

LAS HELADAS EN LA SABANA DE BOGOTA

A. M. BARRIGA VILLALBA

I. Ocurrencia de las HELADAS.

- Heladas que ocurren periódicamente en dos épocas del año: Junio, Julio y Agosto. Diciembre, Enero y Febrero.
- Heladas irregulares, que se presentan en cualquier época del año, si las condiciones locales son favorables.

II. Descripción de una helada.

III. Ensayo de una teoría sobre el meteoro.

IV. Condiciones atmosféricas para su producción.

- Presión atmosférica.
- Nubosidad.
- Irradiación solar.
- Velocidad del viento.
- Temperatura.
- Estado higrométrico.

V. Previsión de las heladas.

VI. Acción y efecto de las heladas en las plantas.

OCURRENCIA DE LAS HELADAS

Las *heladas* se presentan durante el año, en dos épocas bien definidas, si las condiciones locales son favorables. En Junio, Julio y Agosto, y en Diciembre, Enero y Febrero. Por regla general, las más intensas y repetidas, ocurren en estos periodos. Fuera de estos meses, pueden sobrevenir, excepcionalmente, en otros del año, y por lo común, éstas no son intensas ni frecuentes.

La helada más fuerte que se ha registrado en muchos años, fue la ocurrida en Enero de 1936, precisamente en uno de los veranos más intensos que han azotado al país. El entonces Director del Observatorio Astronómico Nacional, doctor Jorge Alvarez Lleras, lo equiparó al terrible de 1902, que fue de resultados catastróficos para el país.

Sobrevino la helada en la madrugada del día 4. Hubo un descenso en la temperatura de -8° C. y al día siguiente, se repitió violentamente, con descenso hasta de -10° C., y continuó en los días siguientes, con menor intensidad. La capa de hielo alcanzó a 8 mm. de espesor. En aquella ocasión se quemaron los jardines de Bogotá.

(Véase gráfica número 2).

El día 8 del mismo Enero, cayó en Bogotá y en la sabana un aguacero torrencial, y continuó un pequeño invierno de unos pocos días, y después, se acentuó bárbaramente el verano.

En Bogotá, no baja tanto la temperatura como en el campo, porque la población es una fuente de

calor. Se necesita que hiele muy fuertemente en los alrededores, para que hiele en la ciudad. Por regla general, siempre hay varios grados de diferencia en la temperatura.

Así, por ejemplo, desde el 23 de enero del año pasado, se sucedieron una serie de heladas fuertes y extensas en la sabana, y en Bogotá, el termógrafo no bajó de $+5^{\circ}$ C.

(Véase gráfica número 5).

El meteoro se localiza en una zona sobre el nivel del suelo, más o menos hasta la altura de la capa de niebla, que en ocasiones, no alcanza la copa de los árboles.

Valiéndonos de un globo-sonda cautivo, hicimos varios sondeos, y pudimos comprobar que la saturación, que es fundamental para la producción de la helada, decrece rápidamente, después de pocos metros de altura.

A manera de ilustración, vamos a leer los datos de una helada de poca intensidad, pero muy extensa, ocurrida el día 9 de enero de 1942, observada en Engativá.

HELADA DEL DIA 9 DE ENERO DE 1942 EN ENGATIVA. "SANTA HELENA"

Hora	Temp. del aire	% de saturación	Temp. del suelo
4.00 a. m.	$+3^{\circ}.5$	96.25%	$11^{\circ}.0$
4.30 "	$+3^{\circ}.2$	96.25 "	$11^{\circ}.0$
5.10 "	$-0^{\circ}.5$	94.35 "	$10^{\circ}.5$
5.30 "	$-2^{\circ}.0$	89.00 "	$10^{\circ}.0$
6.00 "	$-1^{\circ}.0$	91.00 "	$10^{\circ}.0$
6.30 "	$-1^{\circ}.0$	91.00 "	$10^{\circ}.0$
7.00 "	$+1^{\circ}.0$	80.00 "	$10^{\circ}.0$

Algunas heladas fuera de época, que merecen mención, ocurrieron:

Mayo 17 de 1934.

Septiembre 29 de 1935.

Octubre 11 de 1935.

(Véase gráfica número 1).

Abril 26 y 29 de 1940.

