

25414

PLUTARCO NARANJO V.

UNIVERSIDAD CENTRAL
CONTROL DE BIENES



4047076



LAS HELADAS Y LA NECROSIS FRIA DE LAS PLANTAS



QUITO - ECUADOR

Imp. de la Universidad

— — 1947 — —



Sistema Integrado de Bibliotecas Biblioteca digital UCE

Calle Jerónimo Leyton y Gato Sobral – Cda. Universitaria
+593 2230757 ext: 808 biblioteca.general@uce.edu.ec

BASE LEGAL PARA DIGITALIZACIÓN DE LIBROS CON DERECHOS DE AUTOR

El Sistema Integrado de Bibliotecas de la Universidad Central del Ecuador, digitalizará su acervo bibliográfico siempre y cuando sea para fines educativos y de investigación. No se permite la reproducción y distribución para la comercialización directa e indirecta del mismo.

La digitalización del material bibliográfico se lo realiza de acuerdo al Código Orgánico De La Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación Art. 212 numeral 9, Literal ii “(...) Una biblioteca o archivo podrá, además, realizar los siguientes actos (...) La reproducción electrónica y comunicación pública de obras de su colección para ser consultadas gratuita y simultáneamente hasta por un número razonable de usuarios, sólo en terminales de redes de la respectiva institución o para usuarios de esa institución bajo su control, en condiciones que garanticen que no se puedan hacer copias electrónicas de esas reproducciones” y literal vii “La reproducción, adaptación, traducción, transformación, arreglo, distribución y comunicación de una obra protegida por derechos de autor o una prestación protegida por derechos conexos, en uno o más formatos accesibles para el uso exclusivo de personas con discapacidad”.

Este material se considera un producto intelectual a favor de su autor; por tanto, la titularidad de sus derechos se encuentra protegida por el Código Orgánico De La Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación. La violación a dichos derechos constituye un delito que será responsabilidad del usuario.

Este libro está disponible físicamente en:

BIBLIOTECA		PISO	
		ESTANTE	
		BANDEJA	
CONVENIO INTERINSTITUCIONAL		UNIVERSIDAD	



SIBUCE



Donación 1981



103

LAS HELADAS Y LA NECROSIS FRIA DE LAS PLANTAS



EDICIÓN ESPECIAL

1974

IMPRESA

QUINTA EDICIÓN

1974



COLABORADORES GRAFICOS:

J. ERNESTO LLERENA

DIBUJANTE MICROGRAFO

JUAN ERAZO

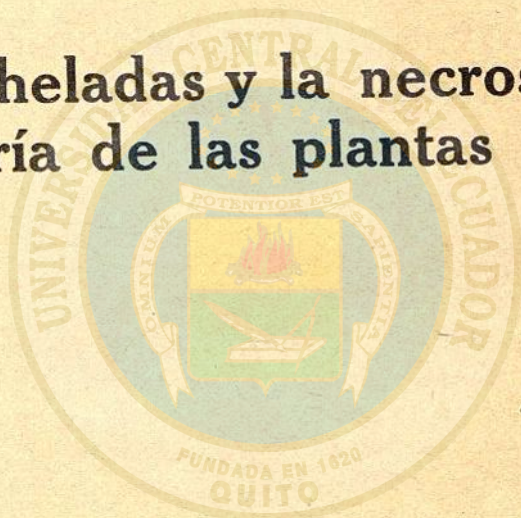
FOTOGRAFO

Nº ALTA 4047076

PLUTARCO NARANJO V.

632.11(866)
11218h
Q.2

Las heladas y la necrosis fría de las plantas



QUITO - ECUADOR

Imp. de la Universidad

— 1947 —

Las heladas y la necrosis fría de las plantas

INTRODUCCION:

Hasta ahora la agricultura constituye la principal fuente de riqueza del país. Los productos tropicales se exportan anualmente por valores que se calculan en millones de dólares. Los productos de la Sierra son indispensables para el consumo interno, siendo además necesario el incremento de algunos cultivos, como el del trigo por ejemplo, para evitar la importación de este nutritivo cereal.

Uno de los problemas más graves que ha confrontado y sigue confrontando la agricultura nacional es el de las **"heladas"**. Sin embargo bien poco es lo que se ha hecho para conocer su naturaleza, el por qué destruyen las sembreras y la manera de conjurar el peligro, y todavía esto debido sólo a la iniciativa particular de algunos investigadores.

La agricultura en la mayoría de los países del mundo ha realizado adelantos considerables. La ciencia y la técnica la han impulsado maravillosamente. El Ecuador, por desgracia,

parece que se hubiera escapado de esta corriente progresista del mundo. No ha superado aún, sino en mínima parte la época del arado de palo. Uno de los principales culpables de este retraso técnico, a más de los grandes propietarios que no se han interesado por mejorar la agricultura, es el Estado. Casi ninguna preocupación ha demostrado el Estado por los problemas de la agricultura nacional; basta considerar que por muchos años en el Ecuador, apenas ha existido una sola escuela elemental de agricultura.

Bajo estas condiciones, fácil es comprender que problemas, por fundamentales que hayan sido, como el de las heladas por ejemplo, no iban a ser abordados y resueltos técnica y científicamente. Y hay que tener en cuenta que la solución de muchos problemas no está en importar los métodos empleados en los países más adelantados; así, las heladas, en el Ecuador tienen sus características propias, peculiares, no es el mismo problema del resto del mundo.

No existen estadísticas capaces de permitir una comprobación matemática de los perjuicios que anualmente causan las heladas a la agricultura y la economía nacionales, no obstante puede considerarse que por lo menos de un 20% a un 30% de la producción anual de la Sierra, se pierde por las heladas. Ha habido años que este porcentaje ha pasado del 50% en algunas regiones, como ocurrió por ejemplo en el año de 1942, en el que se produjo consecuentemente una tremenda carestía de los víveres.



Para nuestro criterio, la cátedra universitaria no debe concretarse exclusivamente a la labor docente sino también compartir con la investigación científica, y en lo posible, enfocada a resolver los problemas nacionales.

Está bien que la Universidad cumpla con su función de formar profesionales, pero sería de inmenso provecho para la Nación y para la ciencia el que mantenga un cuerpo de investi-

gadores y el que cada vez forme nuevos investigadores. Es necesario ir creando desde el mismo Colegio un espíritu de investigación científica en los alumnos que demuestran capacidad para tales disciplinas. Quizá en el Ecuador hay un exceso de profesionalismo y un mínimo de investigación. Es cierto desde luego, que en nuestro medio, el investigador científico no goza de ninguna garantía y menos de una remuneración apropiada, grave problema que debería obviarse en el futuro.

Convencidos de aquella obligación quienes formamos parte del personal del Instituto Botánico de la Universidad Central, hemos venido realizando algunas investigaciones, cuyo valor no nos incumbe juzgar. En el presente caso y desde la cátedra de Botánica Agrícola hemos realizado un modesto trabajo sobre el problema de las heladas.

Sinceramente creemos no haber hecho algo definitivo, es posible que estemos equivocados en la apreciación de algunos fenómenos y en la teorización de otros; nuestro propósito fundamental es contribuir en algún grado a la resolución de los grandes problemas nacionales y al adelanto de las ciencias.

Es necesario distinguir el fenómeno meteorológico y el fenómeno fisiopatológico. El fenómeno meteorológico, que es el agente traumatizante, necrozante de las plantas, universalmente es conocido con el nombre de **"la helada"**, pero para el fenómeno fisiopatológico, para el traumatismo que ocasiona, no se ha sugerido alguna denominación especial, cosa que ha dado lugar a confusiones. Por nuestra parte usamos para lo segundo la denominación de **"necrosis fría de las plantas"**; con lo cual individualizamos perfectamente el agente etiológico y el traumatismo.

Casi todas nuestras investigaciones se refieren al aspecto fisiológico y fisiopatológico del problema, que desde luego hasta hoy ha sido el menos conocido. Sin embargo en nuestro deseo de presentar un trabajo más o menos completo, hemos incursionado el campo meteorológico, que no es el nuestro, acogiéndonos en cuanto a la naturaleza de la helada, a la teoría más aceptada en la actualidad.

Quiero dejar especial constancia de que el presente trabajo no es exclusivamente personal. En él prestaron su valiosa colaboración, entre otros, todos los alumnos que integraron el Segundo Curso de Agronomía, durante el año escolar 1945—46, a quienes agradezco.

Consigno también mis agradecimientos para el señor Rector de la Universidad, quien prestó todo el apoyo moral y económico que requirió este trabajo; igualmente para el señor Director y Profesores del Observatorio Astronómico de Quito, por su bondadosa colaboración.



LA NECROSIS FRIA DE LAS PLANTAS

I.—DEFINICION.

La necrosis fría de las plantas es un traumatismo ocasionado por la helada, la cual al desorganizar los procesos respiratorios celulares, produce un estado acidósico que determina la coagulación de los coloides protoplasmáticos, y en último término la muerte del vegetal.

II.—HISTORIA.

La necrosis de las plantas, la destrucción de las sementeras a consecuencia de las heladas, han sido conocidas desde los tiempos prehistóricos; sin embargo, la mayoría de los conocimientos habidos se refieren casi exclusivamente al agente etiológico.

