicadas en los municipios de Silos y Pamplona – Norte de Santander.

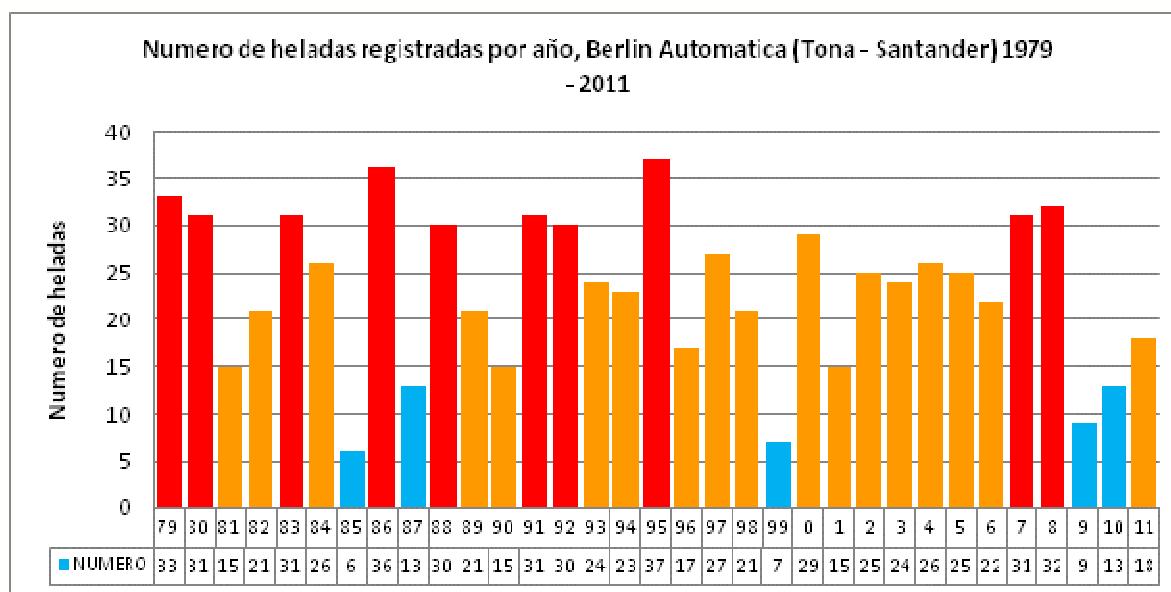


Grafico 34. Numero de heladas registradas por año, en la estación de Berlin, ubicada en el municipio de Tona -Santander.

3.4 Número total de heladas registradas por mes, periodo 1977 - 2011

Los gráficos 34 al 45, muestran la distribución mensual de este fenómeno; En él, se observa, que el mayor numero de heladas ocurre entre los meses de diciembre y febrero. Esto coincide con la primera época seca del año que predomina en la zona Andina, la cual se caracteriza por áreas de altiplanos y de gran susceptibilidad a las heladas.

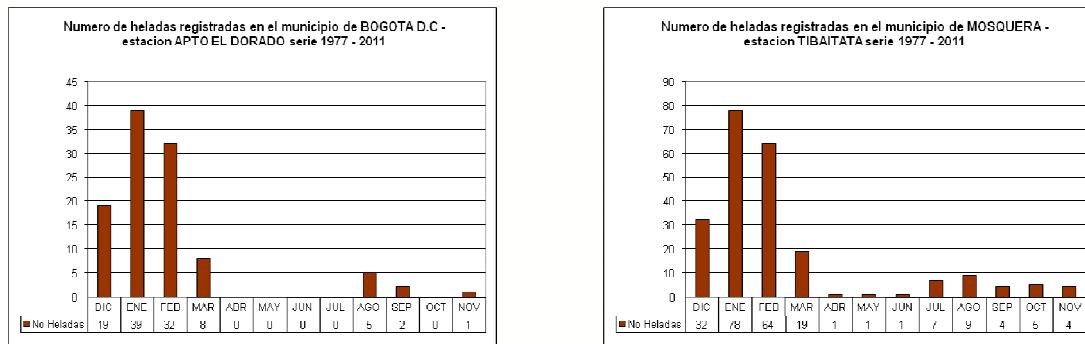


Grafico 35. Número de heladas por mes en los municipios de Bogotá D.C y Mosquera (periodo 1977 – 2011).

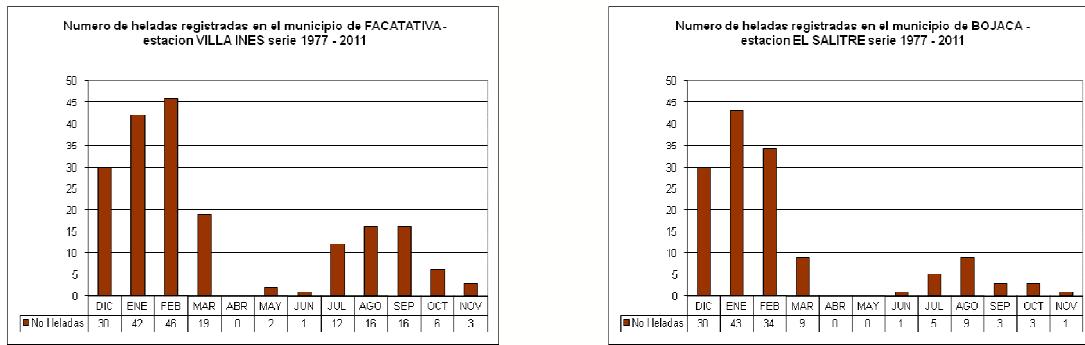


Grafico 36. Número de heladas por mes en los municipios de Facatativá y Bojaca (periodo 1977 – 2011).

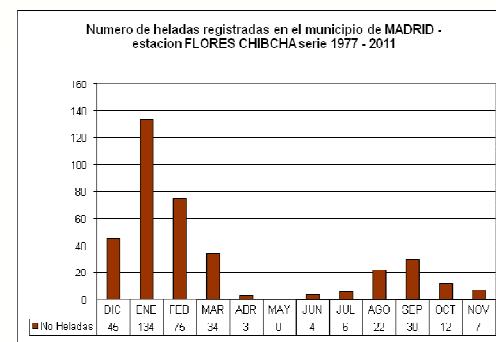
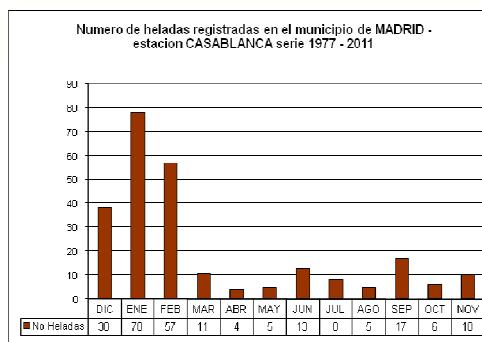


Grafico 37. Numero de heladas por mes en el municipio de Madrid (periodo 1977 – 2011).

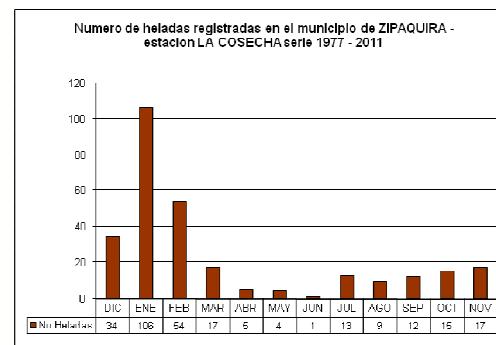
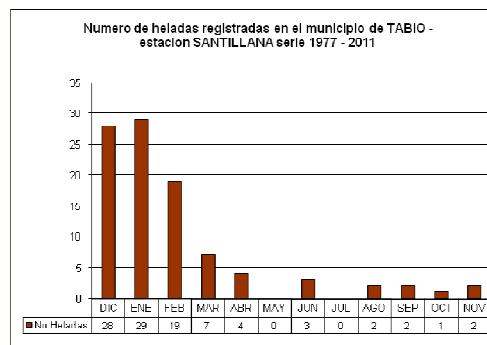
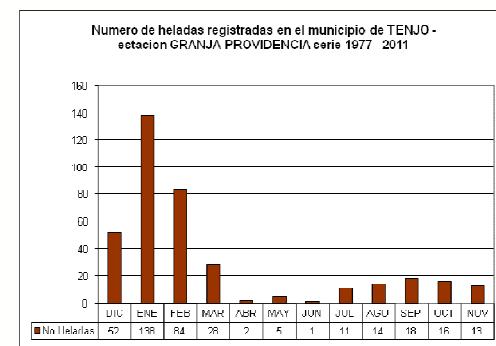
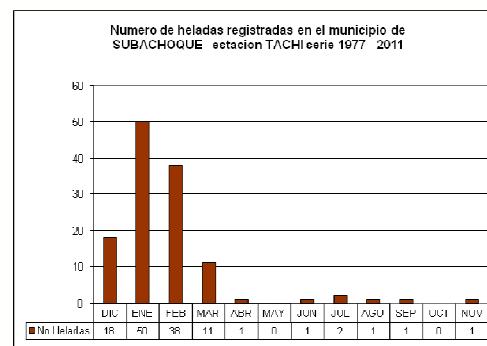


Grafico 38. Numero de heladas por mes en los municipios de Tabio y Zipaquirá (periodo 1977 – 2011).



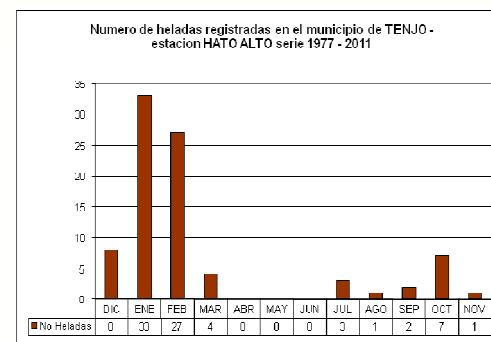


Grafico 39. Número de heladas por mes en los municipios de Subachoque y Tenjo (periodo 1977 – 2011).

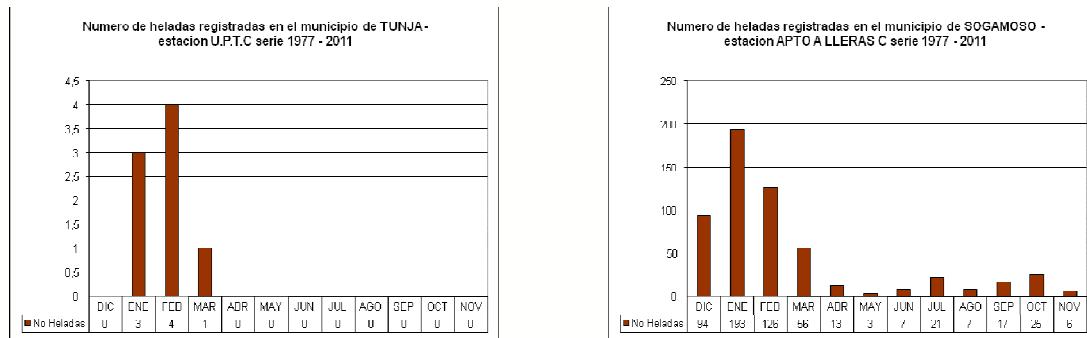


Grafico 40. Número de heladas por mes en el municipio de Sopo (periodo 1977 – 2011).

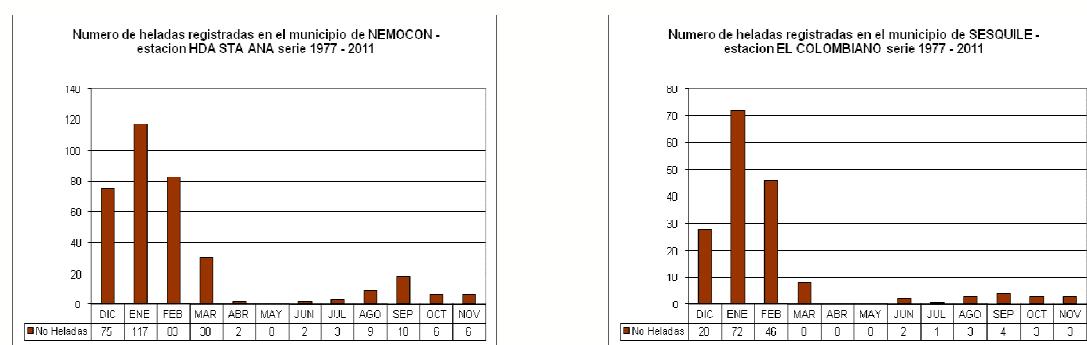


Grafico 41. Número de heladas por mes en el municipio de Nemocón y Sesquile (periodo 1977 – 2011).

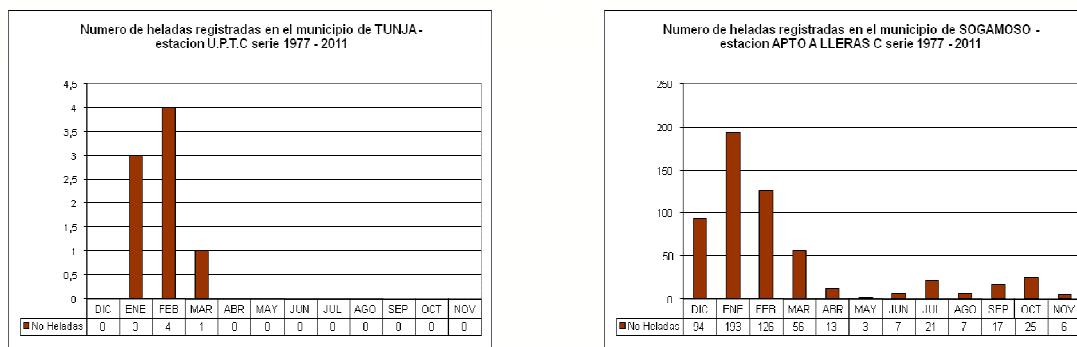


Grafico 42. Numero de heladas por mes en el municipio de Tunja y Sogamoso (periodo 1977 – 2011).

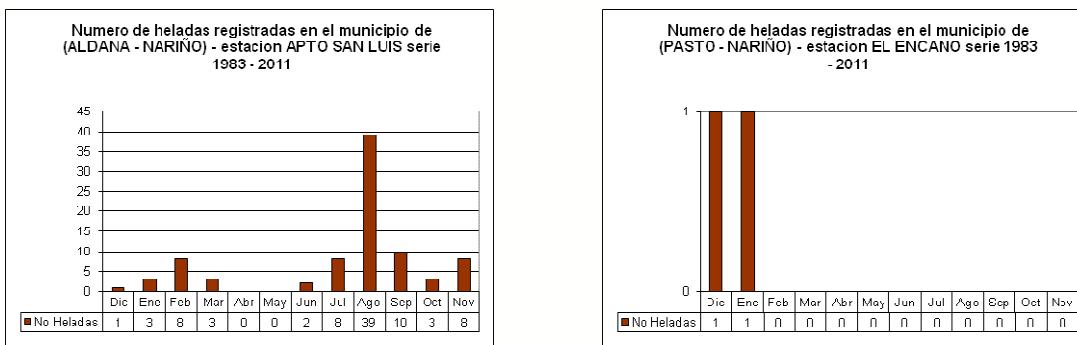


Grafico 43. Numero de heladas por mes en los municipios de Aldana y Pasto del departamento de Nariño (periodo 1983 – 2011).

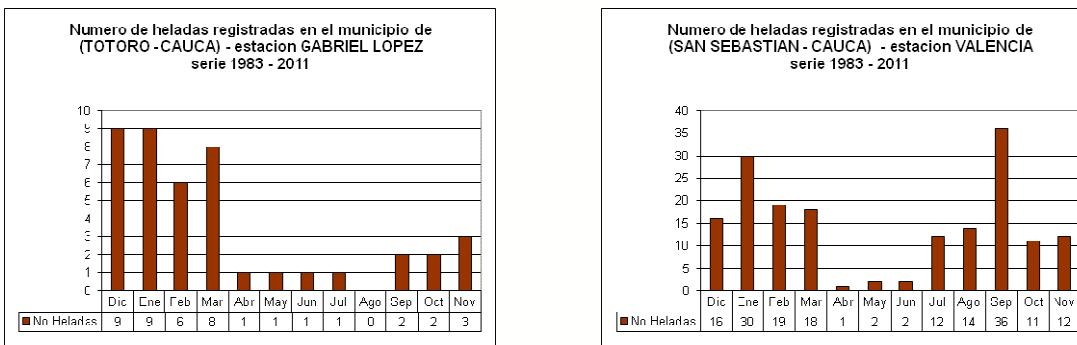


Grafico 44. Numero de heladas por mes en los municipios de Totoro y San Sebastian del departamento de Cauca (periodo 1983 – 2011).

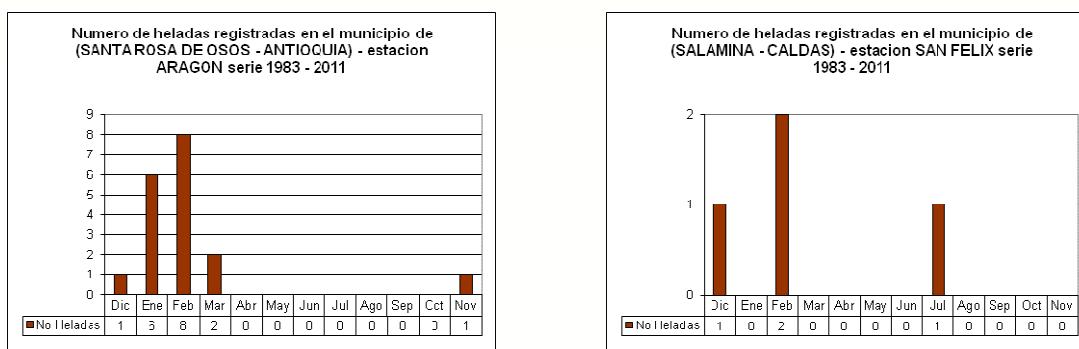


Grafico 45. Numero de heladas por mes en los municipios de Santa Rosa de Osos y Salamina de los departamentos de Antioquia y Caldas respectivamente (periodo 1983 – 2011).

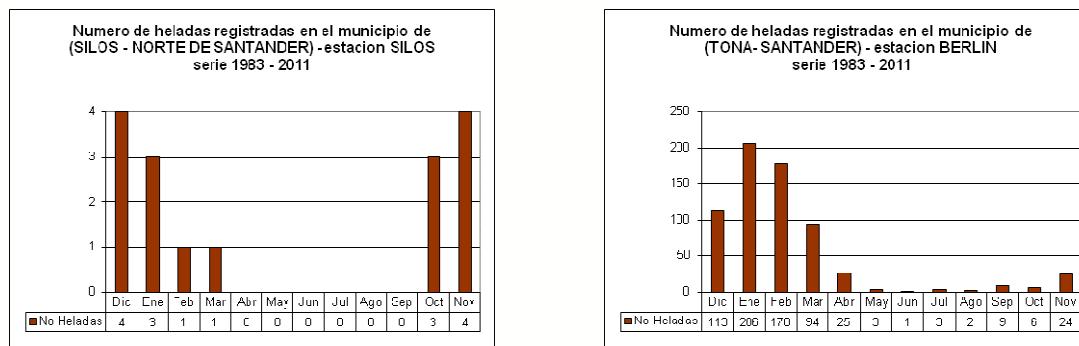


Grafico 46. Numero de heladas por mes en el municipio de Silos y Tona de los departamentos de Norte de Santander y Santander respectivamente (periodo 1983 – 2011).