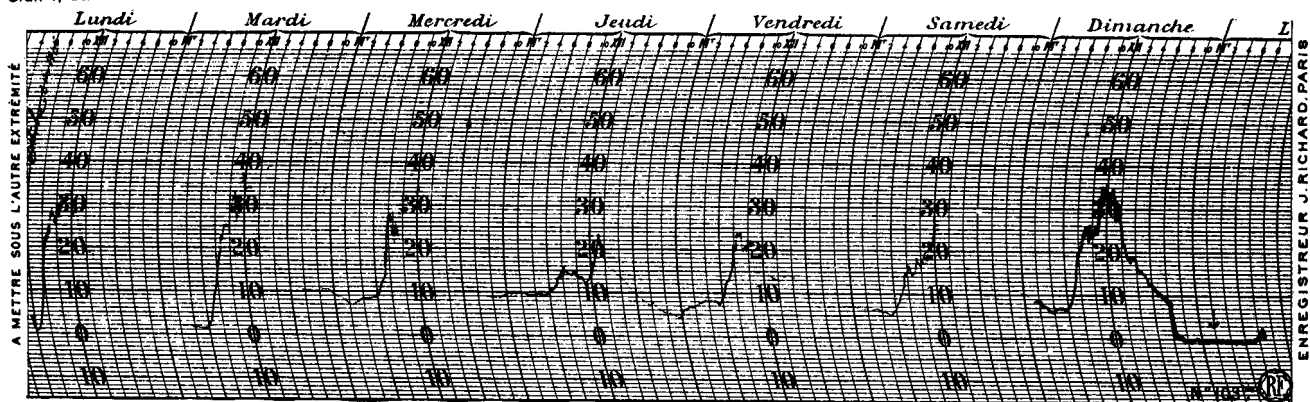
(Véase gráficas números 3 y 4).

Ha habido años en que no se produjeron heladas, ni siquiera las regulares, porque las condiciones meteorológicas no fueron favorables.

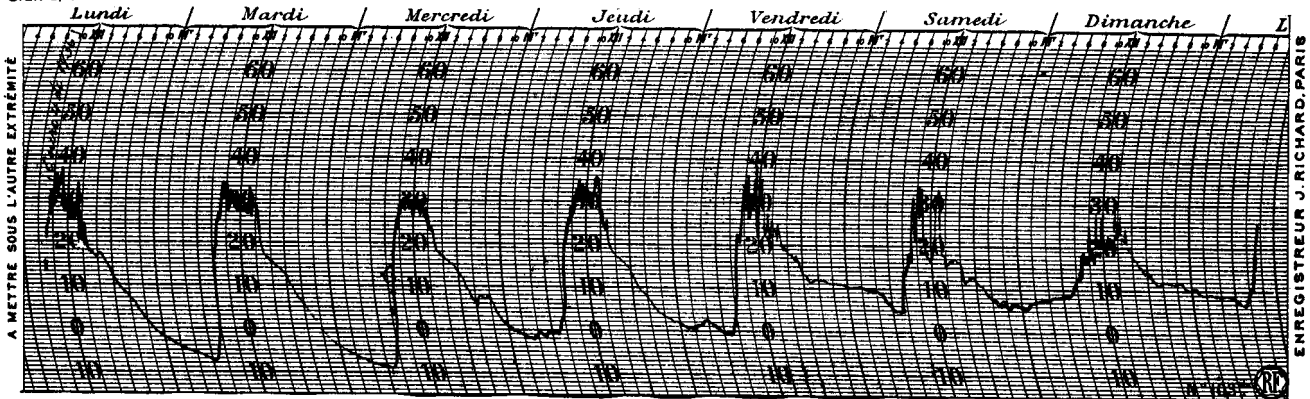
DESCRIPCION DE UNA HELADA

Las heladas se presentan siempre de la misma manera. Se diferencian en la intensidad, y ésta consiste, en el mayor o menor descenso de la temperatura ambiente por debajo de cero grados.