En la antigua Grecia eran ya conocidas las heladas y sus efectos. En Alemania, Francia, Suiza, etc., se han realizado numerosas investigaciones sobre las heladas, pero especialmente desde el punto de vista climatérico.

En el Ecuador, pese a la enorme importancia que tiene para la agricultura y la economía nacionales, y pese a los carac-

teres de tipicidad del fenómeno, no ha sido estudiado eficientemente, aparte de otras razones, por la falta de estaciones meteorológicas, de estadísticas, etc. Unos pocos trabajos han sido dados a la publicidad en el transcurso de muchos años.

Por los datos consignados en sus respectivas Historias, por el Padre Juan de Velasco (1), y el Arzobispo González Suárez (2), se sabe que los Incas tenían conocimientos bastante acertados sobre las heladas a las que combatían mediante nubes artificiales de humo.

"Ellos habían reconocido, por ejemplo, que la helada se manifiesta siempre bajo un cielo puro y una atmósfera tranquila; temiendo los efectos del frío nocturno cuando las estrellas brillaban con un vivo resplandor y el aire no estaba agitado, los indios prendían fuego a montones de paja húmeda o a los estiércoles, a fin de producir humo y turbar con él la transparencia del aire, cuyos efectos temían sobre las plantas tiernas o sobre las flores del maíz, base de su alimento" (3).

Además, el Inca Garcilazo anota: "La tercera fiesta solemne se llamaba cusqueiraimi. Hacíase cuando ya la sementera estaba hecha, nacido el maíz. Ofrecían al sol muchos corderos, ovejas machorras y carneros, suplicándole mandase al hielo y no les quemase el maíz" (3).

Entre los trabajos realizados en el país sobre las heladas, en la época moderna, merecen citarse especialmente los de Nicolás Martínez, que fué Director del Observatorio Astronómico de Quito y Luciano Andrade Marín, ex-Director de la Escuela Politécnica Nacional y Profesor de Climatología de la Universidad Central, climatólogos de muchos méritos, que han estudiado la helada especialmente desde el punto de vista meteorológico.

También han efectuado investigaciones, el Sr. Luis A. Montenegro, actual Director de la Escuela de Agricultura de Quillán, y el Sr. Luis A. Jarrín, quien ha hecho experiencias sobre la profilaxis de la helada mediante nubes de humo.

Sin embargo el aspecto fisiopatológico, el proceso necrótico de las plantas sometidas a la helada, que nosotros sepamos,

no ha sido abordado científicamente en el Ecuador; creemos que nuestro trabajo constituye un primer aporte para el esclarecimiento del problema.

III.—ETIOLOGIA.

A.—PRELIMINARES:

La causa de la necrosis fría de las plantas es el fenómeno meteorológico conocido con el nombre de **helada**.

La **helada** es el descenso más o menos brusco de la temperatura alcanzando en algún momento niveles inferiores al 0°C. a nivel del suelo (temperatura "césped").

Aunque la helada es un fenómeno meteorológico universalmente conocido, en el Ecuador tiene características muy peculiares, relacionadas estrechamente con la topografía y clima de este país, por lo cual indicaremos los más salientes rasgos de su relieve y clima.

1.—El relieve del Ecuador. (4,5) La parte continental de la República del Ecuador se encuentra situada en la zona Noroccidental de la América del Sur, atravesada por la línea equinoccial y por lo mismo comprendida en la Zona Tropical.

De Norte a Sur, los Andes, divididos en dos cordilleras: Oriental y Occidental, atraviesan el territorio ecuatoriano dividiéndolo en 3 regiones: la región Occidental, llamada también Litoral o Costa; la región Interandina o Sierra y la región Oriental.

Entre las cordilleras Oriental y Occidental se escalonan sucesivamente cadenas montañosas, designadas con el nombre de **nudos**; con lo cual la región Interandina, queda subdividida en varias **Hoyas**.

La altitud de la región Litoral o Costa, va desde el propio nivel del mar, hasta los 1.000 mts. aproximadamente. La altitud del perfil de las cordilleras es variable; en algunas hoyas el perfil oriental es más alto que el occidental y viceversa. Además, la altitud de dicho perfil disminuye de Norte a Sur. Puede señalarse como cifra aproximada los 4.000 mts.; pero en ambas cordilleras se encuentran ubicados: cerros, nevados y volcanes de mayores altitudes con un máximo de 6.310 mts., que corresponde al Chimborazo (6).

La superficie de las hoyas está comprendida entre las altitudes aproximadas de 1.800 mts. y 3.500 mts.

Finalmente la región Oriental, que forma parte de la cuenca Amazónica, se encuentra comprendida entre los 1.500 mts. y los 500 mts. de altitud.

Sin embargo de esta división geográfica, desde el punto de vista geobotánico, el Ecuador ha sido dividido en otras zonas o regiones. Así por ejemplo, Wolf (4) divide en cinco grandes regiones, mientras Diels (7) lo hace en diez regiones.

La región geobotánica que interesa para nuestro particular estudio es la interandina, o sea la meseta comprendida entre las dos cordilleras de los Andes; meseta de superficie completamente irregular y aprovechada en gran escala para el cultivo de tubérculos, hortalizas, cereales y frutales, tales como: patatas, maíz, cebada, trigo, fréjol, habas, lechugas, coles, manzanos, perales, etc.; siendo en esta región en donde las heladas destruyen las sementeras.

2.—El clima del Ecuador. (8) El clima del Ecuador es tropical, pero no homogéneo, uniforme. Por el contrario, debido a la influencia de variados factores geográficos, el clima es heterogéneo en todo el territorio nacional.

La temperatura varía en forma muy notoria: disminuye con la altitud, y fácilmente, desde temperaturas medias de 26°C. o más, se puede pasar sucesivamente a temperaturas medias inferiores al 0°C; por lo cual algunos autores, equivocando clima

con temperatura, han afirmado que en el Ecuador existen todos los climas del mundo.

En la Costa el clima es típicamente tropical, aunque hay diferencias entre la parte meridional y la septentrional. La temperatura media, según la altitud y proximidad o no al mar, varía entre los 20° y los 28°C. El aire es bastante húmedo, pero está influenciado por la proximidad del mar y especialmente de la corriente de Humboldt, y la época del año.

En la Costa son bien marcadas dos estaciones: la lluviosa y la seca. La estación lluviosa, llamada vulgarmente "invierno", comienza a fines de Diciembre y termina en Mayo o Junio. Se caracteriza por la frecuencia casi diaria de las lluvias y el aumento de temperatura media en unos pocos grados. La estación seca, llamada vulgarmente "verano", comprende los meses restantes; la temperatura disminuye y no hay precipitaciones atmosféricas.

El clima de la región Oriental es bastante parecido al de la Costa, sin embargo, hay mayor humedad, mayor cantidad y frecuencia de las lluvias y las estaciones anuales son menos marcadas que en la Costa.

El clima de la región Interandina, si bien presenta algunos caracteres más o menos generales, difiere según la altitud y la topografía de la zona.

Para las altitudes comprendidas entre 2.000 mts. y 3.000 mts., la temperatura media oscila entre 11° y 18°C. El aire es bastante seco; las lluvias son escasas o abundantes según la zona; sin que haya diferenciación clara de estaciones anuales en toda la región Interandina. Es justamente en esta región, a partir de los 2.000 mts. o 2.500 mts. en donde se producen las heladas.

Nicolás Martínez (9), quien ha estudiado con bastante detenimiento la climatología del Ecuador, distingue característicamente dos tipos de climas en la región Interandina. El primero se encuentra en las hoyas cuyo sistema fluvial se abre hacia la Costa, a través de profundas gargantas labradas en la cordillera Occidental. Este clima se encuentra influenciado po-

derosamente por el clima de la Costa, y así como allí hay dos estaciones: lluviosa y seca, en estas hoyas, aunque en forma menos marcada se especifican las dos estaciones, que por lo demás coinciden en el tiempo. El otro tipo climático se encuentra en aquellas hoyas cuyo sistema fluvial se abre hacia el Oriente. En estas hoyas se esbozan las cuatro estaciones anuales de la Zona Templada, que coinciden con las similares del Hemisferio Austral, haciendo posible el cultivo de frutales como la vid, el manzano, el peral, etc., propios de las Zonas Templadas; cultivos que hasta ahora, han fracasado en las hoyas de "clima occidental".

Pero, estas microestaciones están muy lejos de presentar todos los caracteres meteorológicos de las verdaderas estaciones anuales.

En general en el Ecuador, la temperatura media de un lugar, aunque varía en unos pocos grados centígrados durante el año, está muy lejos de variar en la forma e intensidad en que lo hace en la Zona Templada. La duración del día (horas de iluminación) reconoce igualmente pequeñas oscilaciones, lo contrario de lo que ocurre donde existen las cuatro estaciones.

Como se ve, aunque en el Ecuador hay lugares con temperaturas: cálida, templada, fría y glacial, está lejos de poseer todos los climas del mundo, y sí únicamente el clima tropical con muchas variantes.

B.—COMO SE PRODUCEN LAS HELADAS EN EL ECUADOR.

Por poseer datos precisos registrados en la Estación Meteorológica del Observatorio Astronómico de Quito (10), en esta parte de nuestro estudio nos referiremos exclusivamente a las heladas de Quito y sus alrededores.