3.5 Temperaturas mínimas absolutas registradas por año

En los gráficos 46 al 62, se aprecian las temperaturas mínimas de los municipios más afectados por las heladas, en estos se aprecian heladas intensas (temperaturas menores a -4°C), en orden de importancia: Tona – Santander (**-9.8°C** , año 2000), Tenjo – Cundinamarca (**-8.8°C** , año 2007), Sogamoso – Boyacá (**-8.8°C** , año 1995), Nemocón – Cundinamarca (**-8.2°C** , año 2010), Madrid – Cundinamarca (**-8°C** , año 1996), Sopó – Cundinamarca (**-8°C** , año 1995), Salamina – Caldas (**-7.8°C** , año 1985), Tabio – Cundinamarca (**-7°C** , año 1993), Bogotá D.C – Bogotá D.C (**-6.4°C** , año 1995), Facatativá – Cundinamarca (**-6°C** , año 1985), Zipaquirá – Cundinamarca (**-6°C** , año 1994), Totoro – Cauca (**-5.8°C** , año 1986), Subachoque – Cundinamarca (**-5.6°C** , año 2007), Mosquera – Cundinamarca (**-5.4°C** , año 1977), Bojaca – Cundinamarca (**-5.4°C** , año 2010), Sesquile – Cundinamarca (**-5°C** , año 2007), San Sebastián – Cauca (**-5°C** , año 1980).

En general, las regiones donde se presentan heladas pero de menor intensidad son las siguientes: las zonas montañosas de los departamentos de Nariño (específicamente Ipiales), Tunja (Boyacá) y Santa Rosa de Osos (Antioquia).

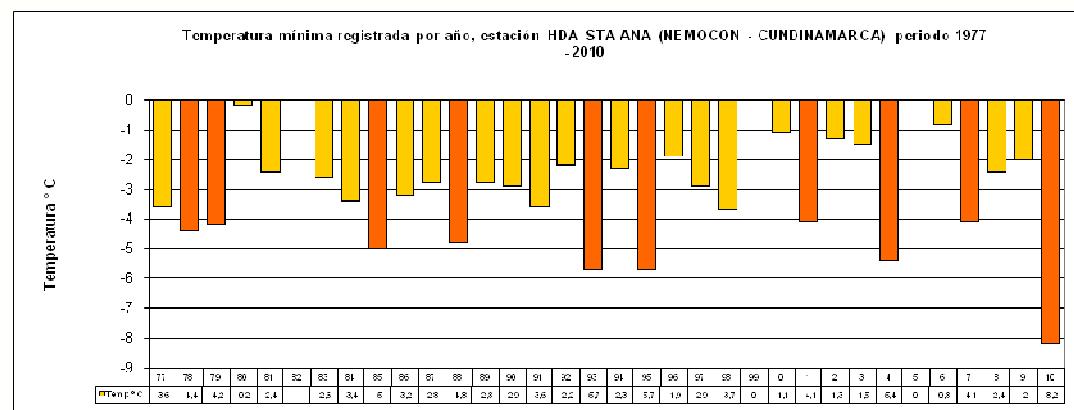


Grafico 50. Temperatura mínima anual registrada en el municipio de Nemocón – Cundinamarca (periodo 1977 – 2011).

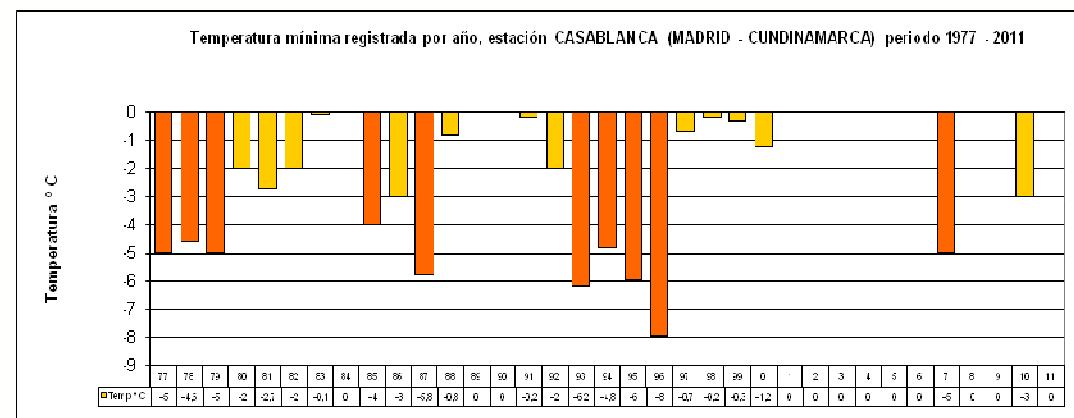


Grafico 51. Temperatura mínima anual registrada en el municipio de Madrid – Cundinamarca (periodo 1977 – 2011).

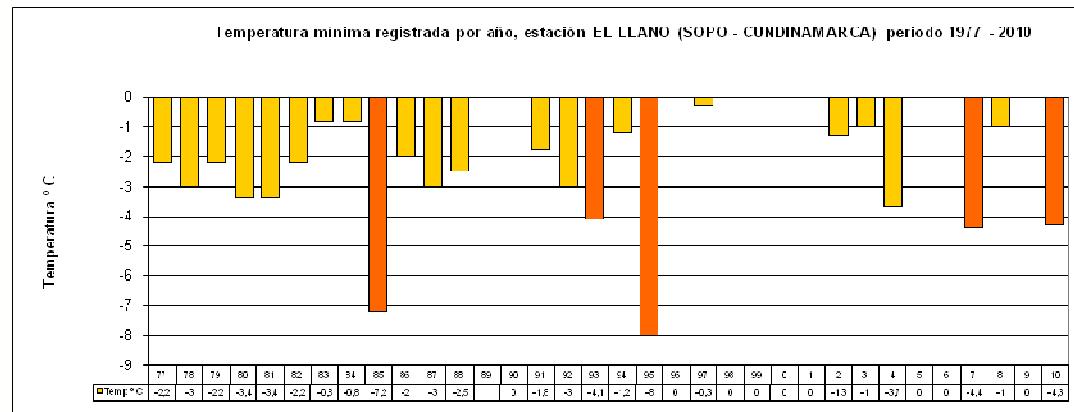


Grafico 52. Temperatura mínima anual registrada en el municipio de Sopó – Cundinamarca (periodo 1977 – 2011).

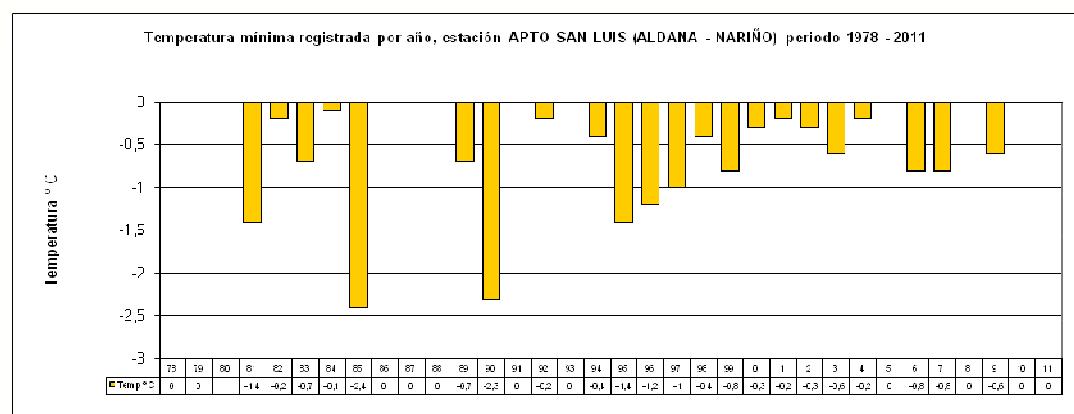


Grafico 65. Temperatura mínima anual registrada en el municipio de Aldana – Nariño (periodo 1978 – 2011).

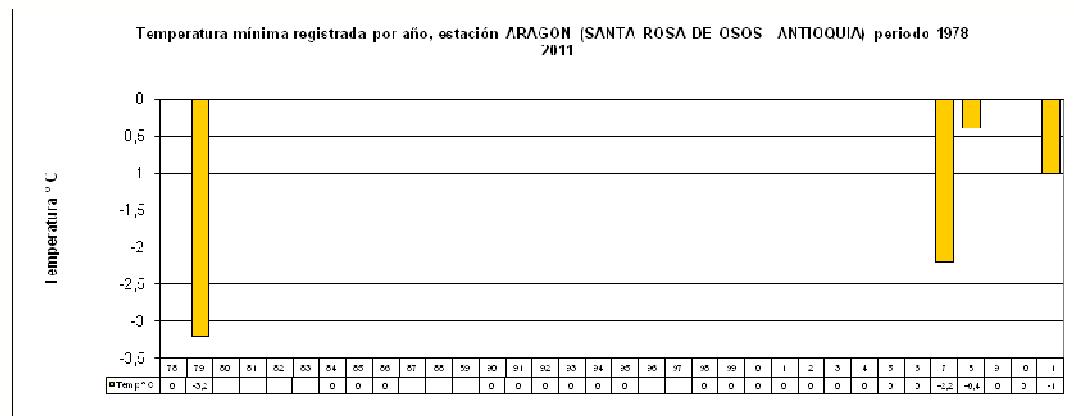


Grafico 66. Temperatura mínima anual registrada en el municipio de Santa Rosa de Osos – Antioquia (periodo 1978 – 2011).

3.6 Número total de heladas registradas en los principales municipios.

En el grafico numero 66 y 67, se observa el número total de heladas presentadas en los municipios más susceptibles a este fenómeno localizados entre los 2500 y 3000 m.s.n.m, durante los periodos de 1977 – 2011 para los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, y 1983 – 2011 para los departamentos de Nariño, Cauca, Caldas, Antioquia, Santander y Norte de Santander.

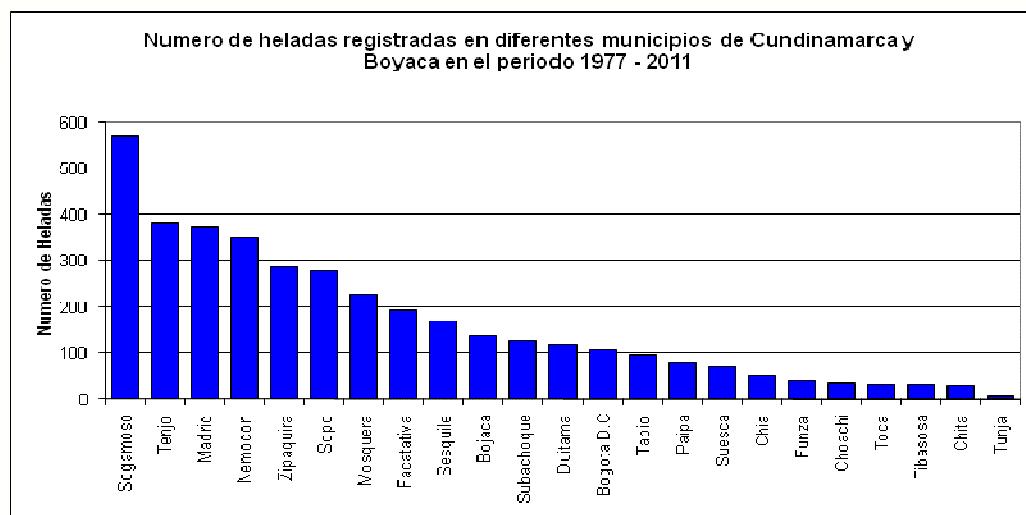


Grafico 67. Número total de heladas en los principales municipios de los departamentos de Cundinamarca y Boyacá (periodo 1977 – 2011).

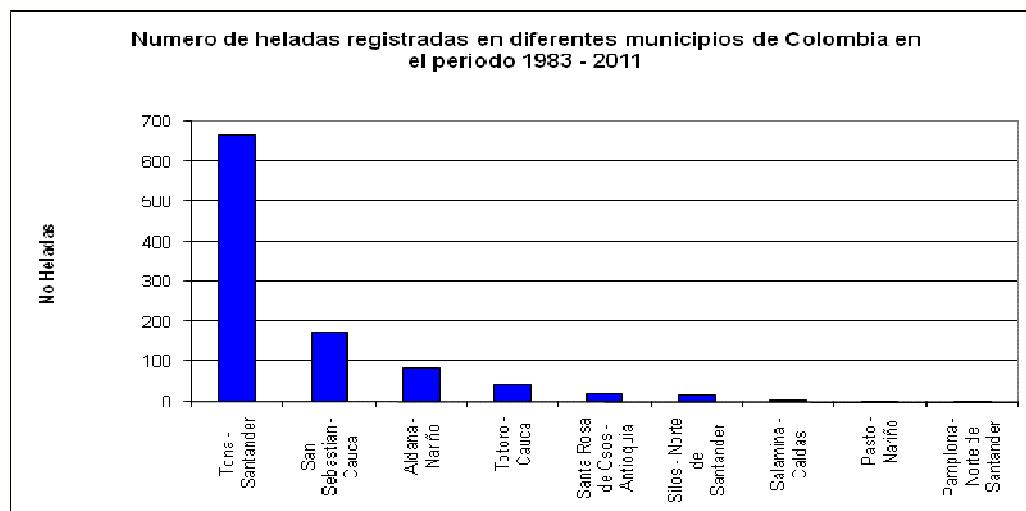
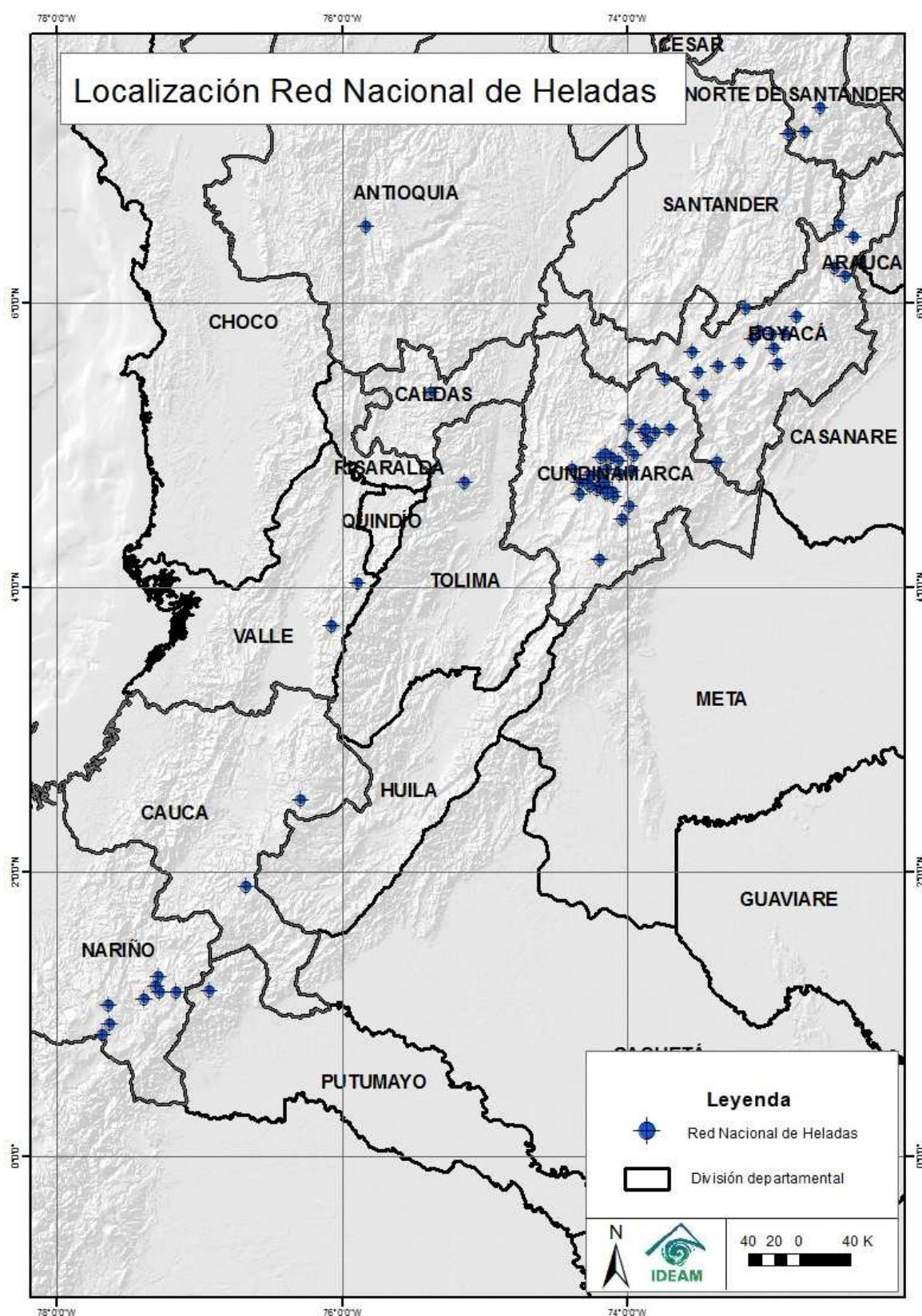


Grafico 68. Número total de heladas en los principales municipios de los departamentos de Nariño, Cauca, Antioquia, Caldas, Santander y Norte de Santander (periodo 1983 – 2011).



Mapa 2. Ubicación de las estaciones de la Red Nacional de Heladas en Colombia. Fuente: IDEAM, 2012

Tabla 5. Estaciones meteorológicas de la red de Heladas ubicadas en los departamentos de Nariño, Cauca, Antioquia, Caldas, Santander y Norte de Santander. Fuente: IDEAM, 2012.

CODIGO	MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	LON	LAT
2701511	Santa Rosa de Osos	Antioquia	-75,827000	6,534000
2618504	Salamina	Caldas	-75,375139	5,372639
2602507	Totoro	Cauca	-76,289056	2,509778
4401503	San Sebastian	Cauca	-76,668750	1,900417
5205501	Aldana	Narino	-77,677750	0,857083
4701510	Pasto	Narino	-77,161472	1,159944
3701501	Silos	Norte de Santander	-72,753333	7,207500
1601502	Pamplona	Norte de Santander	-72,645000	7,373111
3701502	Tona	Santander	-72,868611	7,186944

4. PERIODO LIBRE DE HELADAS (PLH)

Se define Periodo Libre de Heladas (**PLH**) al tiempo transcurrido entre el día posterior a la ultima helada del año y finaliza el día anterior a la primera helada del año siguiente (Little y Hills, 1976).