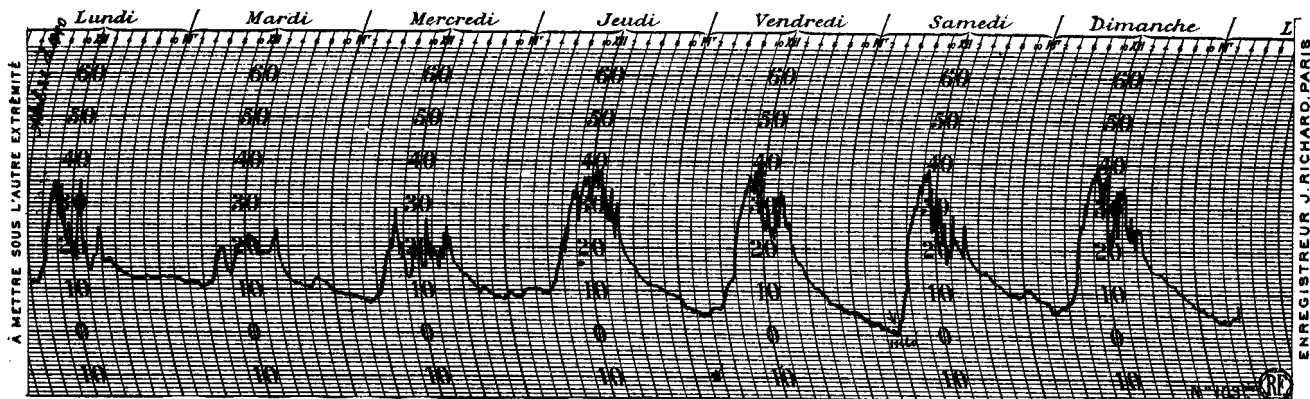
Graf. 1, Octobre 5 de 1935



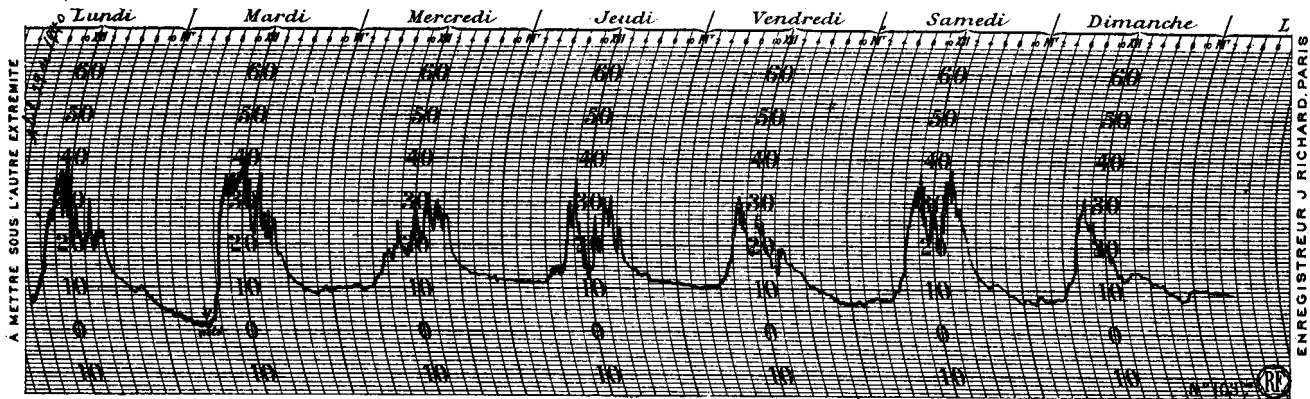
Graf. 2, Enero 4 de 1936



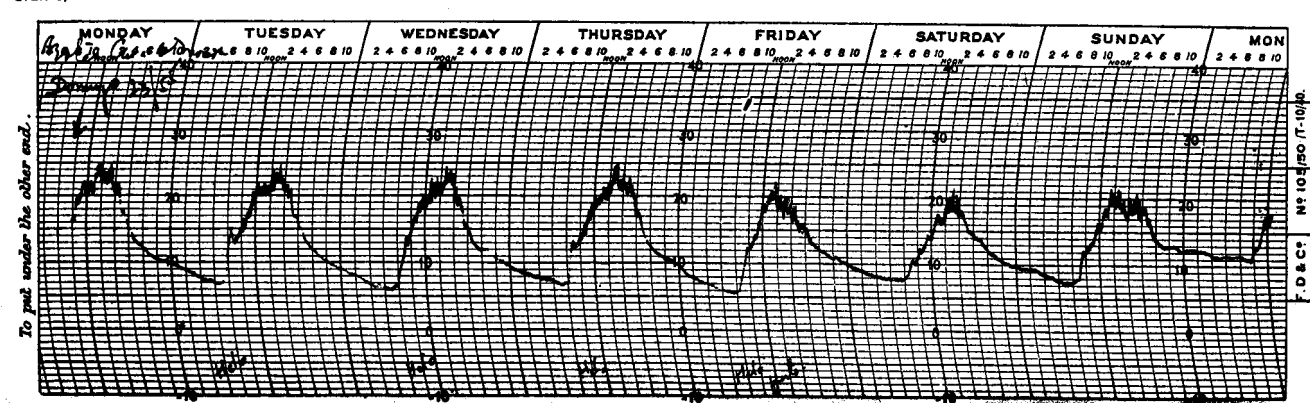
Graf. 3, Abril 22 de 1940



Graf. 4, Abril 29 de 1940



Graf. 5, Enero 23 de 1955



Hé aquí, la somera descripción de una de las que hemos presenciado:

Desde el medio día, todo parecía indicar que ocurriría una helada. Los instrumentos confirmaban las sospechas y como en otras ocasiones no nos habían dejado engañados, continuamos las observaciones con el Psicrómetro, cada cuarto de hora, y en las primeras de la noche, tuvimos casi la certeza, de que se produciría el fenómeno. A las tres y media de la mañana distribuimos en dos grupos los instrumentos. El uno lo dejamos en la huerta de la casa de la hacienda (1), donde había venido funcionando, y el otro, lo instalamos en el centro de un potrero, al pie de una cerca, distante del primero unos doscientos metros. Nuestros instrumentos consistían: Un Termógrafo, un Psicrógrafo, un Higrógrafo, un Termómetro de máxima y mínima, un Evaporímetro y Termómetros especiales para medir la temperatura del suelo.

Hacía bastante frío. Una niebla densa y espesa cubría el campo. No hacía viento. El cielo, por lo que se podía ver a trechos y al través de la niebla, estaba lleno de estrellas y una luna en cuarto menguante alumbraba desde el cenit, dando una brillantez especial al cielo.

La niebla se extendía por entre los árboles y matorrales formando un manto horizontal, por entre el cual asomaban las copas de los árboles. El silencio y la quietud reinaban profundamente en aquel rincón de la sabana.

Eran las cuatro y media de la madrugada, cuando el ayudante nos dio aviso de que estaba principiando a helar en el potrero. En la huerta, protegida por tapias y árboles pequeños, todavía no había principiado el meteorito. Pudimos comprobar cómo sobre las hojitas del pasto principiaban a formarse cristales, sensibles al tacto, que rápidamente endurecían las hojas. Nuestras ropas estaban humedecidas y el frío arreciaba. En la huerta, sobre las hojas, se formaban rápidas y abundantes gotas de rocío, que iban creciendo, y nos sorprendía, cómo se solidificaban con tal rapidez, que afectaban la forma sólida, o lágrimas heladas pendientes de hilos rígidos.

La niebla desapareció. El termómetro bajaba rápidamente y llegaba a -4° C., al mismo tiempo que el manto de rocío daba un bellissimo aspecto a hojas y tallos endurecidos. El frío caló hasta los huesos. El Higrógrafo marcaba el máximo de humedad y sobre las plantas, el agua tomaba las formas inmaculadas y geométricas de cristales que brillaban en la noche, a la luz de nuestras linternas, en un espectáculo maravilloso.

Eran las cinco y media de la mañana. Los gallos no cantaban ni se oían ladrar a los perros. Nuestras pisadas hacían un ruido especial sobre los cristales del pasto. Al amanecer, todo estaba helado. Hacia las seis de la mañana, todavía no apuntaba el sol sobre los cerros. El Termómetro comenzó a subir lentamente, y cuando el astro brillaba, hacia las

seis y media, el Termómetro, seco todavía, indicaba un grado bajo cero. Sólo hacia las siete principió a subir de una manera continua.

Desde que se inició la helada, el aire fue perdiendo la saturación, volviendo los termómetros del Psicrómetro a conservar la diferencia, y, hacia las nueve de la mañana, la diferencia era de dos y medio grados. El sol brillaba con esplendor. Por los campos se extendía el aroma característico, muy conocido de los campesinos, en las épocas de heladas, olor de hojas tostadas, que indicaba la pérdida irreparable de la sementera.