La ciudad de Quito se encuentra situada hacia la parte Occidental de la Hoya del Guayllabamba, en las faldas del volcán Pichincha, a una altitud de 2.819 mts.; latitud Sur igual a

0° 12' 58" y longitud W. de Greenwich igual a 5 h. 13 m. 59,8 s. La hoya del Guayllabamba, participa del clima occidental.



La causa de las heladas en el Ecuador parece residir únicamente en el fenómeno de la **radiación-irradiación**.

Durante las horas del día, la superficie de la tierra está sujeta a la radiación solar y acumula calor en sus capas más superficiales. El poder de penetración de las radiaciones solares depende de la longitud de la onda, pero se tiene probado que para Quito, la capa terrestre sujeta al fenómeno de la radiación y la irradiación es de una profundidad de 0.30 mts.

Durante la noche al ocultarse el sol, resulta que la superficie de la tierra, en relación a la atmósfera, se encuentra como "sobre calentada" e irradia el calor acumulado durante el día.

Esta irradiación se encuentra controlada por el grado de nebulosidad (que está dado por la cantidad de nubes existentes en la atmósfera; a mayor nebulosidad corresponde un minimum de irradiación; usando una gráfica expresión se puede decir que las nubes son las cobijas de la tierra e impiden su irradiación.

Pero cuando el cielo está límpido, con ausencia absoluta de nubes, la irradiación es intensa y tanto la superficie de la tierra cuanto las capas inferiores de la atmósfera, sufren un enfriamiento que llega al máximo a las 6 o 6½ a. m. Cuando este enfriamiento a nivel de la superficie de la tierra llega a 0°C o menos, se dice que se ha producido la **helada** (11).

El vapor de agua atmosférico juega un papel importante en la producción de la helada. En la atmósfera existe una cierta cantidad de vapor de agua (10) que se avalúa en mm. de Mercurio de presión o en grs. por metro cúbico de aire. A mayor temperatura la atmósfera necesita para saturarse o sea para llegar al 100% de humedad relativa, una mayor cantidad de vapor de agua (humedad absoluta). Ahora bien, si en una noche despejada la atmósfera está rica en vapor de agua al producirse su condensación por el enfriamiento del aire, como es un

fenómeno exotérmico, hay desprendimiento de calor, el cual calienta ligeramente la atmósfera, e impide un exagerado enfriamiento de la tierra y las capas bajas del aire. En estos casos o no se produce la helada, o es una helada benigna, que no ocasiona la necrosis vegetal. En la mayoría de estas heladas hay formación de rocío y en algunas regiones los campesinos le conocen como la **"helada blanca"** o **"helada de agua"**.

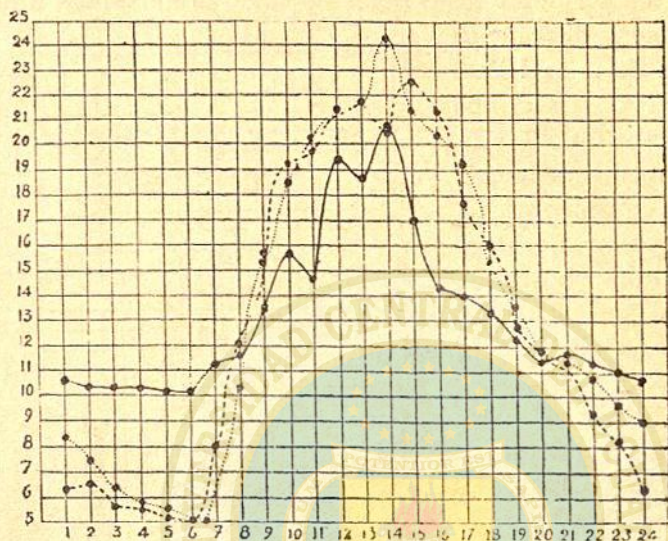
En cambio, cuando la atmósfera está pobre en vapor de agua, las capas bajas del aire pueden enfriarse por debajo del 0°C y una parte del vapor de agua puede sublimarse y pasar directamente a la forma cristalizada, depositándose en la superficie de las hojas y de la tierra. Los agricultores conocen a ésta como la **"helada negra"**, y es la que produce la necrosis vegetal.

Para continuar adelante en esta explicación, nos serviremos de algunos trazados de días de heladas y un día patrón que lo llamaremos "día normal".

1.—La temperatura del aire a 1,50 mts.—Un día normal, como puede verse en la Figura N^o 1, registra el siguiente trazado de temperatura: a partir de las 6 a. m. hora en que el aire comienza a ser calentado por el sol; la temperatura comienza a subir haciendo breves oscilaciones, para llegar al máximum, generalmente a las 14 horas (2 p. m.). A partir de este momento la temperatura baja con pequeñas oscilaciones hasta las 20 horas (8 p. m.). La diferencia entre el punto de partida (6 a. m.) y el punto máximo (14 horas), varía generalmente entre 8 y 12°C . Desde las 20 horas hasta las 6 a. m. del siguiente día, la temperatura se mantiene casi en meseta, con un breve declive en descenso, equivalente a 2 o 3°C .; o sea, durante la noche y la madrugada, el aire se enfría ligeramente.

En la helada —véanse trazados correspondientes a las heladas del 7 y 20 de Enero de 1937—, a partir de las 20 horas, la temperatura sigue descendiendo en un declive más o menos brusco, hasta las 6 a. m., momento en el que se registra la tem-

peratura más baja. La diferencia entre las 20 horas y las 6 a. m. del siguiente día, es siquiera de 5°C .



(FIG. Nº 1).—La temperatura del aire a 1,50 mts. de altura sobre el nivel del suelo.

En el eje de las ordenadas: grados centígrados.

En el eje de las abscisas: las 24 horas del día.

—————=Un día normal. Corresponde al 1º de Enero de 1937.

-----=Helada del 7 de Enero de 1937.

.....=Helada del 20 de Enero de 1937.

En Quito la temperatura mínima absoluta registrada a 1,50 mts. sobre el nivel del suelo, en días de heladas, está entre 1° y 2°C .

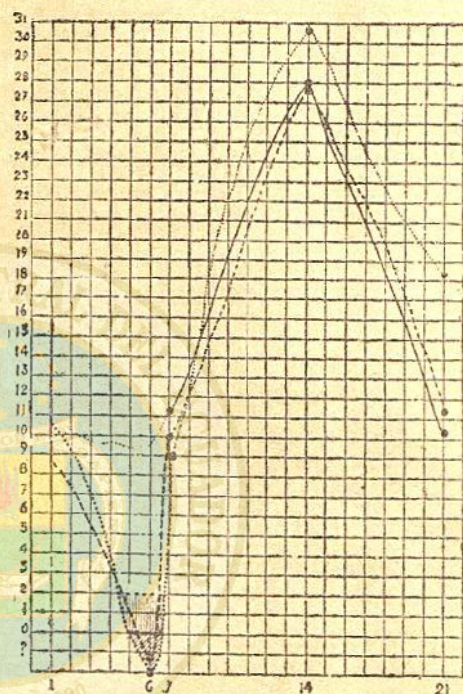
A partir de las 6 horas, en los días de heladas, la temperatura sube violentamente hasta las 14 horas; registrándose diferencias de 15° a 25°C . entre las 6 a. m. y las 14 horas.

2.—La temperatura del aire a nivel del suelo (temperatura "césped").—Las diferencias térmicas a nivel del suelo son más

marcadas que a 1,50 mts. de altura. Para un día normal, el trazado es semejante al visto a 1,50 mts. de altura; esto es, comienza a subir desde las 6 horas llegando al máximo a las 14 horas, con diferencias térmicas de unos 18° a unos 22°C . Desciende luego hasta las 20 o 21 horas; momento desde el cual comienza un declive suave de unos pocos grados, hasta las 6 horas del siguiente día. (Véase Fig. N° 2).

En la helada, el descenso de temperatura durante la noche y la madrugada, se hace bruscamente, bajando del 0°C . La diferencia entre la primera y la sexta hora solamente, es de 10°C . o más. El tiempo que la temperatura permanece por debajo de 0° , se calcula entre media hora a unas dos horas, según la intensidad de la helada.

Pero como el efecto de la helada probablemente, se produce desde antes del 0° , el tiempo de "sufrimiento" del vegetal se prolonga por



(FIG. N° 2). — La temperatura del aire a nivel del suelo (césped).

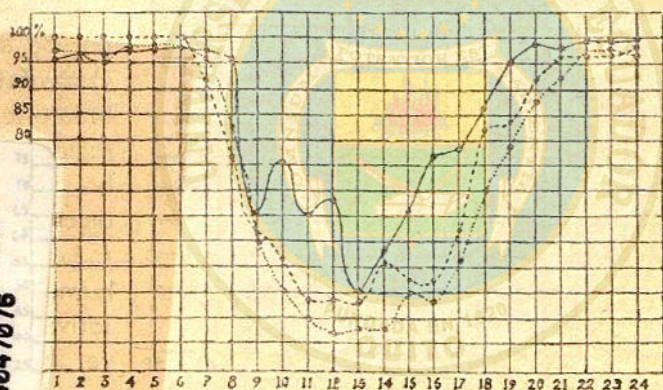
- = Un día normal. Corresponde al 19 de Enero de 1937.
- = Helada del 7 de Enero de 1937.
- = Helada del 20 de Enero de 1937.