Entendido así:

PLH= $(365-U_{Ht}) + (P_{Ht+1}-1)$ y PLH= $(366-U_{Ht}) + (P_{Ht+1}-1)$ para años bisestos (Pereyra et al., 1990); Donde

PLH= Periodo Libre de Heladas

U_{Ht}= Fecha de ocurrencia (en día juliano) de la ultima helada ocurrida en el año t

P_{Ht}= Fecha de ocurrencia de la primera helada ocurrida en el año t+1

4.1 Metodología Periodo Libre de Heladas

La metodología utilizada para determinar el PLH en las estaciones a trabajar fue la siguiente:

1. Determinar la fecha de la temperatura semestral (Enero – Junio y Julio – Diciembre) menor o igual a 0 °C de las estaciones pre establecidas que cuenten con una serie mínima de 20 años de datos.
2. Conversión de la fecha más extrema a días julianos, para cada semestre; para años no bisestos contamos con n días = 365, y para años bisestos n días = 366, respectivamente.
3. Se determina la fecha de la primera helada, de la misma forma que el punto anterior.
4. Se determina la fecha de la última helada.
5. Ajuste del periodo libre de heladas a días julianos, con el 20% de ocurrencia de heladas, porcentaje que se adapta a las condiciones de presencia de heladas en Colombia.

4.2 Probabilidad de ocurrencia de la primera y la última helada en algunos municipios de Colombia y Periodo Libre de Heladas (PLH)

En los gráficos 68 – 74, vemos la metodología de Periodo Libre de Heladas en 7 municipios representativos de Colombia ubicados en los departamentos de Cundinamarca, Nariño y Cauca; se aprecia para el departamento de Cundinamarca un PLH promedio de 188 días, explicándose por la mayor presencia de heladas entre los meses de Diciembre hasta mediados de febrero, contrastando la estación de Ipiales en Nariño, con gran presencia de heladas durante los meses de julio-agosto-septiembre lo que ocasiona un PLH de 82 días.

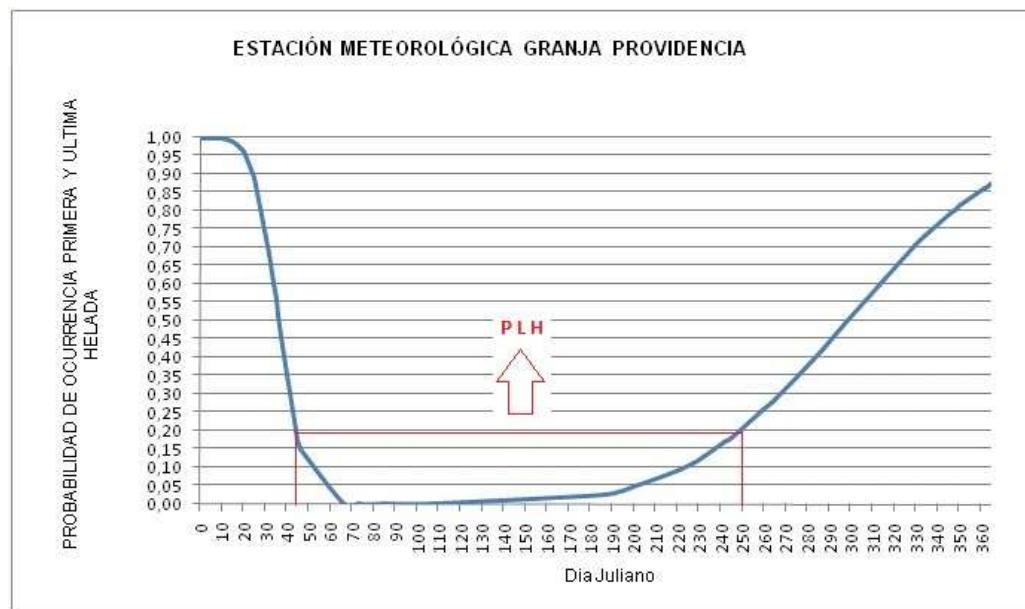


Grafico 69. Probabilidad de ocurrencia de la primera y última helada; estación Granja Providencia
TENJO – CUNDINAMARCA
PLH (205 días)

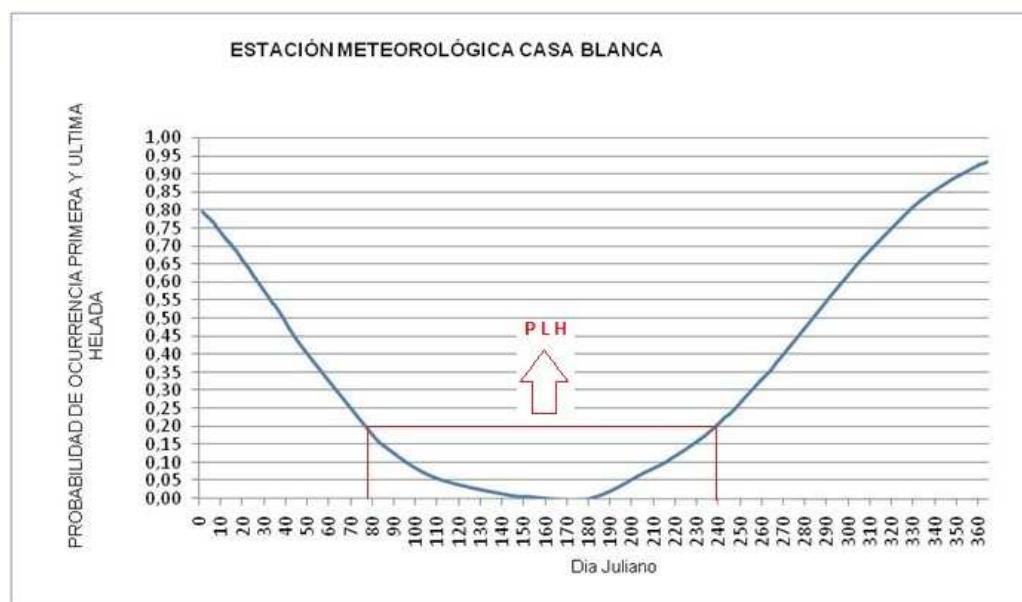


Grafico 70. Probabilidad de ocurrencia de la primera y última helada; estación Casa Blanca
MADRID – CUNDINAMARCA
PLH (164 días)

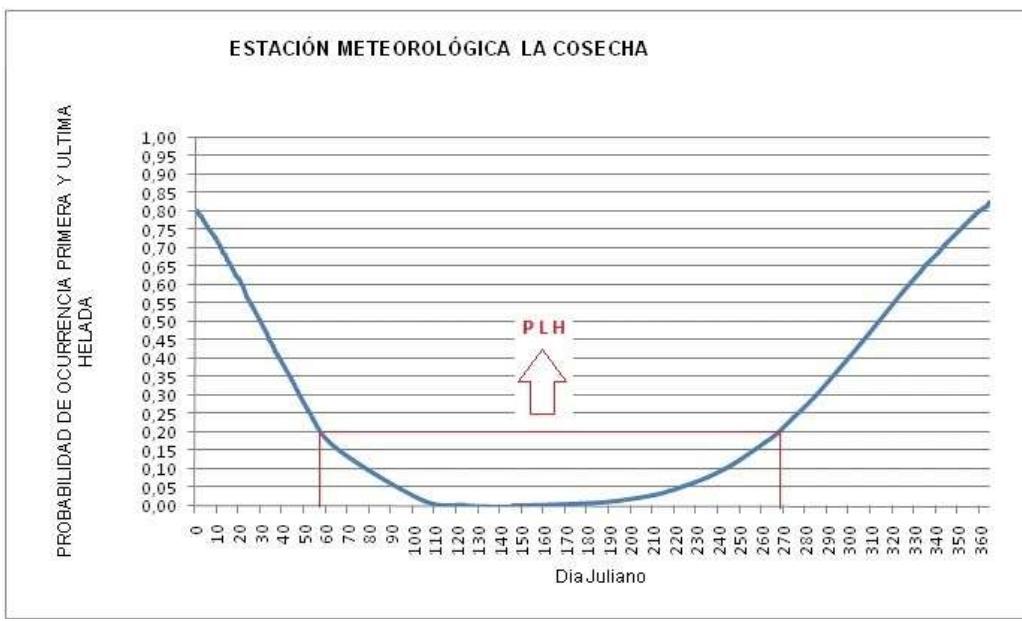


Grafico 71. Probabilidad de ocurrencia de la primera y última helada; estación La Cosecha
ZIPAQUIRA – CUNDINAMARCA
PLH (209 días)

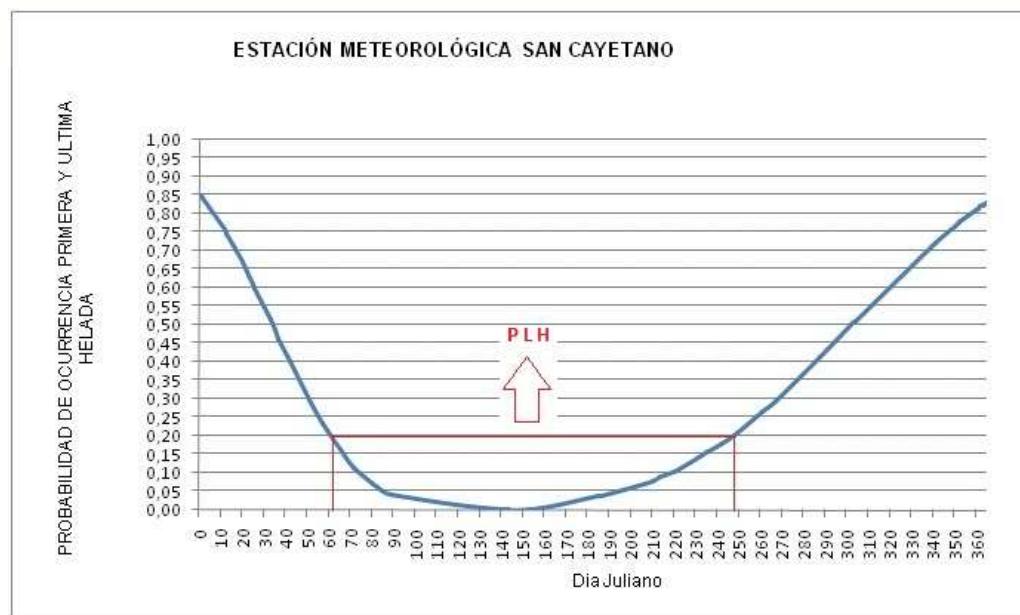


Grafico 72. Probabilidad de ocurrencia de la primera y última helada; estación San Cayetano
SUBACHOQUE – CUNDINAMARCA
PLH (185 días)

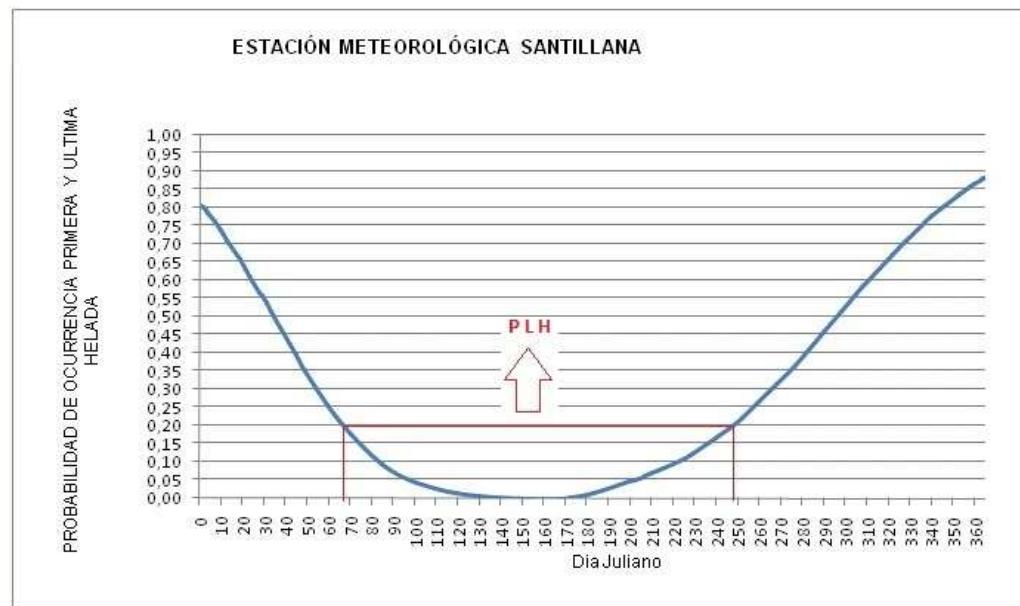


Grafico 73. Probabilidad de ocurrencia de la primera y última helada; estación Santillana
TABIO – CUNDINAMARCA
PLH (180 días)

ESTACIÓN METEOROLÓGICA APTO SAN LUIS, IPIALES

PROBABILIDAD DE OCURRENCIA PRIMERA Y ÚLTIMA
HELADA

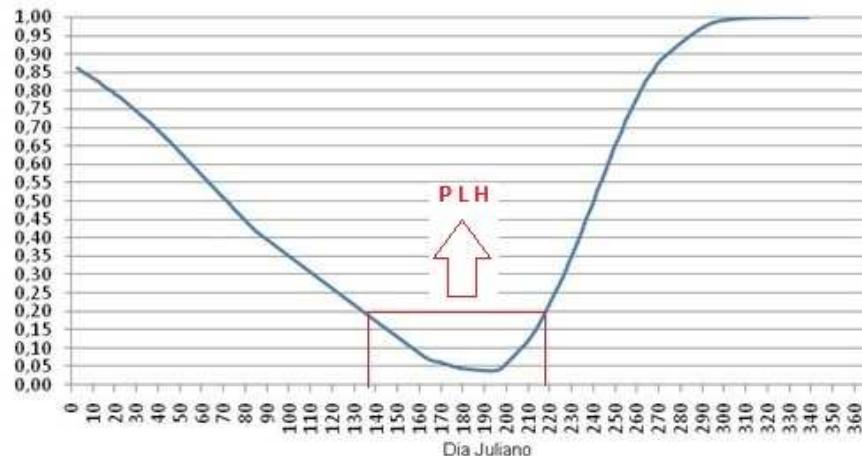


Grafico 74. Probabilidad de ocurrencia de la primera y última helada; estación Aeropuerto San Luis
IPIALES – NARIÑO
PLH (82 días)

ESTACIÓN METEOROLÓGICA SAN SEBASTIAN

PROBABILIDAD DE OCURRENCIA PRIMERA Y ÚLTIMA
HELADA

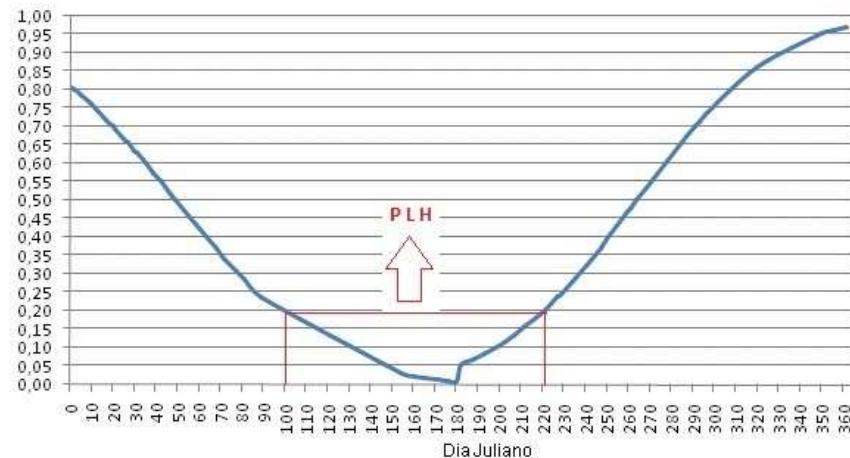
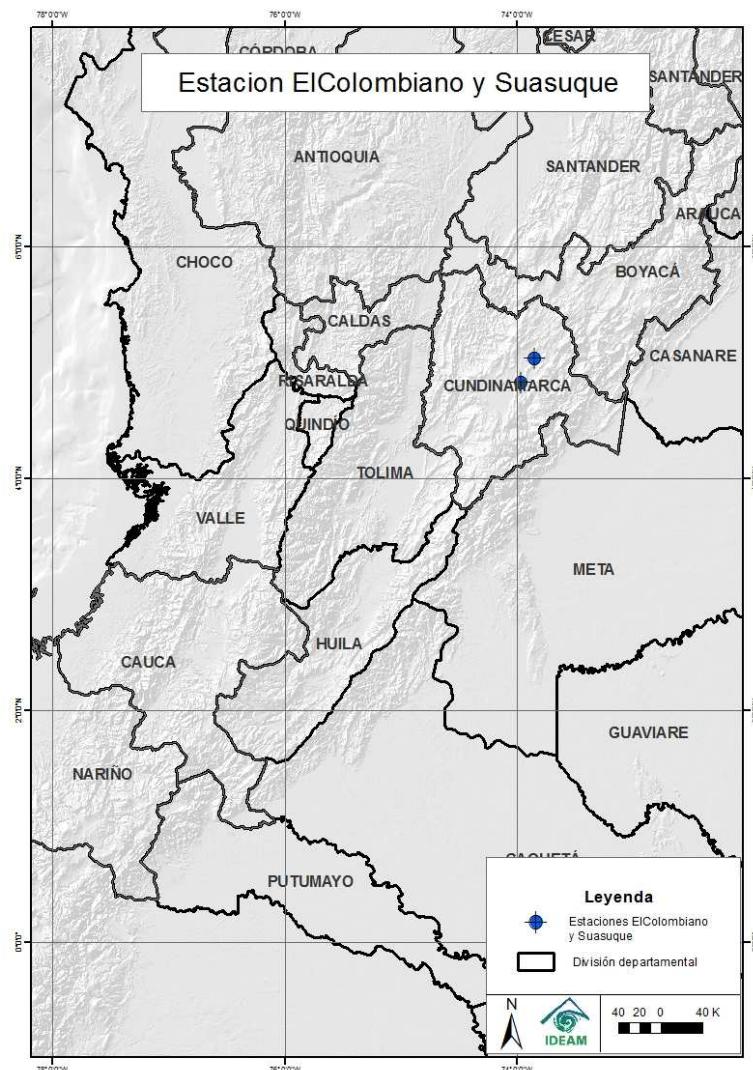


Grafico 75. Probabilidad de ocurrencia de la primera y última helada; estación San Sebastian
SAN SEBASTIAN – CAUCA
PLH (118 días)

5. ESCENARIOS DE AFECTACION DE LA TEMPERATURA MINIMA BAJO EL FENOMENO ENOS

5.1 Área de estudio

Con el objetivo de dar a conocer en la escala trimestral la influencia de fenómeno El Niño y la Oscilación del sur (ENOS, (J.E Montealegre Bocanegra)), en el comportamiento de las temperaturas mínimas y que éste sea un punto de partida para estudios más especializados, fue utilizada la herramienta de análisis compuesto Jaziku 0.51 (Sánchez Rodríguez I.C. y Llano X.C), desarrollada por la subdirección de meteorología con dos casos de estudio específicos. La información utilizada fue de las series de temperatura mínima mensual en las estaciones ElColombiano y Suasuque ubicadas en el departamento de Cundinamarca en los municipios de Sesquile y Sopo. (Ver mapa 3)



Mapa 3. Ubicación de las estaciones ElColombiano y Suasuque. Fuente: IDEAM, 2012

5.2 Marco metodológico

Una primera selección se dio de la información disponible de las series referenciadas en la Tabla 4, de allí se seleccionaron 8 estaciones las cuales cumplían con menos del 7% de información faltante, después se evaluó su homogeneidad con test paramétrico (Mann Witney Wilconxon, test de F de Fisher y Runtest, (Daniel S. Wilks)), encontrándose que las que cumplían con estabilidad en mediana y varianza eran las correspondientes a los códigos 2120585 (ElColombiano) y 2120592 (Suasque). En el grafico 76 se aprecia el registro de las temperaturas mínimas de las 2 estaciones escogidas en el periodo 1978 – 2011.