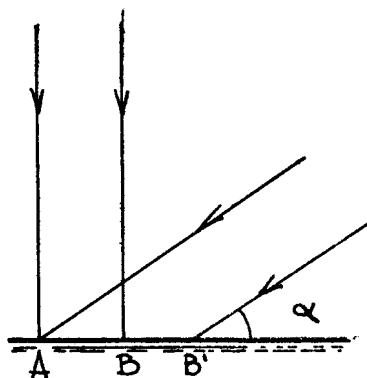
VAMOS A ENSAYAR UNA TEORIA SOBRE LAS HELADAS

Las cantidades metereológicas, como lo dijo don Julio Garavito, dependen de la temperatura, y ésta, en un instante dado, depende de la distancia cenital del sol, es decir de su ángulo horario y de su declinación.

La constante solar, o sea la cantidad de calor que el sol envía, por minuto, sobre una superficie normal, de un centímetro cuadrado, puesta en el límite superior de la atmósfera, imposible de valorar directamente, ha sido calculada en la cifra 1,94 o sea, que en un minuto, el sol envía a nuestra atmósfera, por centímetro cuadrado, la cantidad de calor suficiente, para elevar la temperatura de un gramo de agua de 0° a $1^{\circ},94$.

Como ya lo hemos dicho, las heladas en la Sabana de Bogotá, ocurren periódicamente, siguiendo el ritmo del movimiento de nuestro planeta alrededor del sol, y se presentan en las épocas de los mínimos de irradiación.

En efecto, según Bouguer, la absorción que ejerce un medio sobre los rayos que lo atraviesan, aumenta en proporción geométrica, en tanto que el espesor de las capas, no aumenta sino en progresión aritmética. Por otra parte, según la ley de Lambert, la cantidad de calor que recibe la superficie de incidencia, depende de la inclinación u oblicuidad de los rayos.



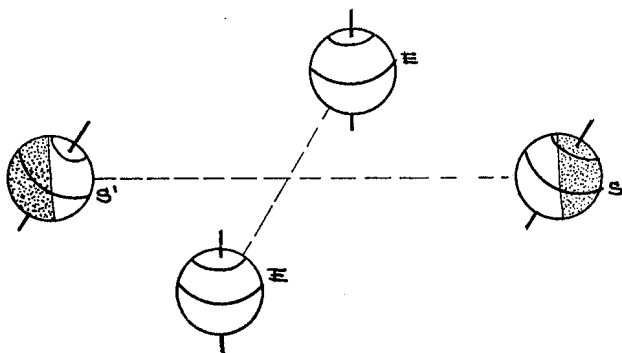
Si consideramos un pincel luminoso, que incide normalmente sobre una superficie, la iluminación será máxima. Si lo consideramos que incida con un ángulo α , la superficie iluminada será $AB B'$, doble de la primera, pero la intensidad se habrá reducido a la mitad.

Lo que decimos de la luz, es aplicable a los rayos caloríficos en que se transforma la onda luminosa en la absorción, al chocar los fotones con el núcleo de los átomos de los cuerpos absorbentes.

Resumiendo las leyes de Bouguer y de Lambert, en una sola expresión, podemos decir que la cantidad de calor que nos llega del sol, depende: de la Constante solar (A), es proporcional a la Superficie (S), depende de la transparencia de las capas de aire (p), de la masa de las moléculas de la atmósfera (m), y de la inclinación de los rayos solares, que se mide por el seno del ángulo que forman con la superficie terrestre:

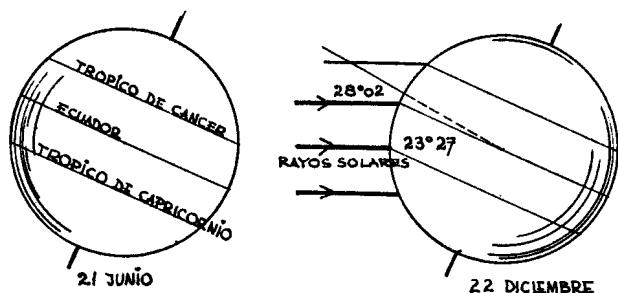
$$Q = A S p^m \sin \alpha$$

La tierra gira alrededor del sol, y a su vez gira sobre sí misma. En el giro anual a lo largo de su órbita, se inclina sobre el eje del mundo, el 22 de Diciembre $-23^{\circ},27$ y el 21 de Junio $+23^{\circ},27$. El 21 de Marzo y el 21 de Septiembre la inclinación es nula.



En estas últimas posiciones (E y E') los rayos solares caen normalmente sobre el Ecuador y la insolación es máxima. Estos son los *equinoccios*.