A partir de los 2°C las plantas soportan temperaturas inferiores, por un tiempo aproximado de 3 horas. En la figura, la zona está sombreada. Es posible que el efecto nocivo comience antes de los 2° .

ambos lados del trazado, o sea desde las 3 o 4 de la mañana hasta las 7 horas, aproximadamente.

A partir de las 6 horas la temperatura se eleva, casi en línea vertical hasta las 14 horas, con diferencias entre tales horas, de unos 25° a 35°C .

3.—La humedad relativa.—En un día normal, durante la noche y la madrugada, hasta las 6 horas, la humedad relativa se mantiene en meseta, con cifras cercanas a la saturación (de 80% a 100%). A partir de las 6 horas, la humedad relativa comienza a disminuir haciendo oscilaciones hasta las 12 o 14 horas, momento desde el cual aumenta haciendo oscilaciones, hasta las 20 horas, para reiniciarse la meseta. (Véase Fig. N° 3).



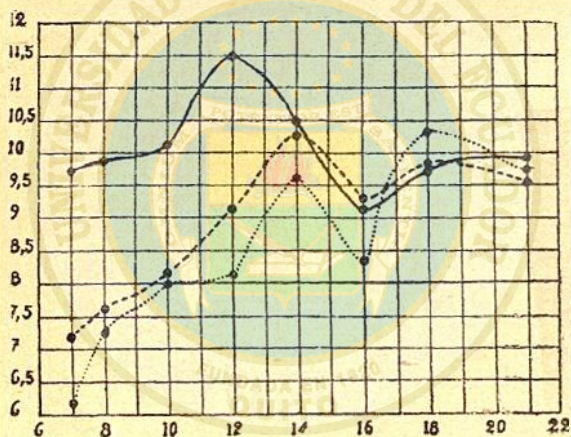
(FIG. N° 3).—La humedad relativa.

- Un día normal. Corresponde al 1° de Enero de 1937.
- - - - Helada del 7 de Enero de 1937.
- Helada del 20 de Enero de 1937.

Durante la helada, en el caso particular de las dos heladas de Enero de 1937, el trazado es semejante al día normal, con la diferencia de que desde las 20 horas, hasta las 6 horas del siguiente día, la humedad está más próxima a la saturación, la atmósfera se encuentra completamente saturada (100%), y du-

rante las horas de sol la humedad relativa disminuye más que en un día normal; o sea, son días más secos y por lo mismo la atmósfera está más ávida de agua.

4.—La humedad absoluta.—Es la cantidad en gramos de vapor de agua que existe por metro cúbico de aire. En un día normal, a partir de las 6 horas, la humedad absoluta va aumentando hasta las 12 o 14 horas; para descender desde entonces haciendo generalmente una pequeña muesca hacia las 16 o 18 horas; y estabilizándose en meseta o en pequeño declive desde las 20 horas hasta las 6 horas del día siguiente. (Véase Fig. N° 4).



(FIG. N° 4).—La humedad absoluta.

En el eje de las ordenadas: milímetros de Mercurio.

En el eje de las abscisas: horas del día.

—————=Un día normal. Corresponde al 19 de Enero de 1937.

-----=Helada del 7 de Enero de 1937.

.....=Helada del 20 de Enero de 1937.

Como se ve, durante el día aumenta el vapor de agua en la atmósfera debido a la evaporación. Parece q' hay una contradicción ya que mientras la humedad relativa disminuye, la absoluta aumenta. Esto se debe a la intervención del factor temperatura.

A mayor temperatura la atmósfera necesi-

ta mayor cantidad de vapor de agua para saturarse —100% de humedad relativa—, ahora bien, durante el día, aunque hay evaporación, ésta es insuficiente para saturar la atmósfera, de-

bido al enorme y rápido aumento de temperatura; en otros términos, la evaporación no sube paralelamente al aumento de temperatura, de allí que aunque sigue aumentando el vapor de agua atmosférico hasta las 12 o 14 horas, como la temperatura sube en una proporción mayor, la humedad relativa desciende hasta esa misma hora. Al enfriarse, en cambio, la atmósfera puede llegar a la saturación y el exceso de vapor condensarse en forma de rocío o de escarcha.

En la helada, las diferencias son más marcadas, pese a la semejanza de los trazados respectivos.

La temperatura relativa es inferior en los días de helada que en los normales, sin embargo de que hay más evaporación, porque la temperatura sube más en aquellos días. Igualmente la humedad absoluta es menor en los días de heladas a pesar de una evaporación proporcionalmente mayor que en los días normales, por cuanto la atmósfera se encuentra empobrecida de vapor de agua, y el trazado se inicia desde un nivel más bajo.

En el día normal de la Figura Nº 4, desde las 7 hasta las 12 horas, aumenta de 9,7 grs. a 11,5 grs., o sea un aumento efectivo igual a 1,8 grs. de vapor de agua por metro cúbico de aire. En la helada del 7 de Enero, aumenta desde 7,2 grs. hasta 10,2 grs. o sea un aumento efectivo igual a 3 grs. por metro cúbico.

Resumiendo, en los días de heladas la evaporación es más intensa y sin embargo la atmósfera está más seca que de ordinario, debido a las modificaciones máximas de la temperatura.

5.—La insolación.—Es un día normal la insolación aumenta desde las 6 horas, alcanza el máximum, forma una meseta o desciende con mayores o menores oscilaciones según el caso.

En los días de helada, que generalmente son bien despejados, la insolación es notablemente mayor que de ordinario; llegando al máximum de insolación desde las primeras horas de

turas mayores, la temperatura del aire es mayor también, en tal virtud, las laderas están en contacto con aire cuya temperatura está sobre el 0°C. y no necesita perder mucho calor; o sea en resumidas cuentas, mientras para las planicies y hondonadas meteorológicamente se produce la helada, para las laderas y declives circundantes no se llega a producir la helada y por ende las sementeras no sufren destrozos.

Finalmente hay que considerar que los factores edafológicos (12) pueden influenciar en cierto grado para que la helada sea más o menos intensa en un lugar. Por nuestra parte no conocemos investigaciones que sobre este tema se hayan llevado a cabo en el Ecuador.

IV.—FRECUENCIA Y EPOCA DE LAS HELADAS

Según parece hasta hoy, no existe ninguna constancia o periodicidad en la presentación de las heladas. El fenómeno puede ocurrir en cualquier fecha del año. No obstante, la experiencia demuestra que hay unos meses más propensos que otros para que se produzcan las heladas.

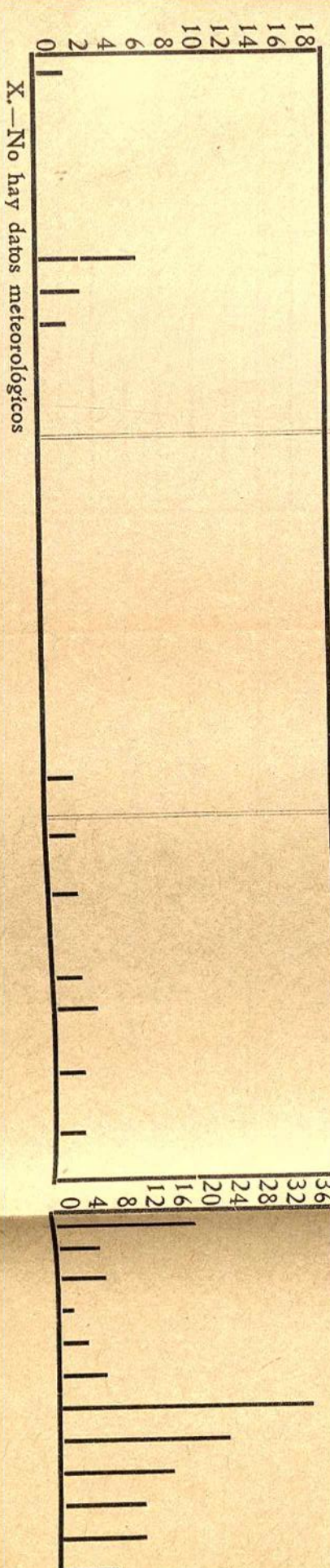
Lo mismo en cuanto se refiere a la intensidad de las heladas en un lugar determinado. Puede relativamente afirmarse que la intensidad y frecuencia de las heladas aumenta con el aumento de la altitud; sin embargo esto muchas veces está subordinado a las condiciones geográficas más variadas; y lugares de mayor altitud, como Quito por ejemplo, sufren heladas de menor intensidad y en menor número que en lugares más bajos, por ejemplo Ambato.

1.—Frecuencia de las heladas en Quito.—Es viejamente sabido que en Quito los meses de verano, particularmente Julio y Agosto, son los más propensos a las heladas, en razón de que en estos meses el cielo se presenta despejado, aumenta la inso-

OBSERVATORIO ASTRONOMICO DE QUITO (2.819 m.)

ESTADÍSTICA DE LAS HELADAS OCURRIDAS DURANTE LOS AÑOS 1935—1945

Enero	1935
Febrero	
Marzo	
Abril	
Mayo	
Junio	
Julio	
Agosto	
Setiembre	
Octubre	
Nvmbre.	
Dicmbre.	
Enero	1936
Febrero	
Marzo	
Abril	
Mayo	
Junio	
Julio	
Agosto	
Setiembre	
Octubre	
Nvmbre.	
Dicmbre.	
Enero	1937
Febrero	
Marzo	
Abril	
Mayo	
Junio	
Julio	
Agosto	
Setiembre	
Octubre	
Nvmbre.	
Dicmbre.	
Enero	1938
Febrero	
Marzo	
Abril	
Mayo	
Junio	
Julio	
Agosto	
Setiembre	
Octubre	
Nvmbre.	
Dicmbre.	