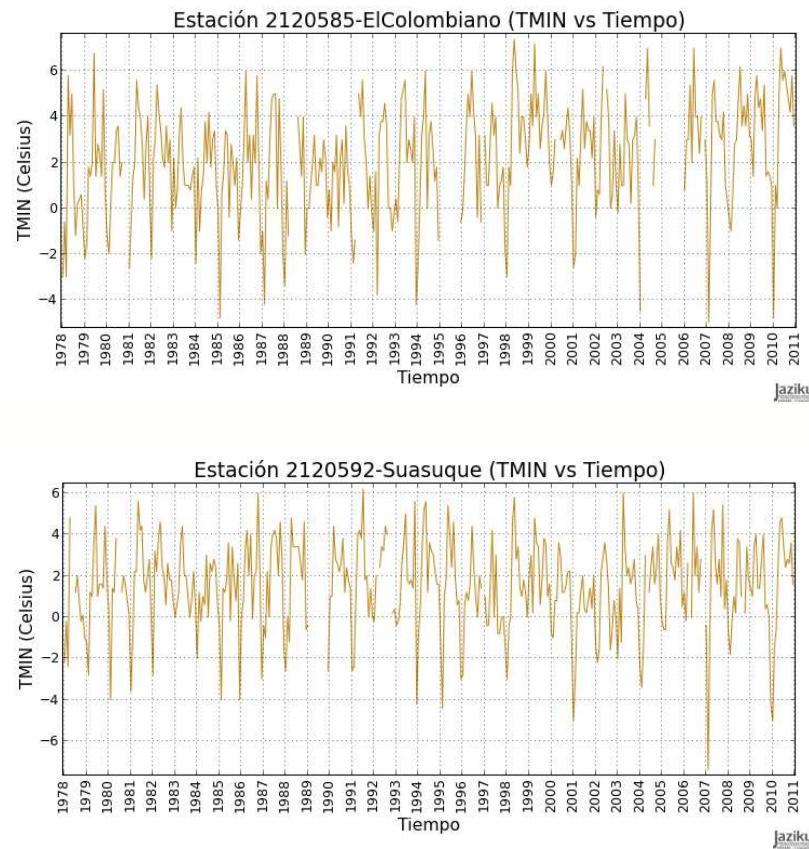


Grafico 76. Temperaturas mínimas serie (1978 – 2011) en la estación de ElColombiano y Suasque. Elaborado con: Jaziku is statistical inference software for the teleconnections analysis, (version 0.5.1). (2012) IDEAM, Colombia. Jaziku is a free and open source software GPLv3.<http://hg.ideam.gov.co:8000/meteorologia/jaziku/summary>

El grafico 77 presenta los diagramas de cajas y la Tabla 7 los valores atípicos en relación al índice ONI (Oceanic Niño Index (J.M. Guevara Díaz)). De acuerdo a esta información es posible notar que los valores atípicos se concentran en las temperaturas más bajas, lo cual es algo bastante esperado más si se está tratando el tema de heladas para corroborar que estos datos atípicos no fueran errores se revisó el promedio de precipitación mensual

encontrándose que coincidían en la mayoría de los casos en períodos con precipitación por debajo de lo normal, exceptuando los meses influenciados por el fenómeno de La Niña.

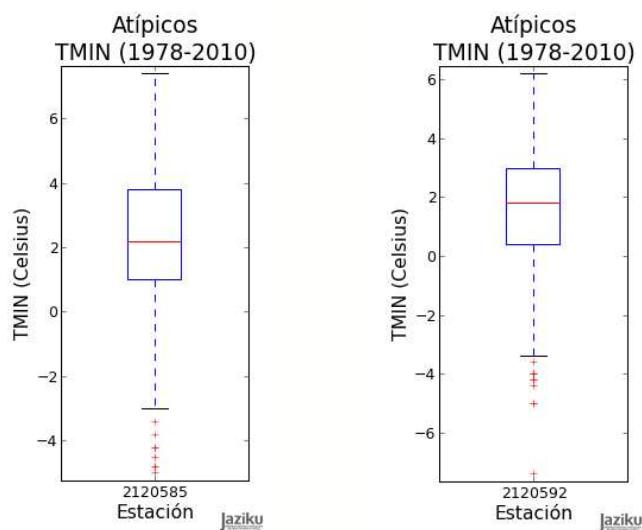


Grafico 77. Rango de valores atípicos en la estación de El Colombiano y Suasque. Elaborado con: Jaziku is statistical inference software for the teleconnections analysis, (version 0.5.1). (2012) IDEAM, Colombia. Jaziku is a free and open source software
GPLv3.<http://hg.ideam.gov.co:8000/meteorologia/jaziku/summary>

Tabla 7. Fecha de ocurrencia de los valores atípicos en relación al índice ONI (Oceanic Niño Index). Elaborado con: Jaziku is statistical inference software for the teleconnections analysis, (version 0.5.1). (2012) IDEAM, Colombia. Jaziku is a free and open source software
GPLv3.<http://hg.ideam.gov.co:8000/meteorologia/jaziku/summary>

ElColombiano código 2120585					Suasque código 2120592						
Neutro		Fecha	01/02/2007	01/01/2004	01/12/1993	Neutro		Fecha	01/12/1993	01/02/1980	01/12/1985
		Tmin(°C)	-5	-4,5	-4,2			Tmin(°C)	-4,2	-4	-4
ElNiño	Fecha	01/01/2010	01/02/1987	01/03/1992	ElNiño	Fecha	01/01/2010	01/02/1995	01/12/2009		
	Tmin(°C)	-4,8	-4,2	-3,8		Tmin(°C)	-5	-4,4	-4,2		
LaNiña	Fecha	01/02/1985			LaNiña	Fecha	01/01/2001	01/02/1985			
	Tmin(°C)	-4,8				Tmin(°C)	-5	-4			

Un análisis de la climatología promedio mensual multianual en los períodos 1978 – 2010 para ambas estaciones, fue realizado con el objetivo de determinar las épocas de temperaturas mínimas extremas (heladas). Finalmente fueron calculados los escenarios de afectación por la metodología del análisis compuesto (Sanchez Rodriguez I.C y Llano X.C.) con categorías para la variable independiente (ONI (J.M. Guevara Díaz)), El Niño, La Niña y Neutro (anomalías -0,5 – 0,5 °C) mientras que para la variable dependiente (series de Temperatura mínima) los percentiles 33 y 66 del total de la serie, etiquetando por encima de lo normal valores por encima del percentil 66 y por debajo de lo normal valores por debajo del percentil 33.

5.3 Análisis de resultados

El grafico 77 presenta la climatología promedio mensual multianual de las 2 series analizadas. Para la estación ElColombiano, el régimen resulta ser bimodal con valores mínimos entre Enero, Diciembre y Septiembre, y valores más altos para Mayo y Octubre los valores promedio oscilan entre -1 °C y 4,5 °C aproximadamente, sin embargo su variabilidad oscila entre -4,5 – 7 °C siendo los meses con mayor variabilidad Febrero y Diciembre, para los que la temperatura mínima promedio puede variar hasta en 5°C, por otro lado, el mes de menor variabilidad es Septiembre con una oscilación de 2,6°C, en relación a la anomalía de la estación Suasuque encontramos un régimen bimodal de las mismas características que la estación ElColombiano, pero en este caso el mes de mayor variabilidad solo es Febrero.

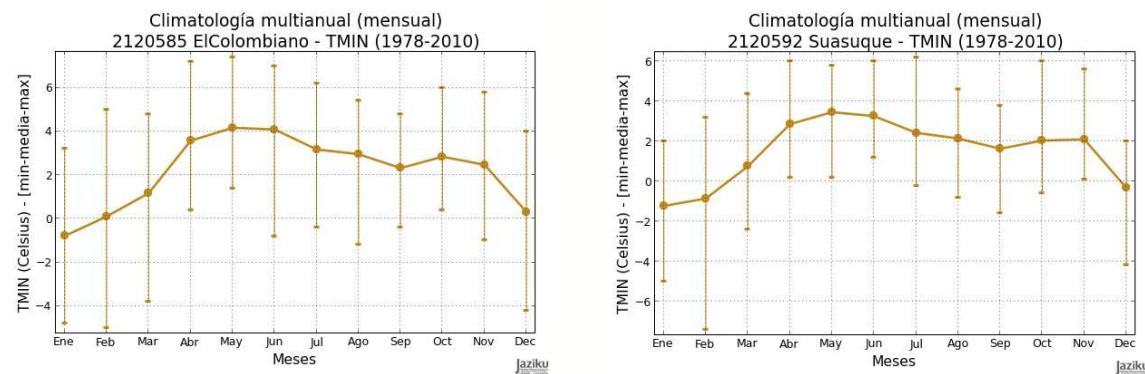
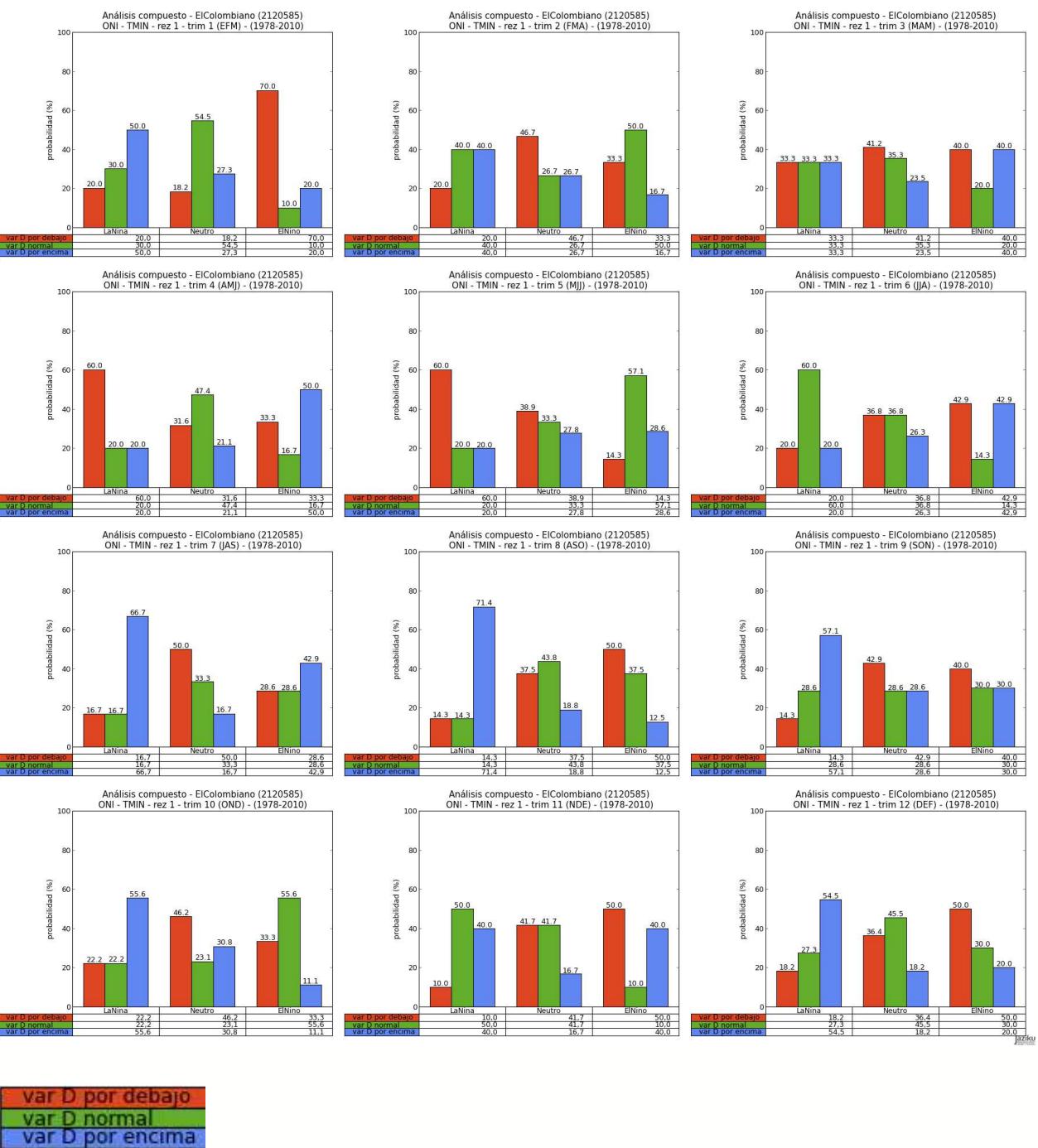
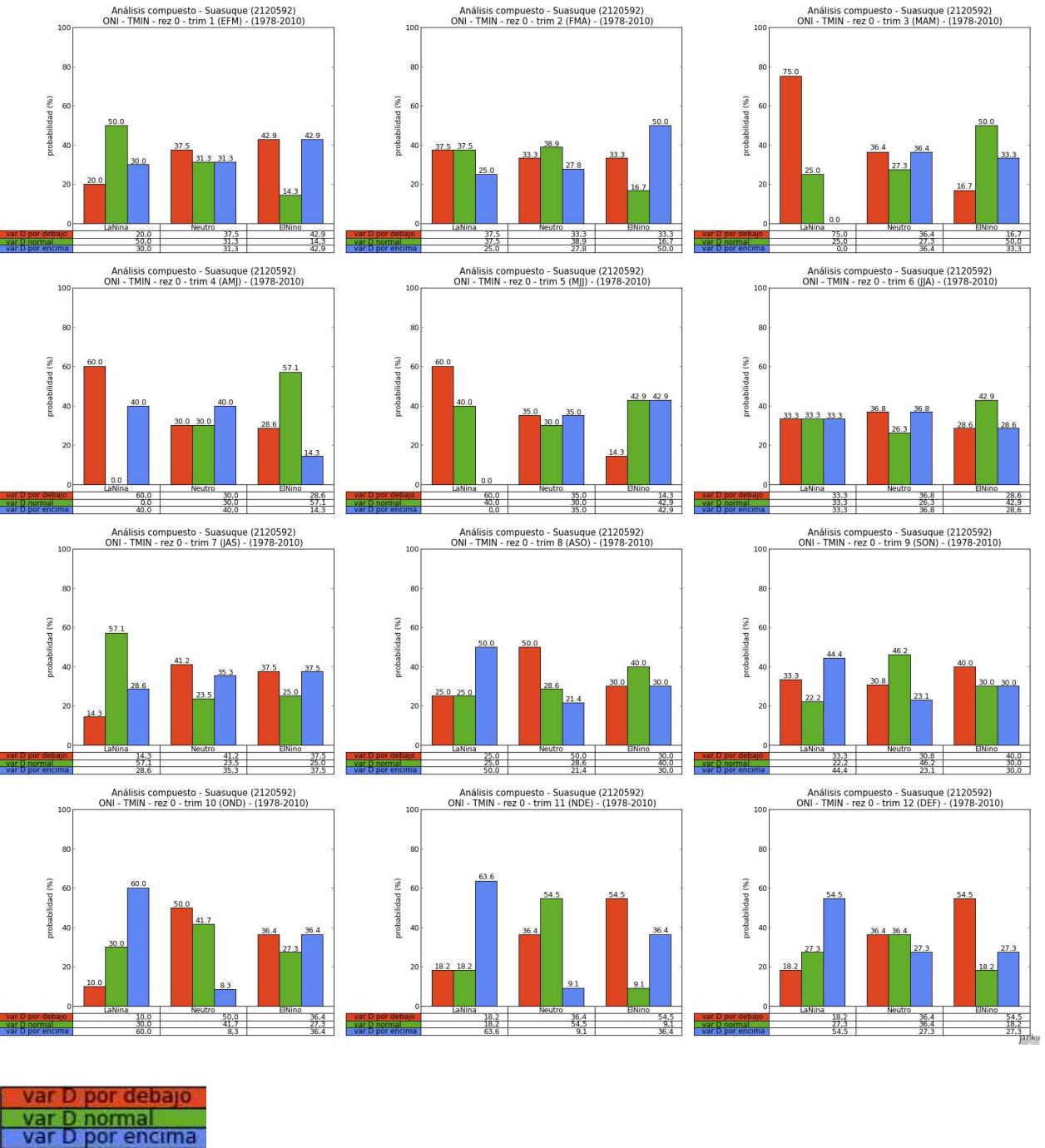


Grafico 77. Promedio mensual multianual y variabilidad de la temperatura mínima en las estaciones de ElColombiano y Suasuque periodo (1978 – 2010). Elaborado con: Jaziku is statistical inference software for the teleconnections analysis, (version 0.5.1). (2012) IDEAM, Colombia. Jaziku is a free and open source software GPLv3.<http://hg.ideam.gov.co:8000/meteorologia/jaziku/summary>

En los anexos 1 al 4 son presentados los escenarios de afectación de la variable Temperatura Mínima bajo las distintas fases del fenómeno ENOS, en relación a cada uno de los trimestres del año y con información rezagada de la variable independiente (índice ONI) a 0 y 1 trimestre, esto significa que cuando se está hablando de 0 rezagos la categorización de los promedios mensuales de temperatura de un trimestre X_i se hizo en comparación con el valor del índice ONI del mismo trimestre X_i , en cambio, cuando se habla de un rezago diferencia la intercomparacion se hizo con el valor del índice ONI del trimestre X_{i-1} , en efecto, este tipo de resultados permiten establecer relaciones causales entre el comportamiento de la temperatura mínima y el índice ONI de manera inmediata y a un trimestre diferente (J.M. Guevara Díaz)