En los *solsticios* (22 de Diciembre y 21 de Junio), la Sabana de Bogotá recibe los rayos solares con una inclinación de $23^{\circ},27$ correspondiente al ángulo que forma la *eclíptica* con el *Ecuador*, más el valor de la *latitud* de la ciudad que es $4^{\circ},45$ o sea en total $28^{\circ},02$.



En Diciembre, hacia el hemisferio boreal, y en Junio hacia el austral.

Estas posiciones hacen que la cantidad de calor recibida en la Sabana, en esas épocas, sea menor que la recibida en cualquier otro tiempo.

La tierra irradia calor hacia los espacios celestes de una manera continua, máximo en las noches despejadas. En Diciembre y en Junio el desequilibrio térmico es mayor porque recibe menos del sol.

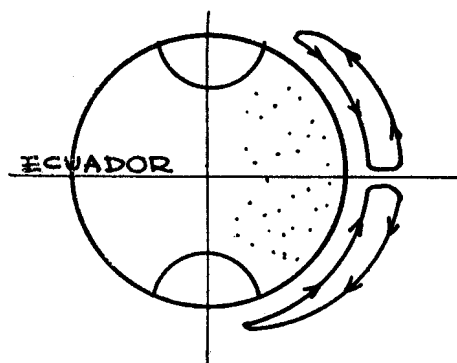
Las heladas no corresponden exactamente a las fechas de los Solsticios debido muy probablemente a la inercia de la atmósfera, que como ocurre en las mareas atmosféricas, sufre un retardo considerable. Así, por ejemplo, los máximos y mínimos de la presión atmosférica, correspondientes a las horas trópicas, no se verifican sino hasta las diez de la mañana y de la noche. Las heladas ocurren con más frecuencia hacia Enero y Julio, debiendo ser en Junio y en Diciembre.

Además, estamos situados en la gran chimenea del trópico, en la zona de calmas, donde los vientos alisios regulan nuestro invierno y verano, que no son otra cosa, sino tiempos de lluvias más o menos regulares, y épocas secas, en los meses de Marzo, Abril y Mayo; Septiembre, Octubre y Noviembre, precisamente antes de las épocas frías de los Solsticios, contribuyen con su saturación a hacer las condiciones favorables para las heladas.

CONDICIONES ATMOSFERICAS PARA LA PRODUCCION DE LAS HELADAS

Como causa determinante del meteoro, es inducible, la oblicuidad de los rayos solares en la época de los Solsticios. En cuanto a las magnitudes que podrían intervenir, hubimos de estudiar:

- Presión atmosférica.
- Nubosidad.
- Irradiación solar.
- Velocidad del viento.
- Temperatura.
- Estado higrométrico.



a) Presión atmosférica

Por estar situado este altiplano de los Andes en plena zona tórrida, las oscilaciones del barómetro son insignificantes, y no sirven para la predicción del tiempo. Lejos de las zonas ciclónicas, en pleno trópico, la columna de mercurio del barómetro, hacia las 10 de la mañana, indica 561 milímetros de altura, o sea el primer máximo, baja a 559 hacia las cuatro de la tarde, primer mínimo, para subir nuevamente, hacia las diez de la noche, a 561 milímetros y bajar a 559 milímetros a las cuatro de la madrugada, y algunas veces amplía la oscilación hasta tres milímetros, pero nunca sube o baja varios centímetros, como ocurre en las zonas templadas, en donde sí es posible conocer y predecir, con este instrumento, los cambios meteorológicos.

Aquí en Bogotá, los barógrafos escriben una sinusoide de muy poca amplitud, que nada dice, aun en las épocas de grandes cambios atmosféricos. En varias heladas fuertes, observamos cuidadosamente el barómetro de mercurio, de cinco en cinco minutos, sin haber podido poner de manifiesto cambio apreciable, en ningún instante del fenómeno.

b) Nubosidad

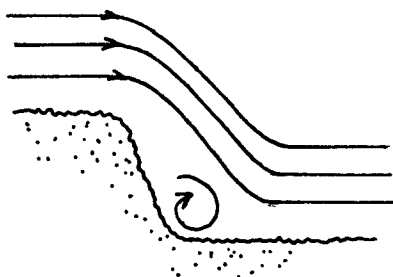
No puede decirse que la forma o clase de nubes tenga influencia especial. Suelen presentarse altos estratus y nimbus pequeños, pero en general, los días son muy despejados. En algunas ocasiones sobrevienen heladas después de algunas lluvias, y en las noches de las heladas, en las primeras horas, se observa en el cielo un brillo especial de la vía láctea, que los campesinos llaman *camino de hielo*.

c) Irradiación solar

Durante algún período hicimos observaciones con el Heliómetro, pero no puede deducirse nada especial, porque la irradiación sigue exactamente la declinación del sol, modificándose según las condiciones del lugar que, desde luego, en época de heladas, el día es despejado y la irradiación máxima.

d) Velocidad del viento

Tampoco tiene importancia para el conocimiento de las heladas, la velocidad y dirección del viento. En la época propicia, el viento es nulo o muy débil, y es condición fundamental para que se produzca, que el día anterior y en la noche la calma sea casi completa.