X.—No hay datos meteorológicos



lación y con ella la evaporación, que desde luego no alcanza a formar nubes localmente, con lo cual el suelo y la atmósfera van cada vez más perdiendo humedad.

Para ilustrar el problema hemos realizado un gráfico estadístico de las heladas ocurridas en el lapso de 1935 a 1945; primero, separadamente las heladas en mes y año, y segundo, la estadística total de las heladas en los 11 años.

Si bien la estadística de los años indicados, no es suficiente para sacar conclusiones definitivas, puede observarse que las heladas se producen en cualquiera época, aunque sean más numerosas en determinados meses. El número de heladas para el mismo mes, en los diferentes años, es completamente variable.

En el cuadro estadístico de los 11 años se observa que el mes de Enero es bastante rico en heladas; luego desciende bruscamente hasta Abril que es el mes en el cual se registra el menor número de estos fenómenos; en los meses siguientes de Mayo y Junio asciende un poco, para en el mes de Julio subir bruscamente al máximo. En los siguientes meses baja con una gradiente poco intensa hasta el mes de Diciembre. De esta estadística puede concluirse que el mayor número de heladas se registran en Julio, Agosto y Enero.

2.—Frecuencia de las heladas en Cotopaxi.—La Estación Meteorológica de Cotopaxi se encuentra situada a 3.327 mts. sobre el nivel del mar y aproximadamente a 50 Km. al Sur de Quito. Aunque en esta región podría decirse que los climas de tipo oriental (de la hoya de Latacunga y Ambato) y Occidental (de la hoya de Quito) chocan entre sí, predomina la influencia de tipo occidental, de manera que Cotopaxi participa en cierta forma del tipo climático de Quito.

Como puede juzgarse por las estadísticas que presentamos, Cotopaxi resulta ser un lugar de enorme frecuencia e intensidad de heladas.

Las estadísticas se refieren al lapso de 1935 a 1940, posteriormente a este año no existen datos. Se puede ver que con excepción de pocos años, se producen heladas durante todos los

meses del año. El gráfico que resume la estadística de los 6 años, presenta un trazado parecido al de Quito: Enero registra un apreciable número de heladas; disminuye hasta Marzo, aumenta lentamente hasta Junio, luego sube más intensamente en Julio y en Agosto llega al máximo, para descender lentamente hasta Diciembre.

3.—Frecuencia de las heladas en Ambato.—La Estación Meteorológica de Ambato se encuentra a 2.540 m. sobre el nivel del mar: a 160 Km. al Sur de Quito, y situada en la hoya de Latacunga y Ambato, la cual participa del clima "oriental", según la clasificación de Martínez.

Para el mismo período de tiempo, estudiado en Quito, la estadística demuestra un mayor número de heladas en Ambato que en la ciudad antes mencionada. Además, la temperatura césped, durante la helada, baja más en Ambato que en Quito.

Para Ambato puede hacerse la misma afirmación de que las heladas se producen en cualquier época del año, aunque en el lapso de 1935 a 1945, en el mes de Marzo no se ha registrado ni una sola helada.

La estadística de los 11 años demuestra que la frecuencia de las heladas disminuye de Enero a Marzo. Pero el mes de Enero en Ambato es notoriamente más pobre en heladas que en Quito o en Cotopaxi. De Marzo a Mayo sube ligeramente. En Junio, el número de heladas asciende bruscamente; y en los meses restantes, con excepción de Noviembre que registra el máximo, el trazado se mantiene en cima con pequeñas oscilaciones.

No es nuestro propósito estudiar la frecuencia de las heladas para todos los principales lugares de la Sierra, ni existen datos meteorológicos para tal estudio; baste con indicar que la frecuencia es variable en cada lugar, aunque en términos generales, el mayor número está desplazado hacia el segundo semestre del año.

En el estudio de la frecuencia e intensidad de las heladas hay que tener en cuenta los diversos factores estudiados, como: altitud y clima local; topografía de la región, naturaleza quími-

ca del terreno (12), tipo de vegetación, cercanía o no a bosques, etc. En cuanto a clima local —microclimas de los ingleses—, aunque se reconozca la existencia de los dos tipos climáticos en la región interandina; localmente en cada lugar hay apreciables variaciones. Las mismas estadísticas presentadas, demuestran por ejemplo, que no coinciden los meses de mayor frecuencia de heladas.

4.—La frecuencia de las heladas y la destrucción de las sementeras.—Heladas blancas y heladas negras.—Revisado el problema de la frecuencia de las heladas, surge de inmediato la pregunta: ¿todas las heladas producen destrozos en las sementeras? La respuesta es negativa. Ahora bien, ¿cuáles son las heladas que determinan la necrosis vegetal? Por el momento esta pregunta no puede ser contestada definitivamente.

Para el meteorologista hay helada cuando la temperatura césped baja del 0°C., anota el fenómeno y termina su labor. Para el agricultor, en cambio, hay **helada** y **helada negra**, para hablar con precisión, cuando luego de una noche fría, con cielo despejado, las plantas amanecen marchitas y después mueren total o parcialmente.

Pero desgraciadamente la labor, la observación del meteorologista, no se ha combinado con la del agrónomo y del agricultor. Todos hablan de heladas y sin embargo, para cada cual significa diferentes cosas.

Sin sentar nada definitivo, por nuestras observaciones y experiencia, podemos afirmar:

1º—Las heladas de los meses secos ocasionan con mayor frecuencia la necrosis vegetal.

2º—Sólo en aquellos casos en que la temperatura descien-de algunos grados bajo cero; en otros términos, sólo cuando la helada es muy rigurosa, una helada aislada puede producir necrosis vegetal. Lo general es que la necrosis se produzca después de 2, 3 o más heladas consecutivas; o también que durante 1, 2 o más días anteriores a la helada y la necrosis, la temperatura haya descendido hasta muy cerca de la "helada", cosa

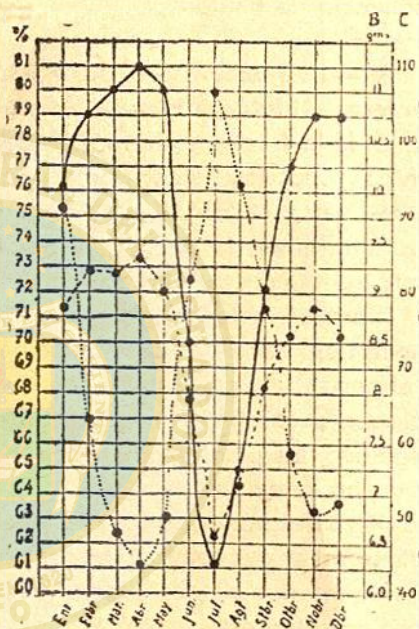
que en el expresivo lenguaje de los campesinos es indicado como que: "El cielo está amenazando helar". La necrosis vegetal, salvo el caso de heladas "rigurosas", no es un proceso violento, sino un proceso que se "prepara" en muchas horas de frío y puede culminar en las pocas horas de temperatura inferior al 0°C.

La mayoría de las heladas de Enero, para Quito y primeros meses del año para Ambato, son del tipo de **heladas blancas**, que son heladas benignas.

Pero veamos qué posible explicación tiene esto de helada blanca y su benignidad. En primer lugar revisemos el cuadro anual de humedades y evaporación en Quito. (Véase Figura Nº 6).

Tomamos como ejemplo el año de 1942, que dentro del período de 1935 al 45, es el año de mayor número de heladas.

La humedad relativa, en Enero, se mantiene en una cifra bastante alta (76%), y asciende hasta Abril (81%) que es el mes en el que hay el menor número de heladas. Desde Abril descende bruscamente hasta Julio (61%), que es el mes más seco y de



(FIG. Nº 6).—Cuadro comparativo de las variaciones anuales de las humedades absoluta y relativa y de la evaporación.

Las cifras corresponden a valores promedios de los meses de 1942 (año en el que se registran más heladas en el lapso de 1935 al 1945).

A=—————=Humedad relativa.
B=- - - - - =Humedad absoluta.
C=.....=Evaporación.

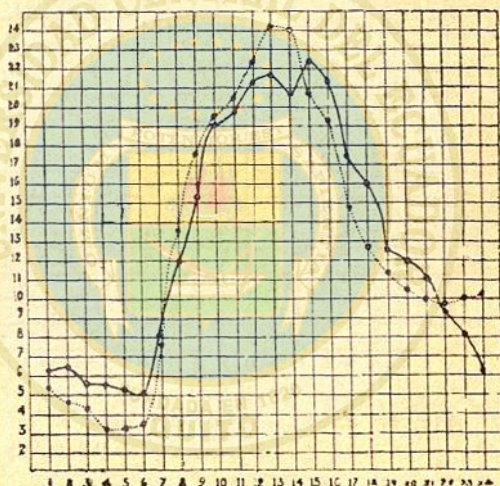
mayor número de heladas. Desde Julio sube hasta Diciembre, en tanto que el número de heladas disminuye de Julio a Diciembre.