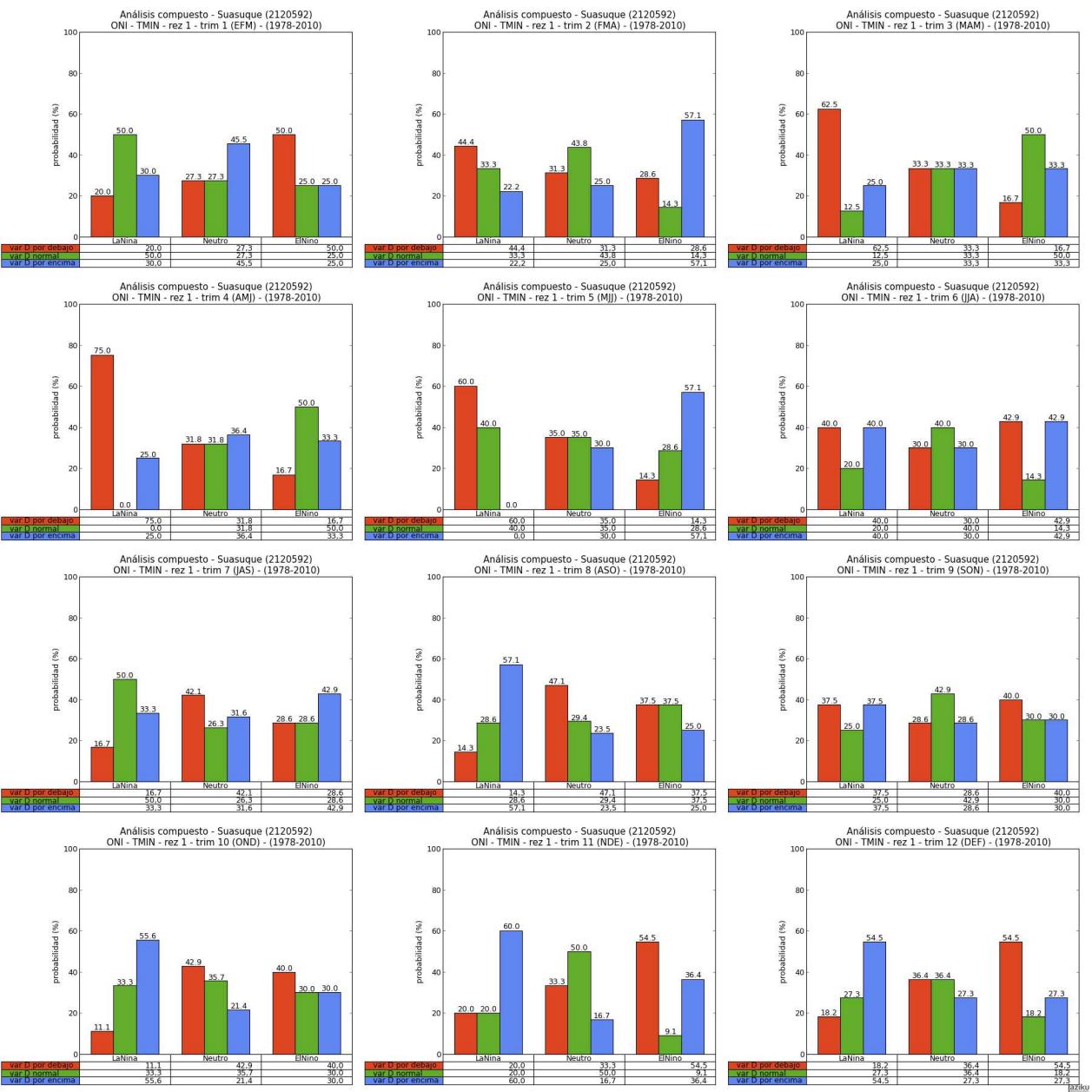


Anexo 2. Afectación de la variable Temperatura Mínima bajo las distintas fases del fenómeno ENOS, **rezago 1**, en la estación de ElColombiano. Elaborado con: Jaziku is statistical inference software for the teleconnections analysis, (version 0.5.1). (2012) IDEAM, Colombia. Jaziku is a free and open source software GPLv3. <http://hg.ideam.gov.co:8000/meteorologia/jaziku/summary>



Anexo 3. Afectación de la variable Temperatura Mínima bajo las distintas fases del fenómeno ENOS, **rezago 0**, en la estación de Suasque. Elaborado con: Jaziku is statistical inference software for the teleconnections analysis, (version 0.5.1). (2012) IDEAM, Colombia.

Jaziku is a free and open source software GPLv3.<http://hg.ideam.gov.co:8000/meteorologia/jaziku/summary>



var D por debajo
var D normal
var D por encima

Anexo 4. Afectación de la variable Temperatura Mínima bajo las distintas fases del fenómeno ENOS, **rezago 1**, en la estación de ElColombiano. Elaborado con: Jaziku is statistical inference software for the teleconnections analysis, (version 0.5.1). (2012) IDEAM, Colombia. Jaziku is a free and open source software GPLv3. <http://hg.ideam.gov.co:8000/meteorologia/jaziku/summary>

5.3.1 Fase El Niño.

En términos generales se espera que bajo condiciones El Niño los eventos de precipitación desciendan de manera significativa y que esto esté asociado con descensos de la Temperatura mínima, lo cual podría propiciar heladas de radiación (ver 1.2.3 Helada por Radiación), no obstante este comportamiento no siempre se da de tal forma, en el Anexo 1 se observa que bajo condiciones El Niño para el área comprendido por la estación ElColombiano, la mayor cantidad de los casos con temperaturas por debajo de lo normal bajo fase El Niño se da para los trimestres DEF y EFM (Diciembre-Enero-Febrero y Enero-Febrero-Marzo), lo que de hecho es coincidente con la fase de temperaturas más bajas de acuerdo a la climatología.

Otro comportamiento que resalta bajo condiciones El Niño es lo observado en los trimestres MAM y JJA, en estos trimestres que son de transición al trimestre con mayor precipitación (AMJ siendo el mes de mayores precipitaciones abril) y al mes de la segunda temporada con temperaturas mínimas más bajas (septiembre), indica que en los 32 años de análisis en promedio entre un 50 y un 57% de los casos la temperatura mínima ha estado por encima de lo normal aun cuando la fase ha sido El Niño, lo que indica que es bastante probable que para los trimestres menos extremos del comportamiento climatológico de la temperatura mínima, para la estación ElColombiano no se vean afectados de manera tan severa por un calentamiento en la temperatura superficial del océano Pacífico tropical.

Por otro lado, en la estación Suasque los trimestres para los cuales se ha observado que la temperatura mínima es más baja que lo normal son: NDE y DEF, con probabilidades que están alrededor del 55% de los casos, además no son encontrados comportamientos de la variable por encima de lo normal de manera significativa en otros trimestres.

Cuando la información es transferida a un rezago de diferencia se encuentra que la temperatura mínima se ha encontrado por debajo de lo normal con mayor frecuencia, en la estación de ElColombiano en el trimestre EFM cambiando de un 50% (a 0 rezagos) de los casos a un significativo 70%, además aparece el trimestre ASO y NDE con respuesta por encima del 40% de los casos con temperaturas que se han ubicado por debajo de lo normal, también cabe resaltar que en los trimestres MAM y JJA desaparece la tendencia de temperaturas mínimas por encima de lo normal observado a 0 rezagos, estas 2 tendencias claras indican que el comportamiento de las temperaturas superficiales del mar en relación a índices ONI positivos tienen mayor afectación cuando se transfieren a un rezago diferente. Del mismo modo, para la estación Suasque comienza a ser significativo el trimestre EFM para temperaturas por debajo de lo normal, con probabilidades de un 50% de los casos, además bajo el mismo periodo de fase cálida del fenómeno ENOS aparece una tendencia por encima de lo normal en los trimestres MJJ y FMA (solo observado a 0 rezagos en este último) con valores del 57% de los casos.

5.3.2 Fase Neutra.

Si el fenómeno ENOS fuera el único forzante de la variabilidad de la temperatura mínima en las series de las estaciones de estudio debería pensarse que no hayan comportamientos significativos de afectación a 0 y 1 rezago de diferencia bajo condiciones neutrales en los escenarios mostrados en los anexos 1 y 2, no obstante, este no es un patrón general, por ejemplo a 0 rezago de diferencia en los trimestres JAS, ASO y OND se encuentra la variable de temperatura mínima se ha mantenido por debajo de lo normal en un 50% de los casos para las 2 estaciones, esta misma tendencia prevalece a un rezago de diferencia pero con descenso en la cantidad de los casos. Podría decirse que son sugeridos estudios que permitan indagar la razón de este comportamiento ya que esto indica que dentro de

la escala climatológica, existen otros fenómenos no necesariamente relacionados con el fenómeno de El Niño que pueden estar forzando la aparición de heladas en los últimos trimestres del año.

5.3.3 Fase La Niña.

De acuerdo al capítulo 1 del presente documento, periodos para los cuales se dan mayores eventos de precipitación que están estrechamente relacionados con aumentos significativos de valores de humedad relativa no son favorables para la ocurrencia de heladas de radiación, esto claramente se ve observado a 0 rezagos para la estación ElColombiano, durante los trimestres JAS, ASO y OND en los cuales entre un 55% hasta un 73% de los casos la temperatura mínima se ha mantenido por encima de lo normal y con menor probabilidad para los trimestres SON y DEF (59% y 54%) esta tendencia prevalece a 1 rezago de diferencia. Otra tendencia clara de descenso de la temperatura mínima a condiciones por debajo de lo normal cuando el índice ONI indica una fase de La Niña, es observada a 0 rezagos de diferencia en los trimestres MAM, AMJ y MJJ entre un 50 y 60% de los casos y con tendencia transferida únicamente a 1 rezago de diferencia aunque con disminución de las probabilidades.

Respecto a este comportamiento, podría concluirse que para la estación de ElColombiano bajo el fenómeno de La Niña no deberían esperarse heladas o descensos significativos de la temperatura mínima en el segundo semestre del año, pero que el análisis compuesto ha indicado con probabilidades por encima del 50% si podrían darse durante los meses de abril y mayo más aun si la fase es simultanea.

Para la estación de Suasque el comportamiento generalizado de descenso de la temperatura mínima por debajo de lo normal observado entre los trimestres Marzo a Mayo en la estación ElColombiano también se da, pero con probabilidades que alcanza incluso el 75% de los casos con información transferida a 1 rezago de diferencia, no obstante la tendencia de aumento de la temperatura mínima que se observó en el segundo semestre para la estación ElColombiano, si bien también es observada para la estación de Suasque los valores de la cantidad de casos son inferiores siendo los trimestres más significativos OND y NDE prevaleciendo incluso a 1 rezago de diferencia.

Puesto que se encuentra que el comportamiento en el primero y segundo de las series de temperatura mínima de las 2 estaciones respecto al índice ONI son muy cercanos y además se encuentra que aun existiendo una fase La Niña durante los 32 años de análisis en la escala trimestral han existido casos en que la temperatura mínima se mantuvo por debajo del percentil 33 que en efecto pueden favorecer la presencia de heladas, son sugeridos estudios que permitan determinar la relación física de las variables meteorológicas en los trimestres MAM, AMJ y MJJ.

6. CASO DE ESTUDIO – HELADA DE FEBRERO DE 2007

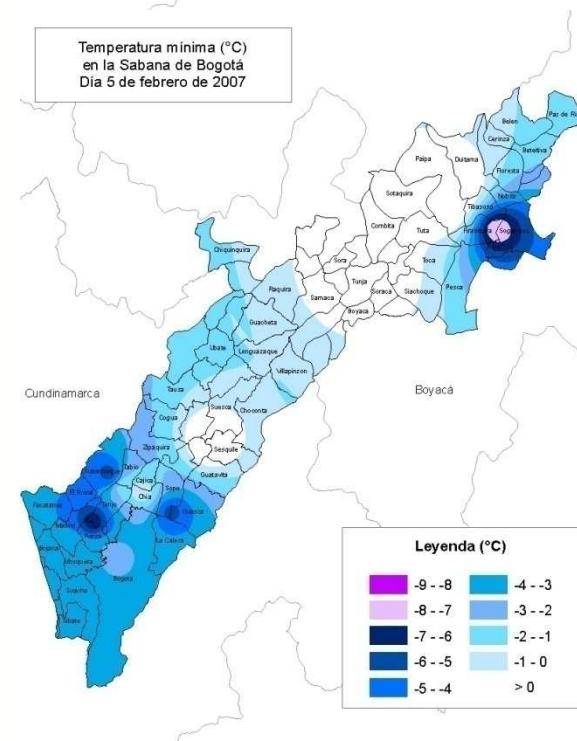
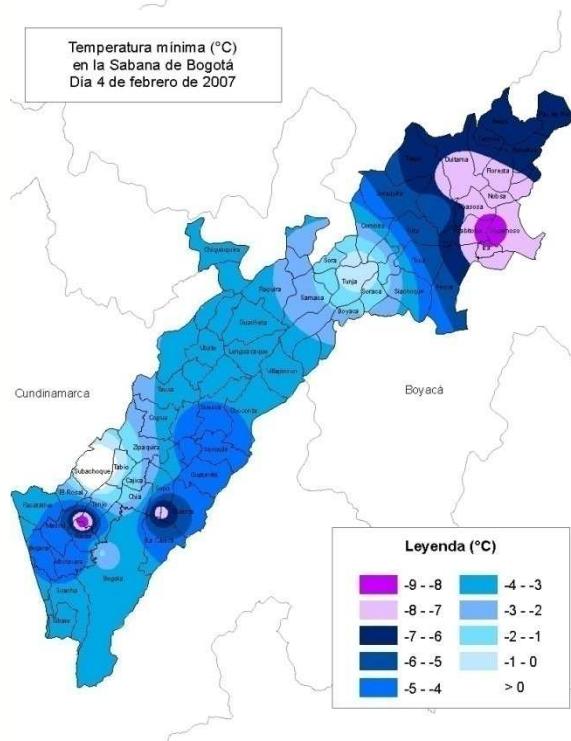
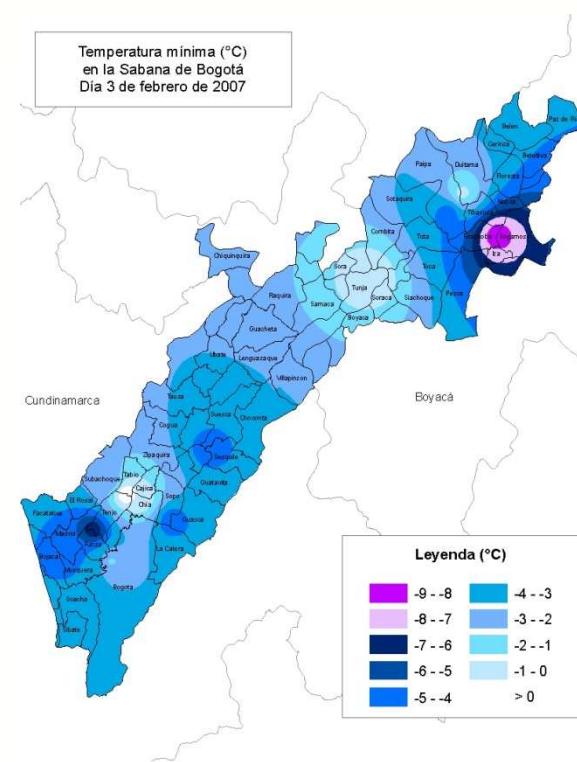
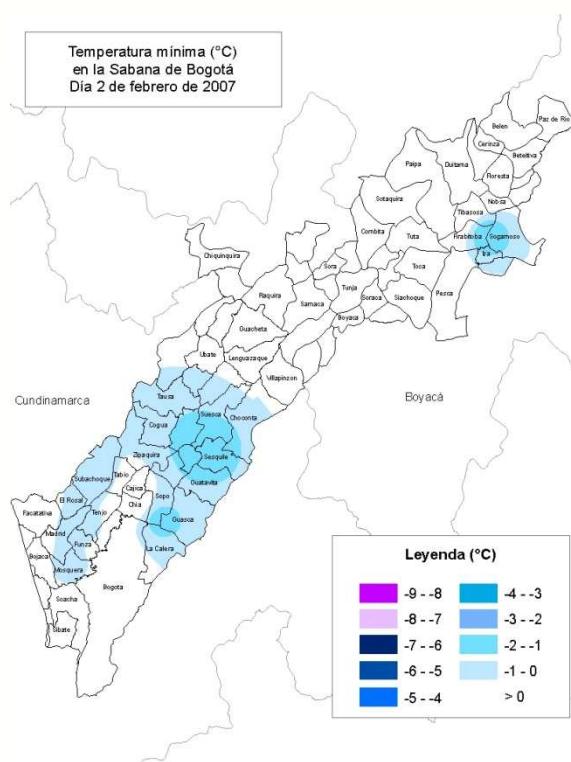
En la primera temporada seca del año, específicamente durante la primera década de febrero de 2007, se registraron heladas en varios sitios de Colombia, en los que se puede mencionar: la Sabana de Bogotá, el Altiplano Cundiboyacense y sectores de los departamentos de Antioquia y Nariño (ver Tabla 5). Entre los días 3 y 5 de febrero el fenómeno alcanzó características severas, causando daños en cultivos (ver Mapa 3).

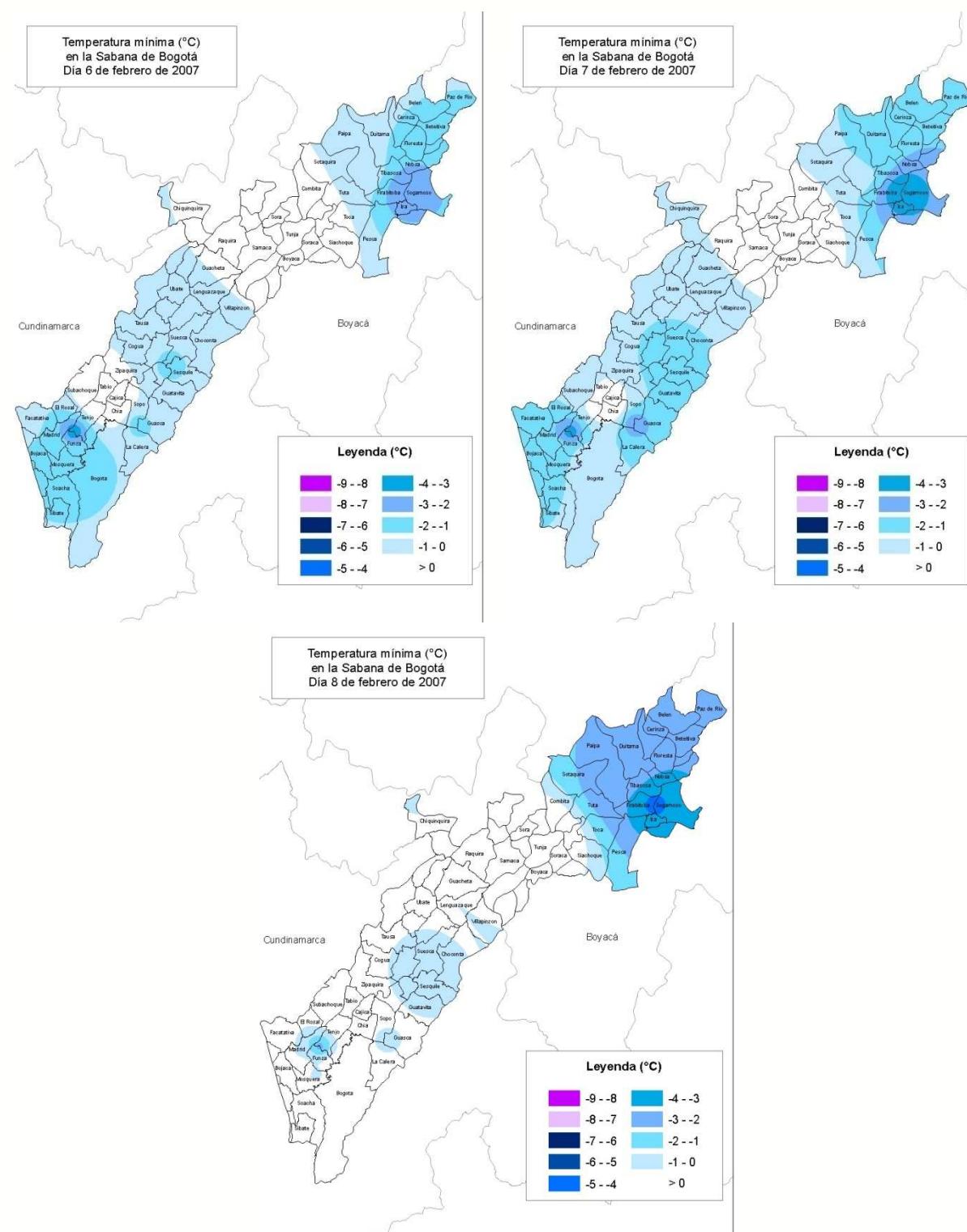
6.1 Registro de la temperatura mínima entre los días 1 y 10 de febrero de 2007

El evento se caracterizó por ser intenso (temperaturas menores a -4° C) y persistente (9 días continuos en algunos sitios). La helada alcanzó la mayor intensidad y gran extensión en la Sabana de Bogotá, el 4 de febrero de 2007 (ver Mapa 3). Los valores de temperatura mínima más extremos se registraron en el municipio de Tenjo, con -8.8° C el día 4 de febrero y en Sogamoso con -8.6° C el día 3 de febrero (ver Tabla 6).