Hay sitios donde no hiela nunca, y con frecuencia se presenta el caso que no caen, al menos con la misma intensidad, en el mismo sitio, o abarcan zonas variables. En la zona occidental de Cajicá hiela muy poco. Posiblemente se deba a que existen corrientes de aire descendentes desde los cerros, porque toda masa de aire, al descender, se calienta y produce torbellinos, condiciones éstas que impiden que el aire se sature.

e) Temperatura

Factor importantísimo es la temperatura, en la época de las heladas. Para que se produzcan, es condición indispensable que la temperatura del ambiente descienda hasta cero grados. Si no bajara de este punto, muy posiblemente su efecto sobre las plantas no sería destructor, porque a esta temperatura el jugo protoplasmático no sufre alteración química, como adelante lo veremos. Un décimo, por debajo de cero grados, es ya suficiente para que

ciertas plantas de tierra fría perezcan. Normalmente, el mayor descenso de la temperatura ambiente, ocurre en las épocas en que se producen las heladas.

El siguiente cuadro muestra los cambios en la temperatura ambiente, en el centro de la sabana de Bogotá, en el corredor exterior de una casa, y en campo abierto, en un período de diez años y en las distintas condiciones que ocurren:

		TEMPERATURA	
		Máxima	Mínima
En tiempo normal		20°,9 C.	0°,1 C.
En la casa:	En plena lluvia...	15°,9 C.	7°,2 C.
	En tempestad....	13°,7 C.	11°,0 C.
En pleno campo.....		42°,0 C.	—9°,5 C.

f) Estado higrométrico

En la Sabana de Bogotá, la humedad de la atmósfera, aun en épocas de verano, es bastante elevada.

El valor medio en tiempo no lluvioso es de 71,5% de humedad relativa. El punto de rocío 12°,65 C. y la presión del vapor de agua es de 14,58 milibares.

En los días en que ocurren las heladas, las indicaciones del higrómetro son importantísimas, porque es condición esencial para su formación, que el aire se encuentre próximo a su punto de saturación, y el punto de rocío muy cercano de la temperatura ambiente. Temperatura y estado higrométrico del aire, son los valores que se necesitan para conocer la ocurrencia del fenómeno. La presión atmosférica, la velocidad y dirección del viento, la irradiación solar, la forma, clase y cantidad de nubes, son valores secundarios.

PREVISION DE LAS HELADAS

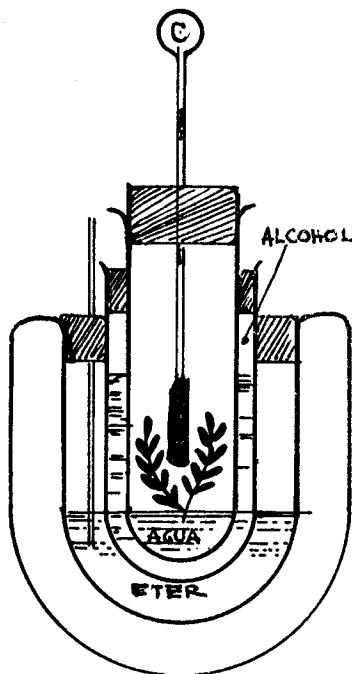
Estamos en pleno solsticio de invierno; la oblicuidad de los rayos del sol, llega el 22 de Diciembre al máximo. El calor que del sol recibe la sabana, por unidad de superficie, está reducido casi a la mitad, favorable condición para que se enfríe más, en estas noches despejadas. Iguales circunstancias ocurren a mediados de año en el solsticio de verano. Así, pues, una primera condición para la helada, es la época: Diciembre, Enero y Febrero y Junio, Julio y Agosto.