La humedad absoluta sigue una curva parecida, aunque sin guardar estricta relación, debido a la diferencia de temperatura: sube de Enero a Abril, baja hasta Julio y nuevamente sube hasta Noviembre y Diciembre.

La evaporación, por el contrario, realiza una curva inversa: desciende de Enero a Abril, o sea que en Abril se produce el minimum de evaporación; de Abril a Julio asciende al maximum, y de Julio a Noviembre y Diciembre vuelve a bajar lentamente.

En resumen, durante los primeros meses del año, a pesar de un bajo índice de evaporación, la atmósfera se mantiene bastante húmeda; en cambio en el mes de Julio, que se registra el máximo de evaporación, la atmósfera está más seca que en el resto del año y permite grandes descensos de la temperatura.

Comparemos a continuación una helada de un mes húmedo con la de un mes seco. Toma-



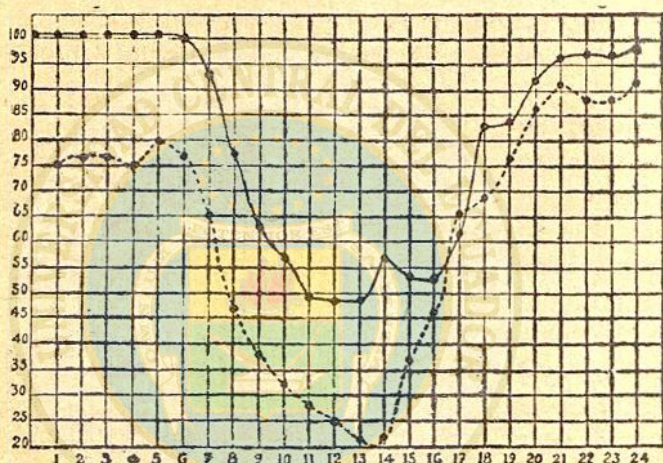
(FIG. Nº 7).—La temperatura a 1,50 m. en las heladas de épocas de humedad y de épocas de sequía).

- = Helada del 3 de Septiembre de 1936 (corresponde a un mes de gran sequía).
 ————— = Helada del 7 de Enero de 1937 (corresponde a un mes de apreciable humedad atmosférica).

mos como ejemplos: la helada del 7 de Enero de 1937 y la del 3 de Septiembre de 1936.

En la Figura N° 7 hacemos la demostración de la temperatura: en la helada de Septiembre, durante la madrugada, la temperatura desciende más y hacia el medio día asciende más que en la helada de Enero, o sea hay una mayor diferencial.

En la figura N° 8 está la demostración de la humedad relativa: en la helada de Septiembre aún en la madrugada la at-

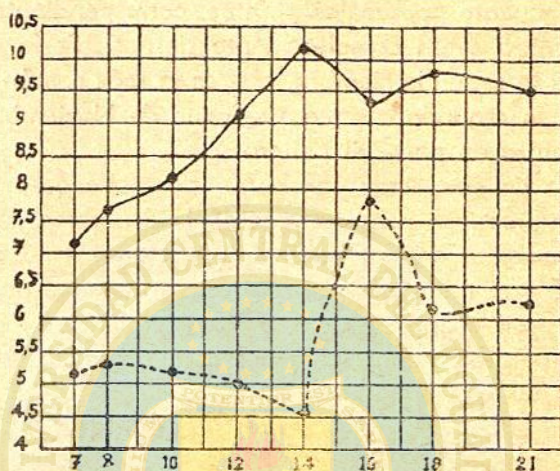


(FIG. N° 8).—La humedad relativa en las heladas de épocas de sequía y de humedad.

.....=Helada del 3 de Septiembre de 1936 (época de sequía).
 —————=Helada del 7 de Enero de 1937 (época de humedad).

mósfera está pobre de humedad y mucho más aún hacia el medio día; este factor, unido al gran descenso de temperatura determinan la severidad de la helada, con posible cristalización del vapor de agua de las capas inferiores y posible necrosis vegetal, además, en los meses de sequía es más frecuente la producción de heladas "en serie", o sea varias heladas sucesivas. En la he-

lada de Enero, en cambio, durante la madrugada la atmósfera está saturada y con el descenso de temperatura, que desde luego no es muy grande, el exceso de vapor de agua va condensándose en gotas de rocío, he aquí entonces la **helada blanca o de agua**, cuya benignidad se debe al mismo tiempo que al pequeño descenso de la temperatura, a la relativa humedad atmosférica y a la forma más o menos aislada de presentarse durante el mes.



(FIG. N° 9).—La humedad absoluta en las heladas de épocas de sequía y humedad.

Finalmente, en la Figura N° 9, se demuestra la humedad absoluta

durante las dos heladas, comprobándose nuevamente que en Septiembre la atmósfera está más seca que en Enero.

Para la región de Ambato, según aseveraciones de los campesinos, las heladas más peligrosas son las de Junio, Julio y Noviembre. En dicha región acostumbran a realizar dos siembras: la primera siembra de patatas en el mes de Mayo y la segunda en los primeros días de Noviembre; la primera siembra de cereales en Enero a Marzo, y la segunda en Octubre a Noviembre.

Las heladas de Junio son peligrosas porque las plantas se encuentran muy tiernas todavía. Las de Julio ocasionan daños cuando son bastante severas. Las heladas de Noviembre son las más peligrosas, tanto por la frecuencia y severidad del fenómeno, cuanto porque las plantas correspondientes a la segunda siembra están completamente tiernas. Sería quizá aconsejable que la segunda siembra, que es la más común, se la realice hacia la segunda o tercera semana de Noviembre, con lo cual se conjura en parte el peligro.

Lo enunciado con anterioridad, de que no todas las heladas producen necrosis vegetal, lo demuestra mejor que nada, la estadística de Cotopaxi. Hay heladas en todos los meses del año y si todas destruyeran las sementeras, no habría agricultura posible en esa zona, y las experiencias de buenas cosechas de patatas, habas, etc., nos demuestran lo contrario.

V.—PATOGENIA

La vieja y consagrada teoría de la congelación del agua, es concebida por Bousingault, en la siguiente forma: "En las noches en que el cielo está sin nubes y la atmósfera como estancada, sin viento, las plantas pierden su calórico por la radiación hacia los espacios celestes, y llegan a ponerse a una temperatura muchos grados menor que la del cero; en este estado los jugos de las plantas, se congelan, y como es bien sabido, estos jugos aumentan mucho de volumen y este aumento ocasiona la ruptura de los vasos de las plantas en que los jugos estaban contenidos. En el agua el aumento de volumen es diez veces mayor (?) al congelarse y su fuerza de expansión es tal que no resisten las rocas de las montañas. En las plantas el estrago es mayor en las partes más tiernas y por lo mismo más cargadas de jugos como son los retoños y las flores. Al día siguiente el sol no hace otra cosa que completar la destrucción, secando los órganos ya destrozados por la helada".

Nuestras primeras experiencias encaminadas a comprobar la cristalización del agua o mejor de los jugos celulares, duran-

te la helada, y luego la ruptura de los vasos conductores de la savia y de las células parenquimatosas, fracasaron repetidamente.

En las observaciones al microscopio, a pesar del empleo de delicadas preparaciones unas coloreadas y otras no, en ningún momento logramos comprobar la explosión de los vasos conductores y menos de las células en general.

Tratando de descubrir las alteraciones morfológicas que pueda producir la helada en las células, continuamos nuestras investigaciones en varias series de plantas, tanto normales como afectadas por la helada. Pronto descubrimos un hecho constante en los tejidos necrozados por la helada: **la coagulación de las masas protoplasmáticas**. Su observación era elementalmente sencilla que no dejaba lugar a dudas, trátase de células hialinas o de células naturalmente coloreadas.

¿La helada, el descenso brusco de la temperatura, determina esta coagulación de los protoplasmas? ¿Esta coagulación de los protoplasmas significa la muerte celular y en último término la muerte del vegetal?

Ante estas interrogantes hubimos de hacer un reajuste de las antiguas teorías y una revisión de los actuales conocimientos en lo que atañe a físico-química coloidal y temas complementarios.

Desde ya sentamos la teoría —en contraposición con las clásicas de la congelación de los jugos— (13) de que la helada ocasiona la coagulación de los coloides celulares y consecuentemente la necrosis de las células.

La explicación de este fenómeno nos obliga a incursionar brevemente en el campo de la físico-química coloidal al igual que en el campo de la fisiología de la respiración.

1ª Parte.—ESTUDIO DE LOS COLOIDES. (14, 15, 16, 17, 18, 19, 20).

Los coloides son sistemas dispersos cuyas partículas miden entre 0.1 y 0.001 de micra de diámetro (10^{-7} a 10^{-5} ctms.).

Los coloides presentan características o propiedades de lo más interesantes desde el punto de vista biológico. Analizaremos a continuación muchas de las numerosas propiedades de los coloides, especialmente aquellas que se relacionan con el tema principal de este trabajo.

A.—FENOMENOS DE MASA Y SUPERFICIE.

1.—Hidrofilia.—La partícula coloidal, que se denomina **micela** —tratándose de algunas proteínas, la micela puede estar constituida por una sola molécula—, en el caso de los coloides naturales, adquiere la propiedad de atraer hacia su superficie a las moléculas del solvente o fase dispersante. Si se trata de **hidrocoloides** (hidrosolubles), o sea pues de aquellos cuyo solvente o fase dispersante es el **agua**, son precisamente las moléculas de H_2O las atraídas por la micela. Pero las moléculas de H_2O no solamente son atraídas sino orientadas definitivamente alrededor de la micela. En tal virtud cada micela se rodea de varias capas de H_2O . Las moléculas de la primera capa —a partir de la superfi-



(FIG. Nº 10).—Representación esquemática de la hidrofilia.