Tabla 8. Temperaturas mínimas registradas en los primeros días del mes de febrero de 2007, en varios sitios de Colombia. Fuente: IDEAM, 2007.

Estación	Municipio	Departamento	Valores de Tmin (°C) - Febrero de 2007									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Apto Eldorado P1-	Bogotá	Cundinamarca	3	1,7	-1,9	-1,9	-2,4	-1,4	0	3,3	4,3	3,9
Granja Providencia	Tenjo	Cundinamarca	2	-1,8	-6,8	-8,8	-7	-3,8	-3,6	-2,2	-0,2	0,6
Tibaitatá	Mosquera	Cundinamarca	2	-1,8	-3,4	-4,6	-3,2	-1,2	-1	-0,2	2	4,2
Santillana	Tabio	Cundinamarca	5,4	1,8	1	-1	-1	2,4	1,4	1	4,8	5
Suasúque	Sopo	Cundinamarca	0	-2,6	-4,8	-7,4	-5,4	-1,4	-2,8	-0,4	3,8	5,2
Tachi	Subachoque	Cundinamarca	2,8	-1,6	-3	4,3	-5,6	0,2	-1	1,5	3,4	2
Villa Inés	Facatativá	Cundinamarca	4,6	0	-4	-3,8	-4	-0,6	-1	1	3,4	5
Casablanca	Madrid	Cundinamarca	2,3	-1	-5	-4	-3	-1	-1,4	0,2	3,4	5
Guanata	Chía	Cundinamarca	4	-6	0	-1,8	0	1,4	1,5	2	6,2	
Colombiano El	Sesquilé	Cundinamarca	3	-3	-4,4	-5	1,8	-1,2	-1,8	-1	5,2	
Apto A Lleras C	Sogamoso	Boyacá	-2,6	-3	-8,6	-8,4	-7,8	-2,8	-4	-4,2	-3,8	2
Surbata Bonza	Duitama	Boyacá	4,2	3,2	-0,7	-8	1,1		-1,4	-2,2		4,4
U P T C	Tunja	Boyacá	8,2	6,2		-0,4	1,8	2,6	2,8	2,4	7	5,2
Tunguavita	Paipa	Boyacá	4	2	-4,4	-5,2	2	-0,4	-0,4	-3	3	3,4
Apto San Luis	Ipiales	Nariño	3,4	2	1,4	1,2	-0,8	-0,2	0,6	0	1,6	5,4
Aragón	San Rosa	Antioquia	6,2	6,7	5,3	1,1	3,7	1,4	5,2	2	4,9	4,7





Mapa 4. Distribución espacial de la temperatura mínima en la Sabana de Bogotá y el Altiplano Cundiboyacense, durante el periodo: 2 al 8 de febrero de 2007. Fuente: IDEAM, 2012

6.2 Duración del fenómeno de heladas (horas) en el municipio de Nemocon – Cundinamarca, entre los días 2 y 7 de febrero de 2007

La duración de la helada fue de aproximadamente entre cuatro y seis horas, como se observó en la estación de Hacienda Santa Ana ubicada en el municipio de Nemocón - Cundinamarca (ver Gráfico 68); además, se puede observar que durante los días en que se registraron los valores más bajos de temperatura mínima también se obtuvieron los más altos de la temperatura máxima 23 – 24 °C. Estas variaciones en los extremos con una considerable amplitud (ver Gráfico 68), especialmente durante los períodos secos del año, constituye una característica de la presencia de heladas.

Estacion Hacienda Santa Ana NEMOCON - CUNDINAMARCA	
Dia / Hora	Tmin
02/02/2007 02:00	-1,8
02/02/2007 03:00	-2,9
02/02/2007 04:00	-3,1
02/02/2007 05:00	-3,2
02/02/2007 06:00	-3,8
02/02/2007 07:00	-2,8
03/02/2007 02:00	-0,4
03/02/2007 03:00	-1,5
03/02/2007 04:00	-3,6
03/02/2007 05:00	-2,6
03/02/2007 06:00	-3,2
03/02/2007 07:00	-2,7
04/02/2007 01:00	-1
04/02/2007 02:00	-2,5
04/02/2007 03:00	-3,3
04/02/2007 04:00	-3,6
04/02/2007 05:00	-2,8
04/02/2007 06:00	-3,8
04/02/2007 07:00	-3,6
05/02/2007 01:00	-1,2
05/02/2007 02:00	-1,5
05/02/2007 03:00	-1,7
05/02/2007 04:00	-1,9
05/02/2007 05:00	-1,8
05/02/2007 06:00	-1,5
06/02/2007 02:00	-0,4
06/02/2007 03:00	-0,9
06/02/2007 04:00	-0,7
06/02/2007 05:00	-3,1
06/02/2007 06:00	-3,4
06/02/2007 07:00	-2,1
07/02/2007 04:00	-2
07/02/2007 05:00	-1,6
07/02/2007 06:00	-2,4
07/02/2007 07:00	-2,3

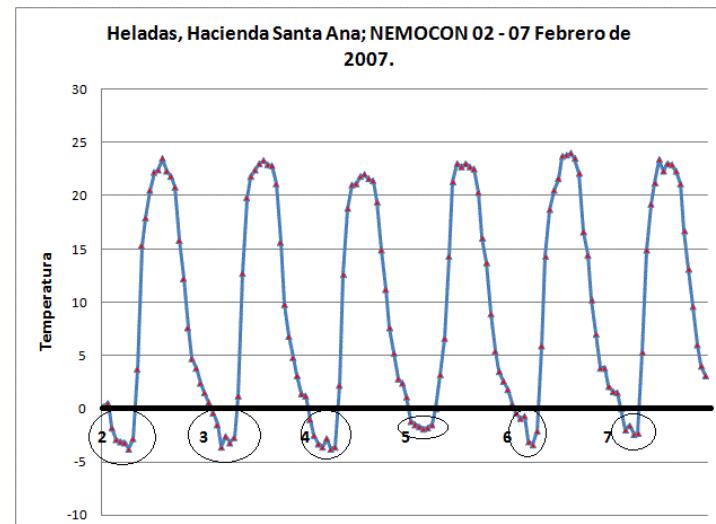


Grafico 78. Temperaturas mínimas presentadas en la estación Hacienda Santa Ana, ubicada en el municipio de Nemocón – Cundinamarca, durante los días 2,3,4,5,6 y 7 de febrero de 2007. Fuente: IDEAM, 2012.

6.3 Temperatura mínima registrada en la Sabana de Bogotá y algunos municipios de Boyacá entre los días 1 y 23 de 2007

En el evento de la helada de febrero de 2007, se superaron los valores históricos de las temperaturas mínimas en varios sitios de Cundinamarca y Boyacá (ver Gráficos 69 y 70). Es así que en el municipio de Tenjo, en Cundinamarca, se superó la mínima absoluta de -7.2 °C (de Febrero de 1995) con -8.8 °C el día 4 de febrero de este año; así mismo, ocurrió en Sopo y Subachoque. En Sopo, se registraron temperaturas mínimas de -7.4 °C y -5.4 °C los días 4 y 5 de febrero respectivamente, mayor que lo históricamente presentado en enero de 2001; así mismo, en Subachoque se registró una temperatura mínima absoluta de -5.6 °C el día 4 de febrero, que superó el valor históricamente registrado de -4.2 °C. En Boyacá, en el municipio de Duitama, el día 4 de febrero, se presentó la helada más severa históricamente ocurrida; mientras que en Sogamoso estuvo con valores cercanos al absoluto ocurrido en febrero de 1995.

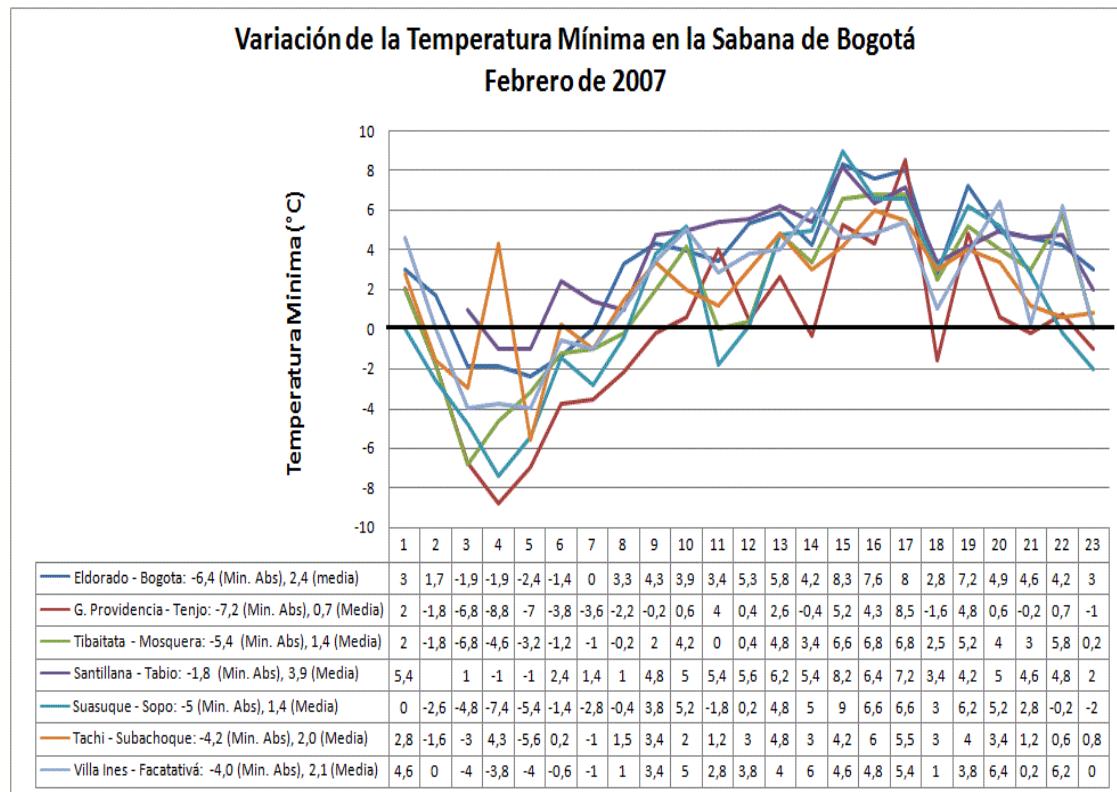


Grafico 79. Temperatura mínima registrada en la Sabana de Bogotá, periodo: 1-23 de febrero de 2007. Fuente: IDEAM, 2012.

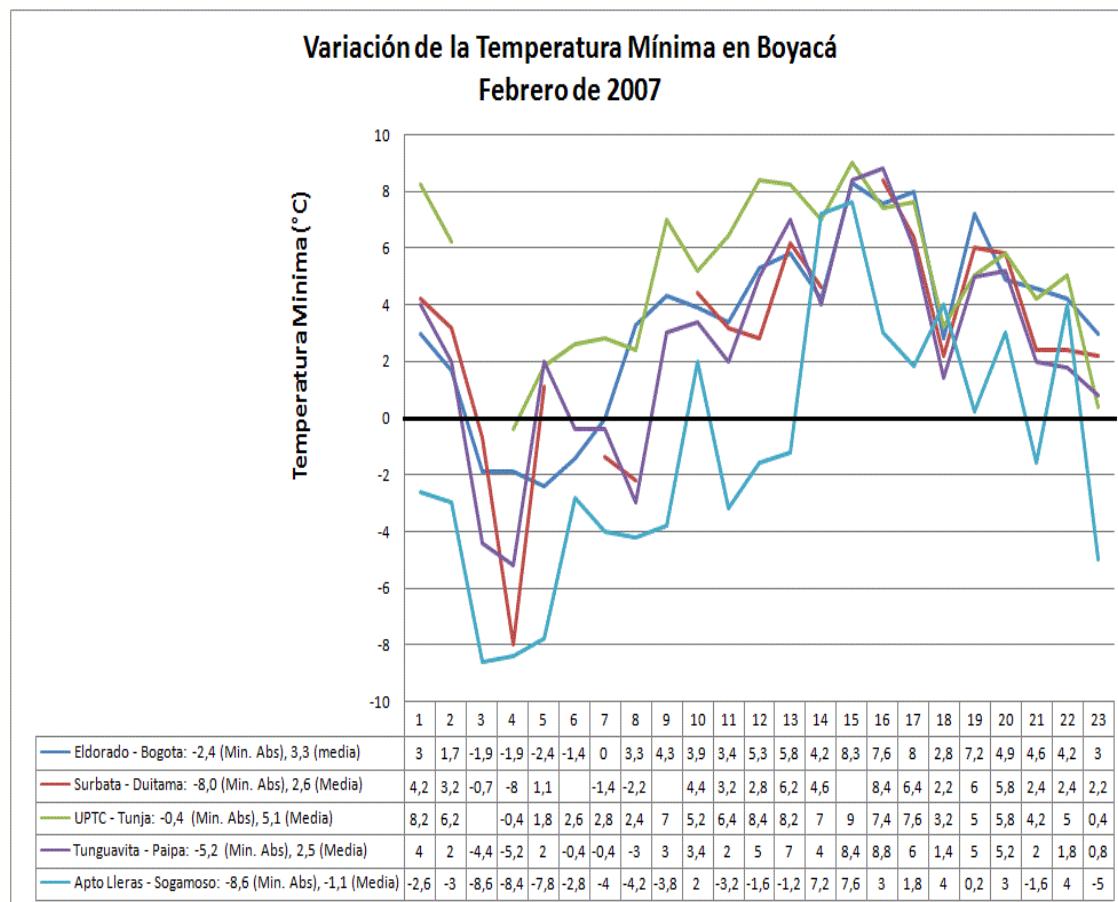
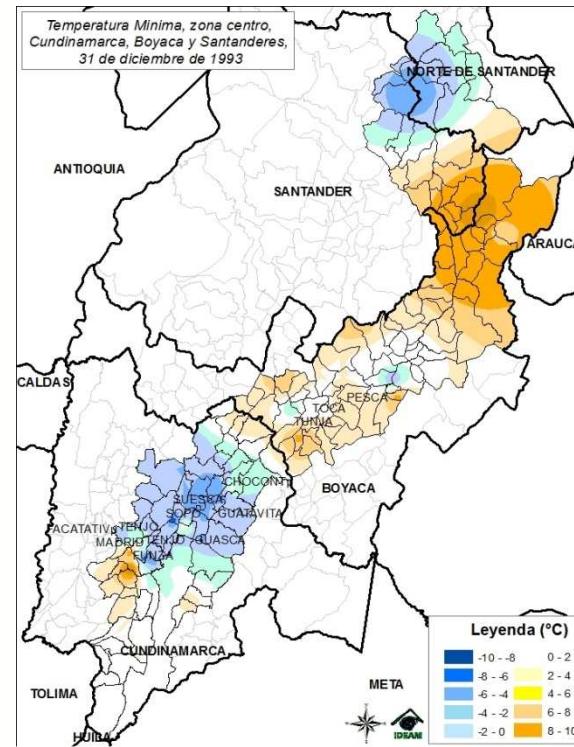
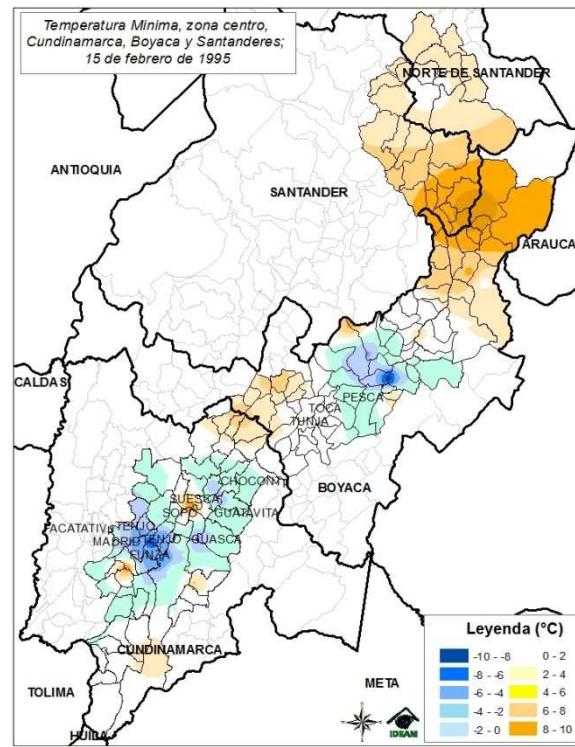
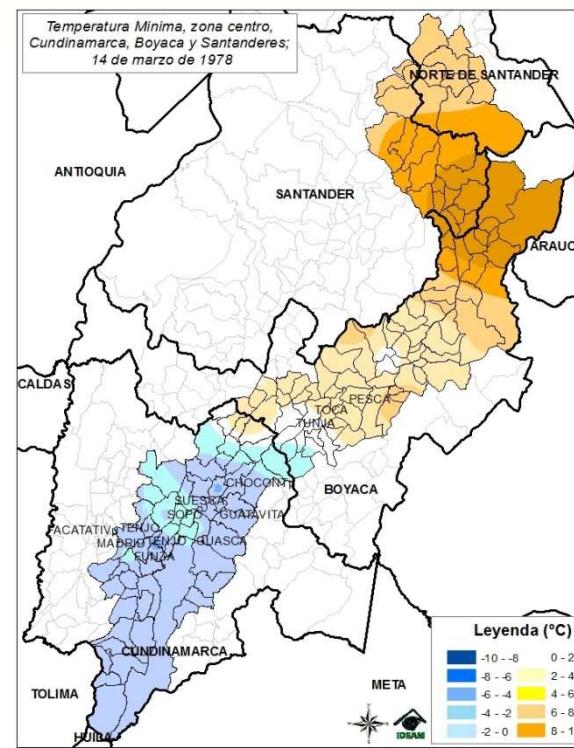
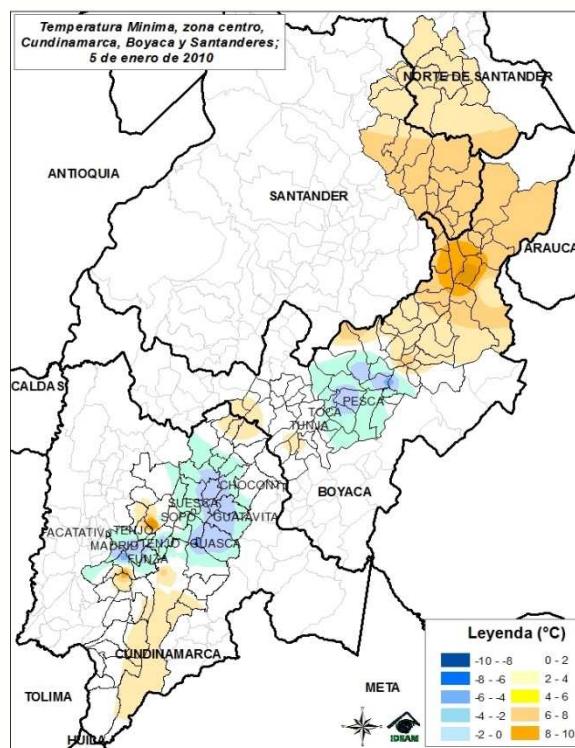
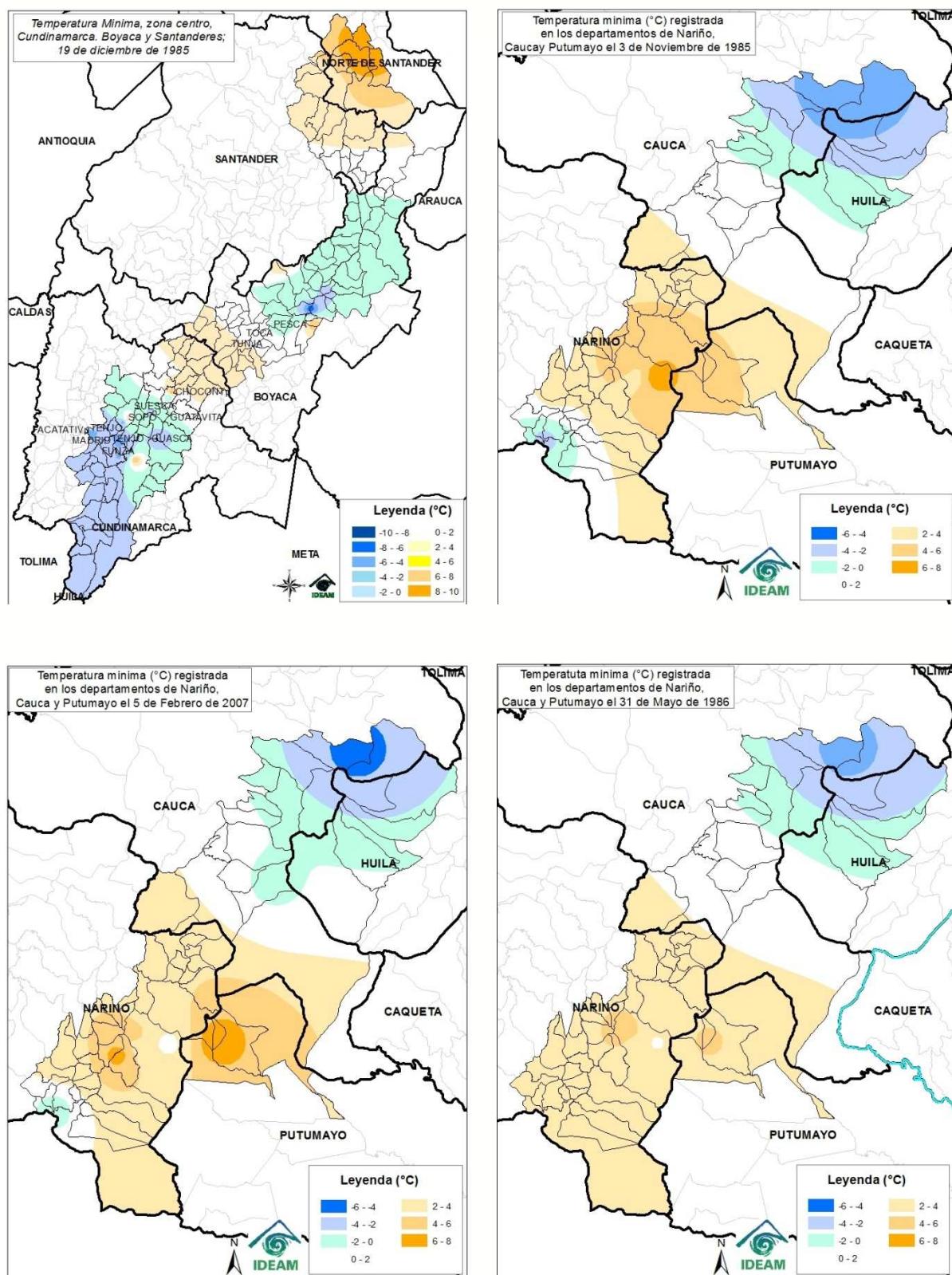