Si el día transcurre muy despejado, viento nulo o casi nulo, y estas circunstancias se prolongan en la noche, y el termómetro seco, después de medio día desciende de una manera continua, y en las primeras horas de la noche, acentúa la caída, y el termómetro húmedo le sigue de cerca, cada vez aproximando sus indicaciones a las del seco, lo cual quiere decir que el aire permanece muy cerca de su punto de saturación, seguramente la helada ocurre al amanecer. Generalmente sobreviene entre 4½ y 5½. A veces hacia las seis de la mañana, después de la helada principal, vuelve a caer otra secundaria.

En la época de los Solsticios, especialmente en el de invierno, es muy frecuente que la helada se repita, hasta en ocho días seguidos, con variable intensidad. Por regla general, los efectos destructores del meteoro, se pueden apreciar en el descenso de la temperatura por debajo de cero grados. No todas las plantas se *hielan* a la misma temperatura; unas resisten mucho más que otras. Los pastos son más resistentes, las hortalizas, delicadísimas.

ACCION Y EFECTO DE LAS HELADAS EN LAS PLANTAS

El examen microscópico de la planta helada naturalmente y en el Laboratorio, revelan que la célula no se congela, sino el agua de los espacios intercelulares. Se puede reproducir el fenómeno en Laboratorio, sobre hojas yemas o partes de la planta fresca, en un recipiente donde se mantiene el aire saturado de vapor de agua, y, haciendo que la temperatura baje hasta el punto deseado, no para congelar la planta, sino para que se produzca, primero la condensación del vapor de agua sobre la planta, y después se hiele, porque congelación y helada son fenómenos distintos.



Es muy difícil comprobar directamente los fenómenos que se suceden en la célula helada, así como medirlos. Pero sí se les puede dar una interpretación, con medidas indirectas.

Sobre el jugo puro de la planta fresca, de la parte deseada, como hojas, tallos, yemas, etc., se determina el descenso en el punto de congelación con relación al agua pura. Este descenso, necesariamente tiene que ser proporcional a la magnitud molecular, o sea al número de moléculas disueltas

del protoplasma, según las leyes de la crioscopia. Podemos usar para esto el mismo aparato que hemos descrito, pero con un termómetro metastático, y en lugar de agua y la planta, solamente el jugo inmediatamente después de preparado en molinos de vidrio para evitar la acción de las diastasas.

La cifra así medida, nos dará la temperatura a la cual la planta se hiele. El siguiente cuadro, en que se indican los valores encontrados, para los jugos de algunas plantas, nos muestra que no todas se hielan a la misma temperatura, lo cual muestra que igual cosa debe suceder en la planta viva, como efectivamente lo demuestra la experiencia, porque es fenómeno observado que las legumbres no resisten las heladas más suaves, y en cambio las gramíneas son más resistentes.

PUNTO CRIOSCOPICO DE ALGUNOS VEGETALES

	Contenido en agua en la planta	Punto crioscópico
Lechuga	96,00%	— 0°,295 C.
Repollo	94,32 "	— 0°,595 C.
Calabaza	94,40 "	— 0°,600 C.
Papa (planta)..	87,95 "	— 0°,625 C.
Mazorca	67,23 "	— 0°,635 C.
Pasto	82,51 "	— 1°,195 C.

En resumen, las plantas se hielan tanto más fácilmente, cuanto mayor sea la riqueza en agua.

Si se practica la medida, exactamente a la temperatura del punto crioscópico del jugo celular, se observa que el líquido se clarifica por precipitación de las albúminas.

Este fenómeno parece que nos da la explicación de lo que sucede al nivel de la célula. Se sabe que en la formación del hielo, un alto potencial eléctrico, se desarrolla entre la fase hielo y la fase agua. Los cristales de hielo llevan carga positiva. En el interior de la célula, se forman continuamente en el momento de la helada, pequeños cristales de hielo que flotan en el líquido, y como las materias albuminoideas están formadas por micelios cargados negativamente, la neutralización de la carga, ocasiona la precipitación o floculación del coloide, y las albúminas al precipitarse cambian su naturaleza química y la célula muere.

Por esta razón el aspecto de las hojas heladas es distinto del de las secas naturalmente. En las primeras, las venas, nervaduras y pecíolos, se enjutan, en las últimas, conservan más o menos su forma. Inmediatamente pasa la helada, las hojas se marchitan, después se ennegrecen, y por la deshidratación que el fenómeno ocasiona, pasa al ambiente el olor característico del jugo celular.