La micela atrae fuertemente a las moléculas de agua más próximas y menos o nada a las distantes, quedando recubierta por capas de hidratación, pero sin establecer solución de continuidad con el solvente. (Original de Oparin).

cie micelar— sufren el máximo de atracción y están fuertemente orientadas. La atracción micelar está en razón inversa de la distancia, (del cuadrado de la distancia?) por lo cual las

moléculas de las capas más distantes, cada vez, son menos atraídas y orientadas, según puede verse en la Figura N° 10; hasta que, finalmente, sin solución de continuidad se encuentran las moléculas libres de H_2O que se mueven según las leyes del movimiento cinético molecular.

Una gráfica comparación de este fenómeno se puede hacer con el del magnetismo. El polo del imán, que equivaldría a la micela, atrae y orienta según sus líneas de fuerza o campo magnético a las limallas de hierro más próximas, en tanto que no influye sobre las lejanas.

Este fenómeno es el conocido con el nombre de **hidrofilia** y los coloides que presentan esta cualidad son llamados **hidrófilos**, en contraposición de los coloides **hidrófobos** —los artificiales: coloides de oro, plata, etc.—, que no presentan esta propiedad, debido, según parece, a razones electrostáticas.

"No hay capítulo en toda la físico-química que tenga mayor importancia para la Biología que el estudio de los coloides hidrófilos" (20); en efecto, la hidrofilia condiciona nuevas e interesantes propiedades de los coloides, por ejemplo aumenta la viscosidad de la solución, disminuye la tensión superficial; la hidrofilia ayuda a estabilizar al coloide, etc.

Dentro de los límites de tamaño ya señalados para la micela, la hidrofilia es inversamente proporcional al tamaño de la micela, por el aumento proporcional de superficie. En otros términos puede decirse que la hidrofilia es proporcional a la superficie de contacto.

2.—Adsorción. (21). Cuando dos fases —sólida, líquida, gaseosa— se encuentran en contacto mutuo, se producen fenómenos superficiales. Uno de ellos es la concentración de las moléculas de la una fase, por ejemplo de los gases, en la superficie de la otra fase, por ejemplo sólidos. El fenómeno se denomina **adsorción**.

Es obvio que la adsorción es proporcional a la superficie de contacto, por lo mismo, los cuerpos capilares o pulverulentos —en este caso estarían las micelas coloidales—, por presentar

una amplia superficie de reacción, su capacidad de adsorción es también muy grande.

La adsorción ha merecido actualmente detenidos estudios, habiéndose sustentado varias leyes sobre las que no insistiremos. Además su aplicación en la industria es cada día más extensa. El conocimiento preciso del fenómeno y su selectividad ha dado origen a un nuevo método, sencillo y exacto, de análisis químico; mediante las llamadas "columnas cromatográficas".

Las micelas coloidales presentan la propiedad de adsorber a los gases. La adsorción crece con la disminución del tamaño de las partículas y la menor concentración de la sustancia adsorbida.

Las moléculas de la fase adsorbida son atraídas y orientadas alrededor de las micelas en la misma forma que los coloides hidrófilos hacen con las moléculas de H_2O . La hidrofilia, en este sentido, no es un fenómeno esencialmente distinto de la adsorción.

El fenómeno es además selectivo, y aunque es cierto que esta selectividad depende de varios factores —naturaleza química, diversos grados de concentración de las sustancias adsorbidas, etc.— no es menos cierto también que en tratándose de una fase adsorbente homogénea —partículas de igual tamaño—, la selectividad de la adsorción debe depender de la masa molecular de las sustancias adsorbidas, siendo más rápidamente adsorbidas las moléculas de menor masa.

3.—Tensión superficial.—Los líquidos, frente a los gases y aún a los sólidos, tienen la propiedad característica de poder **formar gotas**, o sean pequeños cuerpos esféricos, y es bien sabido que para igual volumen, la esfera es la figura geométrica que presenta **menor superficie**. Esta tendencia de los líquidos hacia la forma esférica, denota la existencia de una fuerza que trata de disminuir su superficie, esta fuerza se llama **tensión superficial**.

Ahora bien, la tensión superficial del agua o de cualquier fase dispersante, en relación al aire, es disminuída por la pre-

sencia de las micelas. Esta disminución de la tensión superficial es directamente proporcional con la disminución del tamaño micelar.

Los coloides hidrófilos son los que producen mayores descensos de la tensión superficial. Cuando los coloides sufren disolución electrolítica, disminuyen la tensión superficial del solvente, proporcionalmente a dicha disociación.

4.—Presión osmótica (oncótica).—Las soluciones coloidales son osmóticamente activas o sea, ejercen acción o presión osmótica, que para este caso particular de los coloides ha sido llamada "**presión oncótica**".

La presión osmótica es el fenómeno en virtud del cual las soluciones más concentradas atraen el agua o el solvente, con cierta presión (presión osmótica) desde las soluciones menos concentradas hacia sí, cuando las dos soluciones se encuentran separadas por una membrana semipermeable.

En cuanto a la naturaleza misma de la ósmosis se han sustentado numerosas teorías (18, 20, 22); según unas, la membrana juega un papel pasivo, en tanto que, según otras, interviene activamente. Desde luego, con mucha frecuencia se ha confundido el fenómeno de ósmosis que simplemente se refiere al paso del agua, con el de la absorción de los iones, fenómeno este último, que se ajusta a otras leyes.

La introducción de una sustancia osmóticamente activa en una fase dispersante como el agua, determina una disminución de la **tensión de vapor** de dicha fase. Sin embargo el volumen total de las dos fases dispersante y dispersada no sufre una aparente disminución. ¿Qué significa en tal circunstancia que disminuya la tensión de vapor, que de paso sea dicho, disminuye proporcionalmente a la concentración?

No es aventurado explicar el fenómeno, en forma semejante al principio Einsteiniano de la "equivalencia de la masa de aceleración y la masa de gravitación", (23), según lo cual, las moléculas del agua se encuentran animadas de su propio movimiento cinético —comparable a la masa de aceleración—, de

lo cual, además, depende la tensión de vapor del agua. La fase dispersada crea por cada partícula o masa osmóticamente activa un campo gravitacional (equivalente al calor absorbido del agua en el proceso de disolución) —la fase dispersada equivaldría a la masa de gravitación—; de donde, al sufrir la acción gravitacional un determinado número de moléculas del agua por cada partícula disuelta, en forma parecida a lo que hemos descrito al tratar de la hidrofilia de los coloides; ese mismo número de moléculas de agua ya no podemos considerarlas sujetas al movimiento cinético y en capacidad de crear tensión de vapor, sino sujetas a la fuerza gravitacional. Consecuentemente la tensión de vapor de la solución será inferior a la del solvente puro. La fuerza de gravitación que crea cada partícula disuelta no dependería de su masa sino de factores extrínsecos, quizá del calor que absorbe del solvente. Esta manera de concebir el problema está plenamente de acuerdo con la verificación de las leyes de la ósmosis, y explica además el por qué del aumento de los puntos ebulloscópicos y crioscópicos de las soluciones.

Ahora bien, en el fenómeno de la ósmosis, al separar las dos soluciones por una membrana semipermeable, no hacemos prácticamente otra cosa que separar dos soluciones con diversa tensión de vapor; y al igual que gases a presiones diferentes y separados por una membrana permeable a tales gases, éstos tienden a igualar sus presiones movilizándose las moléculas del gas a mayor presión hacia el lado opuesto; las soluciones a diversa presión o tensión de vapor tienden a igualar sus tensiones, movilizándose las moléculas de agua desde la que se encuentra a mayor tensión hacia la que se halla a menor tensión de vapor —o sea desde la solución menos concentrada hacia la más concentrada—. Cabe considerar además, que los "poros" de la membrana semipermeable, no son simplemente orificios sino verdaderos conductos, si se compara el grosor de cualquier membrana natural y el diámetro de las moléculas del agua.

Una solución a mayor tensión de vapor significa que un mayor número de moléculas pueden pasar de la fase líquida a la

fase gaseosa. Este paso debe necesariamente hacerse en los puntos de menor presión. Ahora bien, si se considera por ejemplo un tubo en U cuyas dos ramas están separadas por una membrana semipermeable y en la una existe una solución y en la otra agua simplemente; las dos ramas soportan presiones externas iguales —presión atmosférica, tensión del vapor de agua, etc.— prácticamente no se establece una diferencial entre las dos ramas por la superficie libre, pero sí en cambio a nivel de la membrana semipermeable; por lo mismo las moléculas de agua se movilizarán por los conductillos de dicha membrana desde la solución menos concentrada —mayor tensión de vapor— o agua simplemente, hacia la solución más concentrada —menor tensión de vapor—.

Las soluciones coloidales, como queda dicho, ejercen presión osmótica. No obstante esta presión es muy pequeña si se la compara con la de las soluciones verdaderas, ya que siendo la presión osmótica proporcional al número de partículas, y en los coloides las partículas por unidad de volumen son escasas, lógicamente la presión oncótica será también pequeña. En los coloides que sufren disociación electrolítica la presión oncótica aumenta proporcionalmente a dicha disociación.