Grafico 80. Temperatura mínima registrada en Bogotá y municipios susceptibles de Boyacá, periodo: 1-23 de febrero de 2007.

Fuente: IDEAM, 2012.





Mapa 5. Ubicación espacial de temperaturas mínimas en diferentes fechas, que afectaron a múltiples municipios en los Departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Santander, Norte de Santander, Nariño y Cauca. Fuente: IDEAM, 2012

6.4 Análisis situación sinóptica

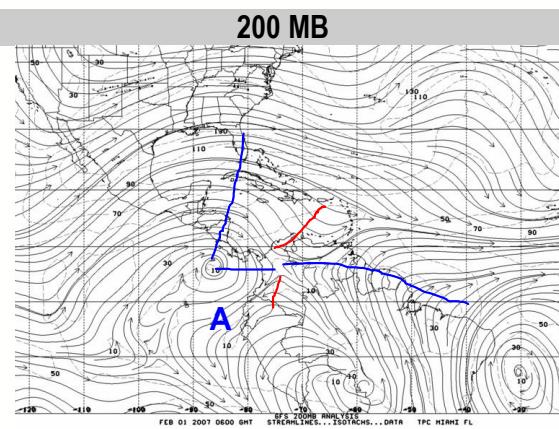
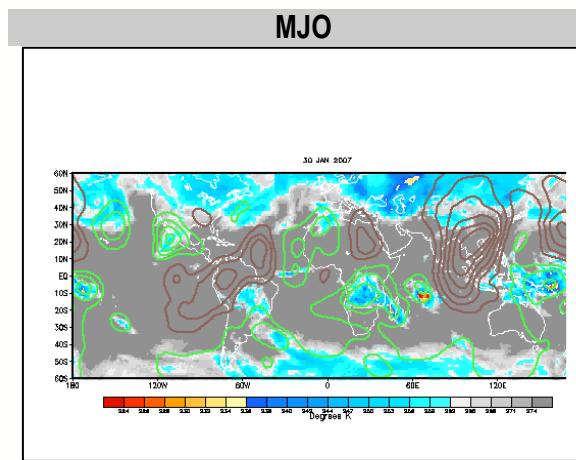
Escala Planetaria

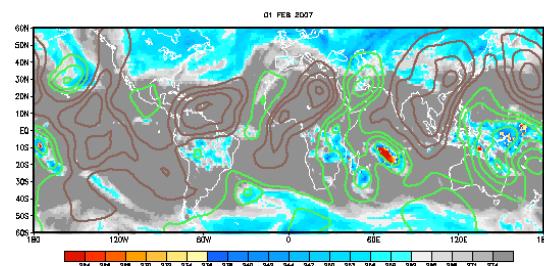
La **Oscilación Madden y Julian**, que se define como una célula zonal de la circulación que se propaga hacia el oriente a través de la zona tropical (León & Zea, 1998), indica un comportamiento entre el periodo 1 al 8 de febrero de 2007 (ver figuras 2 a, b, c, d, y e), con una fase subsidente, que inhibe las lluvias. Esto trajo como consecuencia una atmósfera seca o de humedad baja en niveles medios a altos.

Las condiciones meteorológicas en las capas altas de la atmósfera, en 200 MB (Figuras 3 a, b, c, d y e), muestra en general durante la primera década de febrero de 2007, un sistema anticiclónico dominando sobre todo el mar Caribe y bloqueando los demás sistemas alrededor, produciendo fuerte subsidencia y por lo tanto presentando días sin lluvias (ver Figuras 4 a y b) y de poca o nula nubosidad, como se observa en las imágenes satelitales (Figuras 5 a y b). Condición constante característica desde los primeros días de febrero, como se muestra en la carta de 200MB, del 01 de febrero, el cual presenta en las capas altas un punto neutro sobre el centro del país, acompañado de las dos vaguadas y el sistema anticiclónico se muestra casi estacionario, moviéndose lentamente hacia el Este – Noreste.

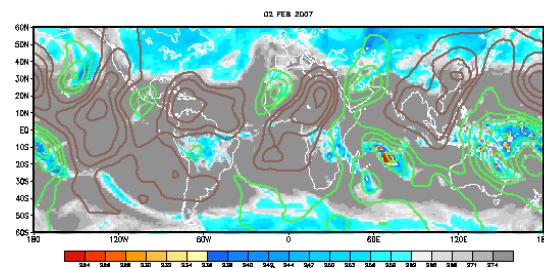
En los siguientes días, el punto neutro que se ubicaba en el centro del país, se mueve hacia el norte, en el mar Caribe. Así mismo, se observa el sistema anticiclónico en el océano Pacífico con su dorsal extendida sobre el oeste del mar Caribe y una vaguada invertida con su eje extendido en sentido suroeste a noreste; todo este sistema continua su movimiento leve, casi estacionario hacia el noreste, permaneciendo, fortaleciéndose y tomando toda su extensión sobre el norte de Suramérica y la cuenca del mar Caribe. Hasta el 8 de febrero se favorecen las condiciones de estabilidad en la atmósfera, mostrando días secos, dado por el sistema anticiclónico posicionado sobre el centro del país.

Figuras 2 y 3. Cartas de líneas de corriente a 200 Mba y de la Oscilación Madden y Julian. Fuente: <http://www.nhc.noaa.gov> y http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/cwlink/ir_anim_monthly.shtml.

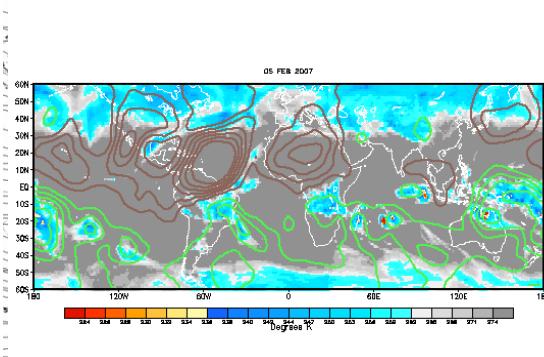




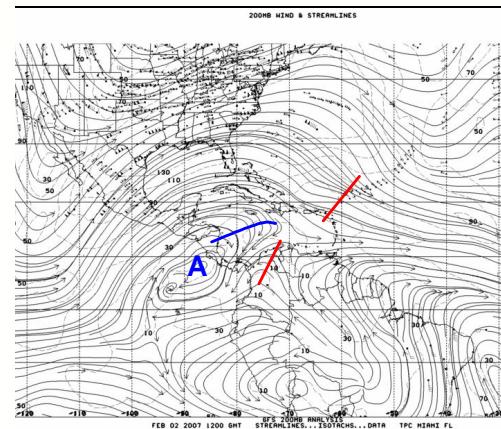
2b



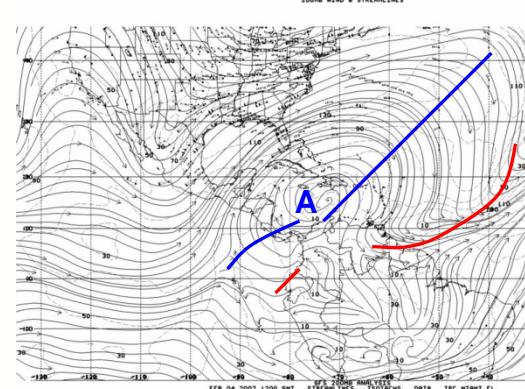
2c



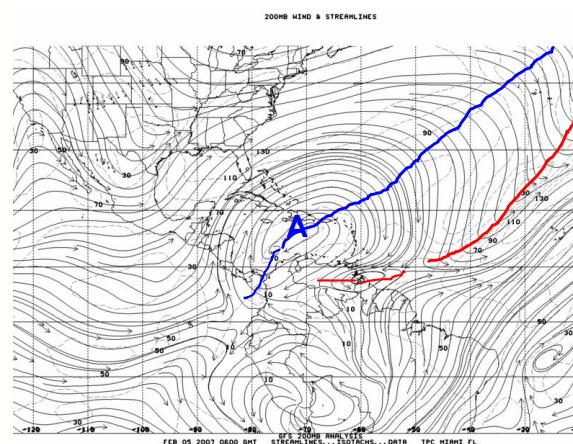
2d



3b



3c



3d

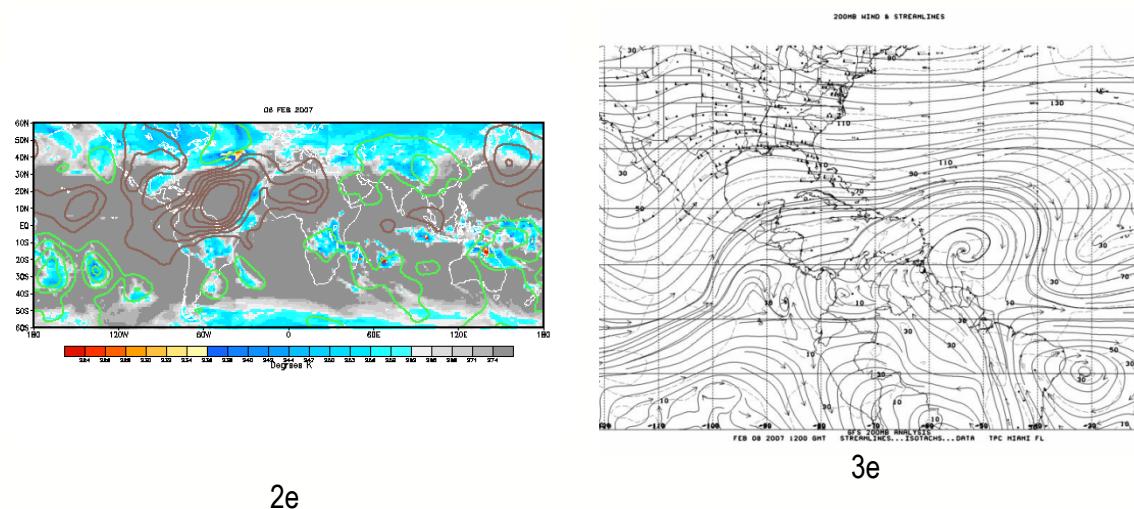


Figura 4. Mapa de distribución diaria de la precipitación, durante el periodo del 1 al 8 de febrero de 2007. Fuente: IDEAM, 2007.

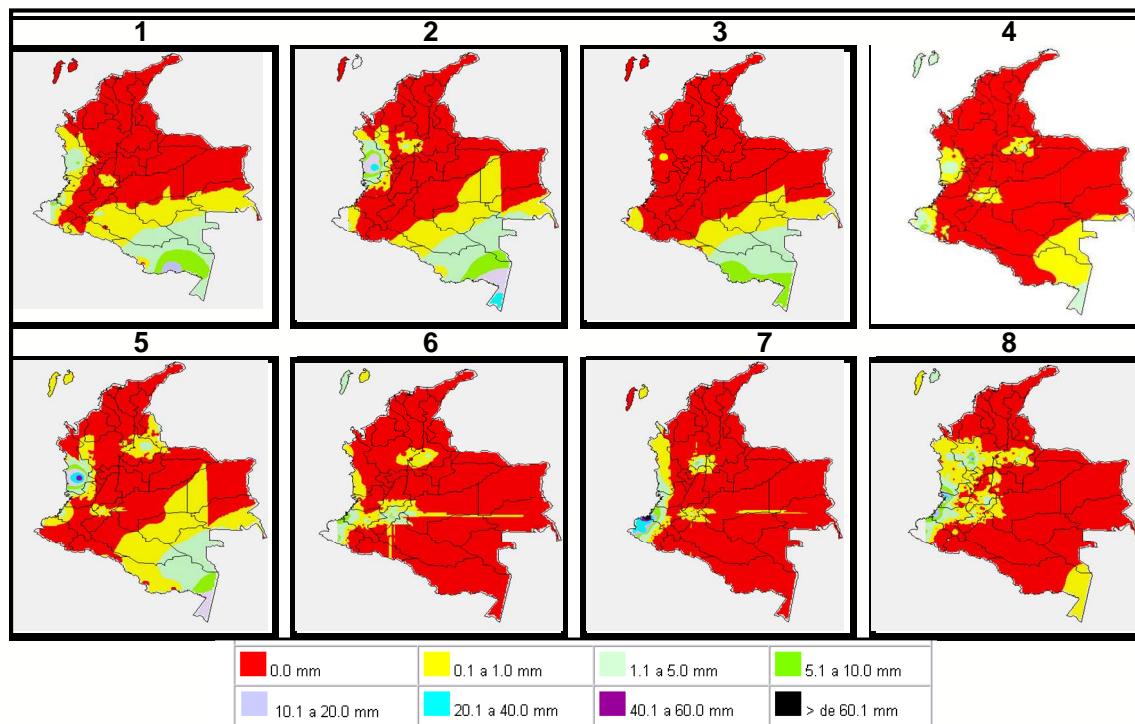
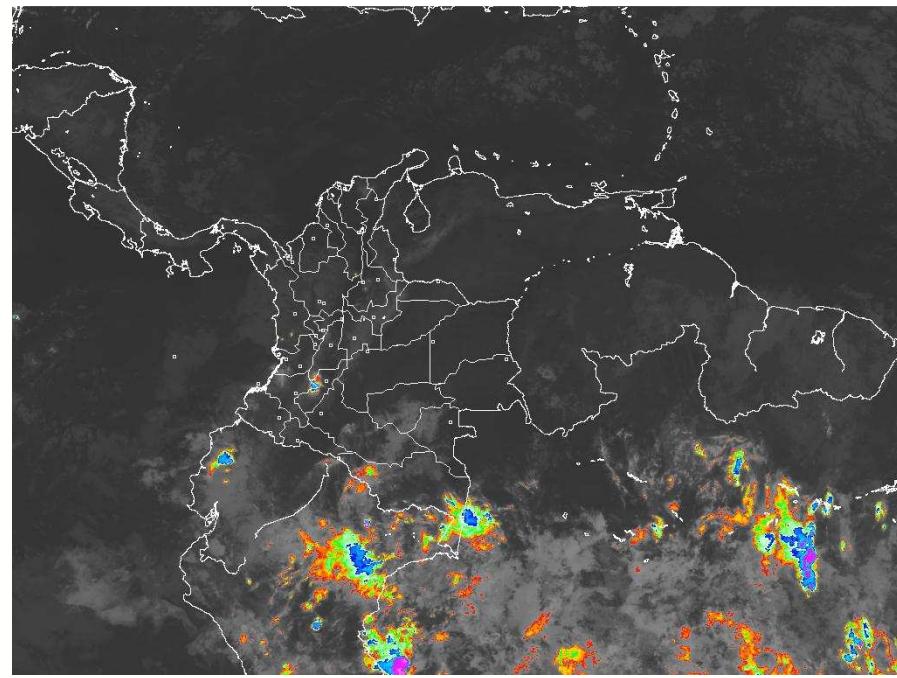
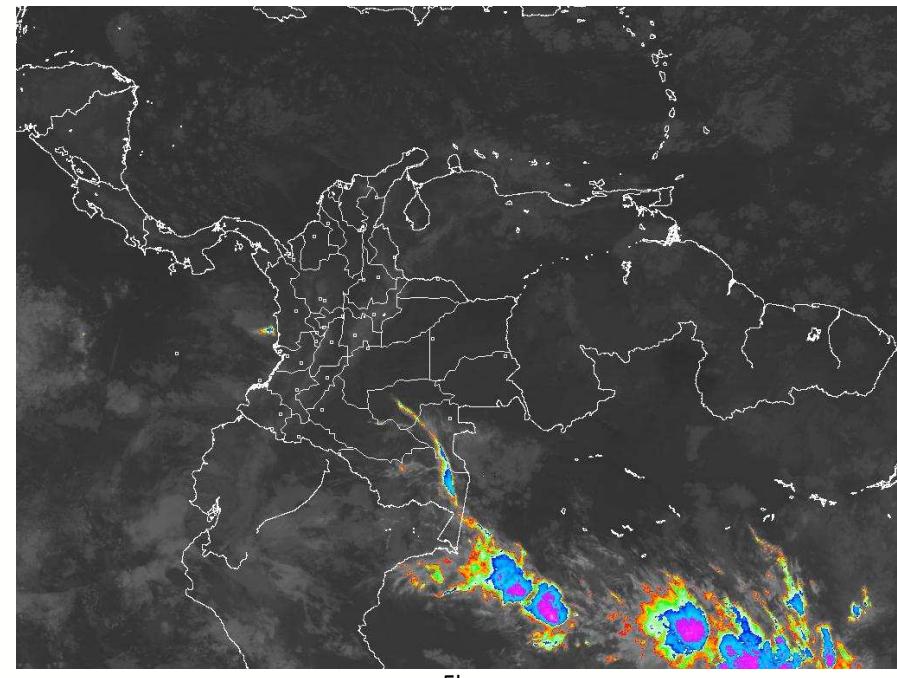


Figura 5 a y b. Imágenes satelitales GOES-12 en el canal vapor de agua, días 1 de febrero de 2007, hora: 01:45 a.m. y 4 de febrero de 2007, hora: 06:45 a.m.. Fuente: IDEAM, 2007.



5a



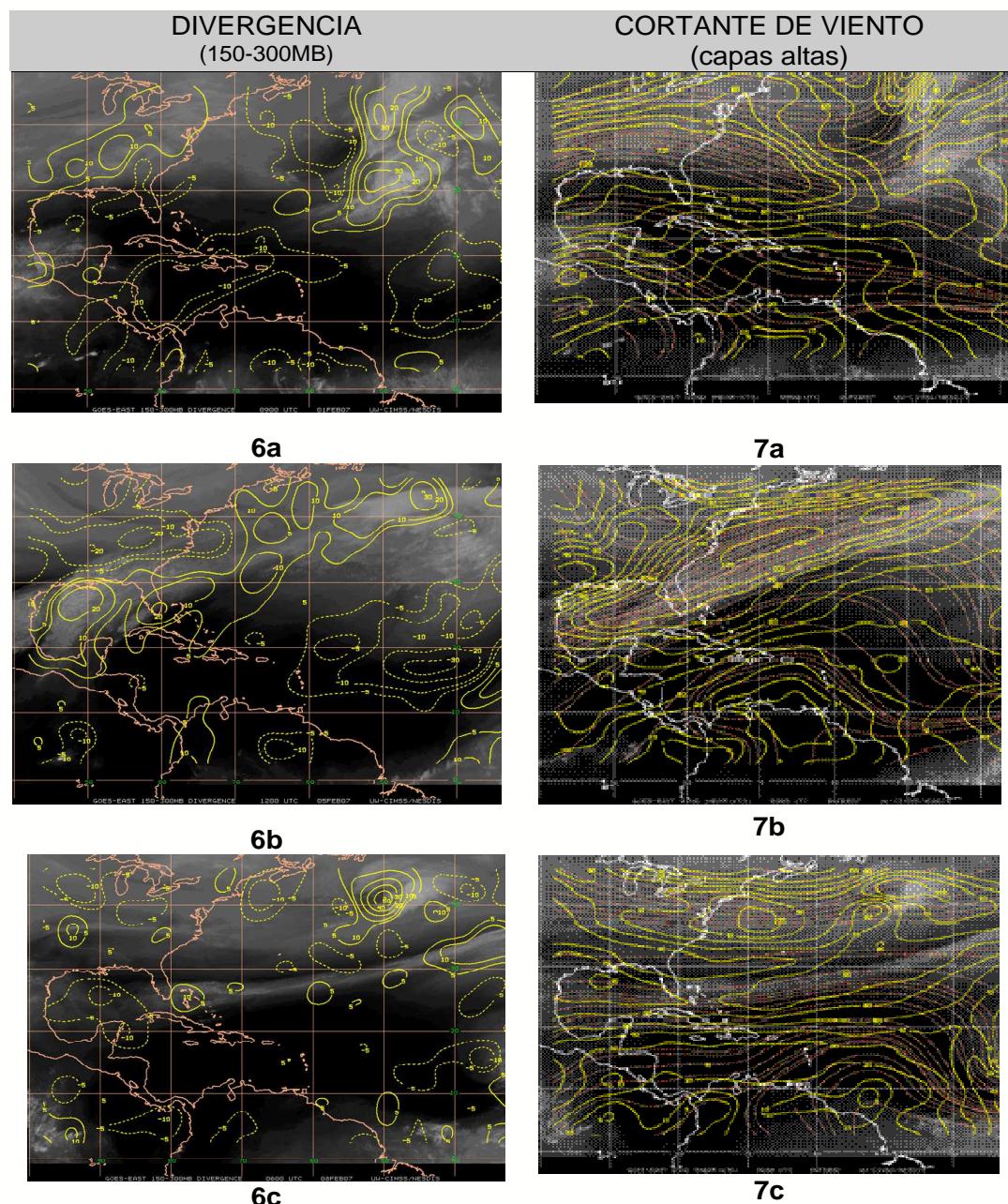
5b

Como resultado del sistema anticiclónico acompañado por la vaguada en altura, durante la primera década de febrero, la **divergencia en niveles altos** (150 y 300 Hpa) (ver figuras 6 a, b y c), fue débil, presentando núcleos de convergencia dominando sobre el Mar Caribe y diversos sectores del país; excepto frente a las costas colombianas

en el centro y sur del Océano Pacífico y en el norte y occidente, en la región Pacífica, donde se muestra una divergencia moderada.

Valores de la **cortante del viento** en niveles altos (ver figuras 7 a, b y c), también se relacionan con el comportamiento estable de la atmósfera. Desde el 1 de febrero, se dieron vientos con valores entre moderados (valores entre 10 y 20 nudos) que inhiben el desarrollo convectivo de las nubes. Estos valores moderados se mantienen hasta el 8 de febrero, sobre todo el Mar Caribe, gran parte del territorio nacional.

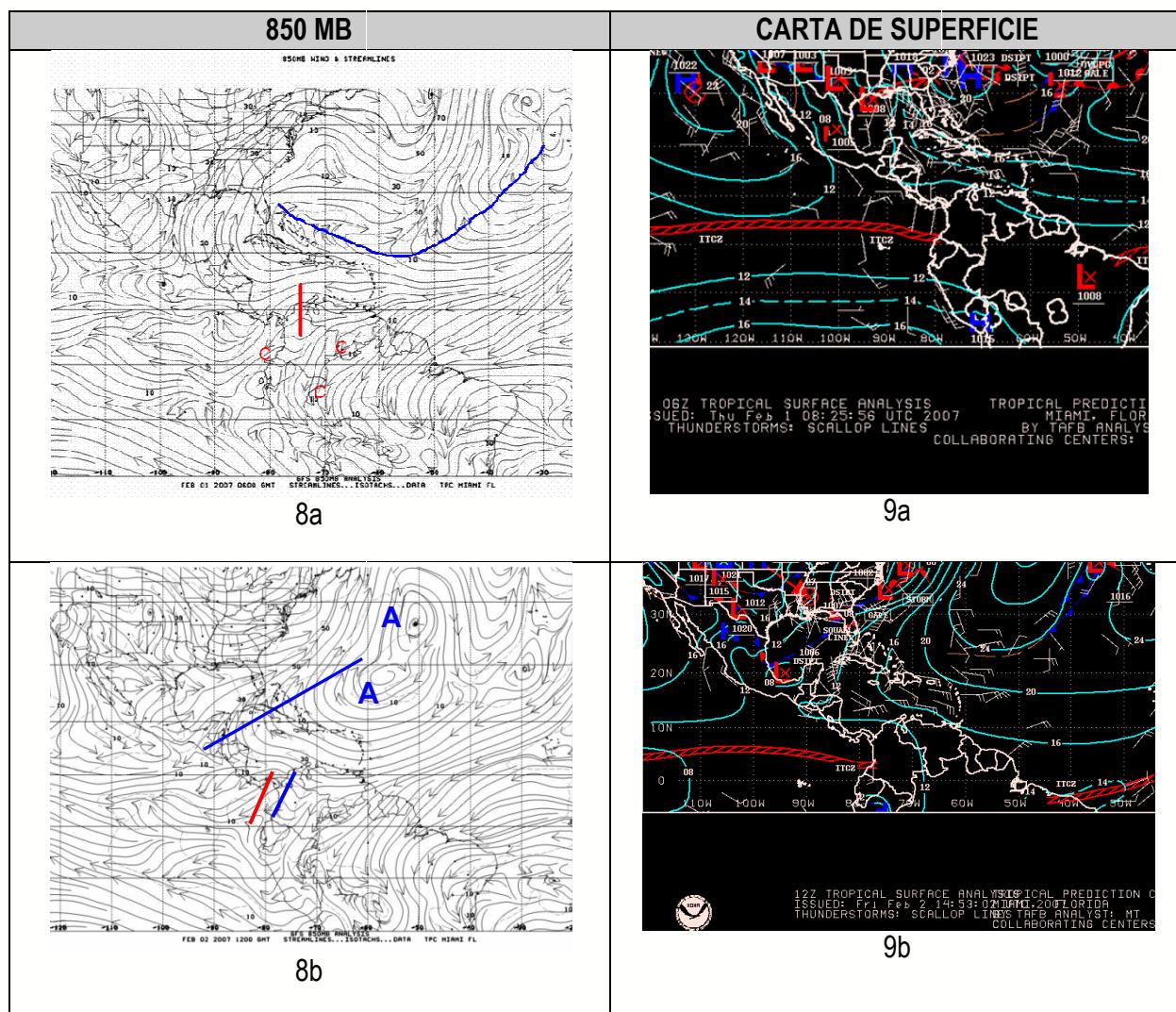
Figuras 6 y 7. Cartas de divergencia y cortante de viento en niveles altos de la atmósfera. Fuente: <http://cimss.ssec.wisc.edu/tropic/real-time-atlantic/winds/winds-dvg.html>

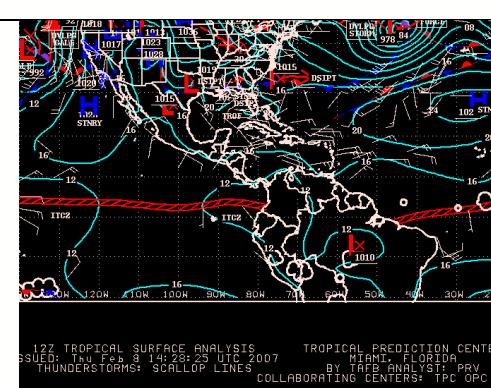
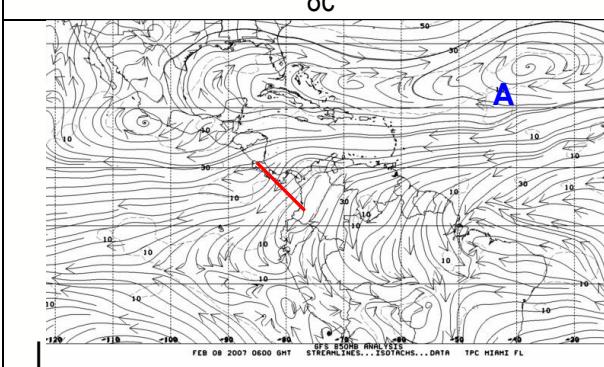
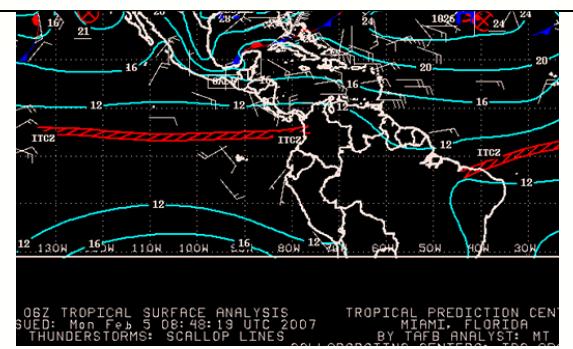
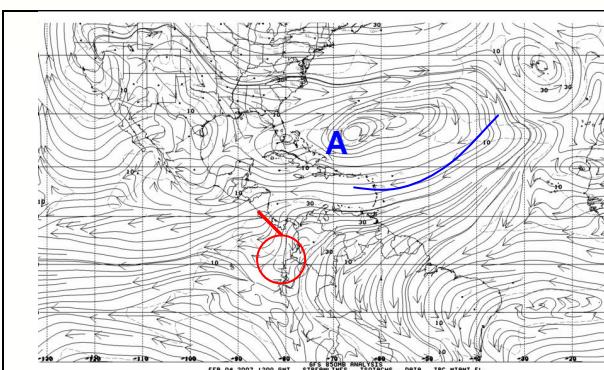


6.4.1 Escala Sinóptica

En niveles bajos de la atmósfera, 850 MB (ver figuras 8 a, b, c y d), desde el primero de febrero se observa también, el dominio del sistema anticiclónico en el Atlántico y la cuenca del Caribe, asociado con un vaguada invertida en el norte del país; la vaguada rápidamente se mueve hacia el occidente, quedando solo el anticiclón junto con un flujo de vientos dominantes del Noreste, paralelo a la cordillera (inhiben el ascenso orográfico y por lo tanto la convección). Además en la carta de superficie, se observa la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) ubicada en el suroccidente, hacia el sur de la región Pacífica, asociada a ella poca o nula actividad convectiva (ver figuras 9 a, b, c y d).

Figuras 8 y 9. Cartas de líneas de corriente a 850 Mba y de superficie. Fuente: <http://www.nhc.noaa.gov>





REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ARTUNDUAGA S., Rodrigo. 1980. Las Heladas y su control. TOA – Temas de Orientación Agropecuaria. Edición No. 147 del quinto bimestre de 1980. Bogotá – Colombia.
- ARTUNDUAGA S., Rodrigo. 1982. Principios básicos de ocurrencia de heladas y su control. Boletín técnico No.97. ICA, Tibaitatá.
- ATLAS DE HELADAS DEL PERU. 2010. Convenio de cooperación técnica institucional SENAMHI-FAO. Lima - Peru
- DANIEL S. Wilks. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. United States of America: Academic Press, ISSN 0127519653, San Diego edition, 1995.
- FERNANDEZ R., Jairo, 1995. Las heladas su definición y control. Bogotá, Colombia.
- HURTADO, Gonzalo. 1996. Estadísticas de la Helada Meteorológica en Colombia. METEO/007-96. Bogotá: IDEAM.
- IDEAM, 2005. Atlas de radiación solar de Colombia.
- IDEAM, 2012. Banco de datos del IDEAM sobre las variables meteorológicas y Catálogo de la red de estaciones meteorológicas de Colombia
- JAZIKU is statistical inference software for the teleconnections analysis, (version 0.5.1). (2012) IDEAM, Colombia. Jaziku is a free and open source software GPLv3. <http://hg.ideam.gov.co:8000/meteorologia/jaziku/summary>
- J.E Montealegre Bocanegra. Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala: Informe final de las actividades desarrolladas en el marco del contrato de prestación de servicios No IDEAM 022 - 2009. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, IDEAM - Subdirección de Meteorología, page 54, 2009.
- J.M. Guevara Díaz. El abc de los índices usados en la Identificación y definición cuantitativa de El niño -oscilación del sur (ENSO). Terra, XXIV(35):85 –140, 2008.
- LASSO, E., Luis. 1987. Anotaciones sobre el fenómeno de las heladas. HIMAT. Bogotá.
- LITTLE T. M. y F. J. HILLS, Métodos estadísticos para la investigación en agricultura. México: Trillas, 270 pp.,1976

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) , University Corporation for Atmospheric Research (UCAR)). Creating a Local Climate Product Using Composite Analysis -Print Version of Webcast -(En Linea). 1997-2010:COMET Website at <http://meted.ucar.edu/>, 1997

PEREYRA-DÍAZ D., et al., Heladas en el Cofre de Perote: técnicas de protección. Colec. Textos Universitarios, Univ. Ver., México. 45 pp., 1990.

Sanchez Rodriguez I.C. y Llano X.C., Jaziku version-0.5.1:"El software de inferencia estadística para el análisis de teleconexiones" - (Manual de usuario) - (En Linea). 2011-2012: IDEAM Website at <http://hg.ideam.gov.co:8000/meteorologia/jaziku/summary>, 2012.