B.—FENOMENOS ELECTRICOS.

1.—Carga eléctrica.—Anfoterismo.—Las micelas coloidales demuestran poseer carga eléctrica, orientándose bajo la acción de la corriente continua al polo positivo o al polo negativo, según el caso.

La naturaleza eléctrica de los coloides no se encuentra plenamente explicada, sin embargo goza de común aceptación la teoría de la disociación electrolítica de la micela coloidal. En este caso se encuentran las proteínas que se disocian dando un gran ión (radical-ión), compuesto por una inmensa molécula o por numerosas moléculas de menor peso, y un ión pequeño, monoatómico y muy difusible.

Para las micelas que no presentan disociación electrolítica aparente, como los coloides artificiales, la carga eléctrica se ha explicado por un fenómeno de adsorción de iones del medio dispersante.

En la movilización de las partículas coloidales hacia los polos eléctricos, fenómeno conocido con el nombre de: **cataforesis**, la velocidad del movimiento está en razón inversa del peso micelar, fenómeno que ha servido de base de una nueva técnica de análisis de los complejos coloidales que integran los jugos orgánicos. En bioquímica humana, por ejemplo, en la actualidad recibe grandes aplicaciones esta técnica, para el análisis de las proporciones de las globulinas de la sangre.

Teniendo los coloides carga eléctrica, de hecho poseen también un determinado pH, esto es, que debe comportarse como ácido o como álcali. Pero lo interesante desde el punto de vista biológico es que un mismo coloide puede reaccionar como ácido o como álcali, dependiendo esto únicamente de la carga eléctrica del medio. Este es el fenómeno del **anfoterismo** y los coloides se denominan **anfóteros** o **anfolitos**.

Por lo tanto, la micela se comporta como una sustancia capaz de liberar H^+ y OH^- pudiendo representársele esquemáticamente como:



que al comportarse como ácido presentaría el anión $—M.OH$, y como álcali, el catión $H.M^+$.

Si el medio es fuertemente ácido la micela disocia al máximo los OH^- , en tanto que si el medio es fuertemente alcalino, libera asimismo al máximo los H^+ .

2.—Punto isoelectrico (pHi).—Si a estas disociaciones electrolíticas de los coloides se aplica la ley de las masas, se obtienen dos ecuaciones:

$$\frac{cH^+ \cdot cMOH^-}{cHMOH} = K_1 \quad \frac{cOH^- \cdot cMH^+}{cHMOH} = K_2$$

siendo K_1 la constante de disociación al comportarse el coloide como ácido y K_2 al comportarse como álcali.

Según la misma ley de las masas se puede calcular para un pH determinado, la cantidad de micelas no disociadas, la cantidad disociada como ácido y la cantidad disociada como base. Ahora bien, existe un pH para cada coloide, en el cual es mínima esta disociación, con la circunstancia de que la cantidad disociada como ácido es exactamente igual a la cantidad disociada como base:

$$cMOH^{-} = cHM^{+}$$

A este pH crítico, el coloide no se comporta ni como ácido ni como álcali; se comporta eléctricamente como neutro. Se dice entonces que el coloide ha llegado a su **punto isoelectrico**.

El pH al cual un coloide llega a su punto isoelectrico depende del valor de sus constantes (K_1 y K_2), y si se tiene en cuenta a tal punto estas constantes tienen igual valor, se puede calcular de la siguiente manera (18):

$$\frac{cOH^{-}}{cH} = \frac{K_2}{K_1}$$

Pero como

$$cOH^{-} = \frac{KM}{cH^{+}}$$

resulta

$$\frac{KM}{cH^{+}} = \frac{K_2}{K_1}$$

Lo que es igual a

$$cH^{+} = \sqrt{\frac{KM K_1}{K_2}}$$

K_2 = constante de disociación iónica.

M = Moléculas no ionizadas.

El punto isoelectrico, punto de neutralidad del coloide, no coincide necesariamente con el punto de la neutralidad del agua, $pH = 7$, sino que ordinariamente se encuentra desplazado hacia el lado de la acidez o de la alcalinidad de las soluciones ambientales; lo característico por parte del coloide es que a tal pun-

to, sus cargas eléctricas están equilibradas y se comporta como neutro. Si el pH de la solución está por debajo del que corresponde al punto isoeléctrico pH_i , el coloide se comportará esencialmente como base, y si tal pH es mayor que el pH_i , el coloide se comporta esencialmente como ácido.

El pH_i es un verdadero punto crítico para el coloide y pequeñas modificaciones de los factores físicos y químicos pueden alterar profundamente su constitución. A este punto, además, parece predominar la fuerza de cohesión de las partículas y se produce la **floculación coloidal**.

Para numerosos coloides orgánicos, pero especialmente de origen animal y humano, se han señalado ya con entera precisión los puntos isoeléctricos respectivos. En cuanto a los coloides de origen vegetal, son escasos los datos que poseemos.

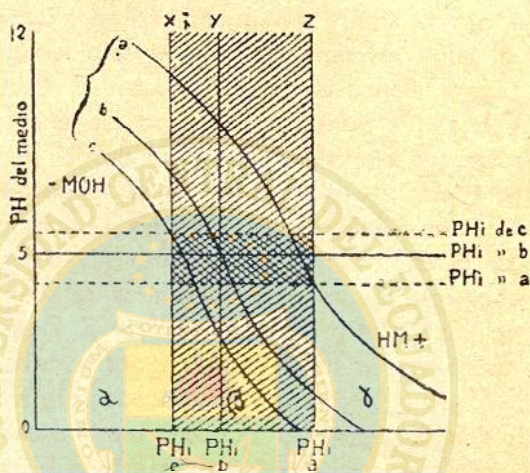
3.—Complejos coloidales.—Es perfectamente sabido que el protoplasma celular es de naturaleza proteica y que las proteínas estarían en estado coloidal. Pero, hay que comprender que no es una sola proteína y por ende un solo coloide el que integra el protoplasma; por el contrario, son verdaderos complejos coloidales. En tal virtud, el estudio de los protoplasmas vivientes mucho más se relaciona con el comportamiento de los complejos coloidales que con las propiedades de un solo e indeterminado coloide.

Como cada coloide, según su naturaleza química, posee su propio pH_i , dos o más coloides sometidos a un mismo pH del medio tendrán diverso comportamiento: unos serán más electropositivos que otros, y mientras unos actuarán como ácidos otros actuarán como bases, produciéndose una interacción entre los coloides, cosa que determina la formación de un complejo coloidal, el cual presenta un nuevo y particular comportamiento. Esta acción recíproca de los coloides, imprime al complejo una gran susceptibilidad para reaccionar ante los factores externos, siendo ésta precisamente una característica fundamental de los protoplasmas vivientes.

La sensibilidad del complejo se debe a que, por la acción recíproca, los coloides se mantienen próximos a sus respectivos puntos isoeléctricos. Pero al tratarse de un complejo propiamente ya no se puede hablar de **punto isoeléctrico**, sino más bien de **zona isoeléctrica**. Este factor condiciona esas dos importantes y en apariencia

contradictorias propiedades de los complejos coloidales: gran sensibilidad y enorme capacidad de reacción. Se entiende, manteniéndose el complejo más o menos próximo a su zona isoeléctrica, pequeñas modificaciones del pH del medio, pueden sensibilizarlo parcialmente, y flocular; pero como se trata de una zona y no de un punto isoeléctrico, el complejo puede efectivamente flocular según el pH por uno

de sus dos extremos mientras por el otro permanece inalterable; he aquí pues, la gran capacidad de reacción y de poder tampón



(FIG. N° 11).—Representación de un "complejo coloidal".

El complejo estaría formado por los coloides **c**, **b** y **a**, sirviendo de punto de referencia el coloide **b**, cuyo $pH_i = 5$. Las líneas **X Y Z** dividen el campo en tres zonas: α , en la que los coloides se comportan como ácidos; β , en la que los coloides se comportan diferentemente según su posición (es la zona de la interacción y la coagulación); γ , los coloides se comportan como álcali.

Si a partir de la abscisa correspondiente al coloide **b**, los otros coloides son equidistantes, o sea equipotenciales eléctricamente, al llegar el pH a este punto (pH_i de **b**), puede producirse la coagulación total del sistema.

he aquí pues, la gran capacidad de reacción y de poder tampón

de los complejos coloidales al igual que de los protoplasmas. Sólo condiciones extremas pueden conducir a la floculación total del complejo.

Aclaremos el problema con un ejemplo gráfico. (Figura N° 11). Supongamos un complejo formado por tres coloides designados por las letras **a**, **b** y **c**, cuyos puntos isoeléctricos se encuentran bastante próximos entre sí. El coloide **c** tiene su pHi en el punto donde corta a **X**, el coloide **b**, donde corta a **Y** y el coloide **a**, donde corta a **Z**.

Los tres puntos isoeléctricos se encuentran próximos a la abscisa que en la escala común de pH, le hemos dado el valor de $\text{pH} = 5$. Cada coloide tiene su abscisa, por encima de la cual, individualmente los coloides se comportarían como ácidos, y por debajo, como álcalis. Ahora veamos cómo se comportan al considerarlos ya no individualmente sino formando el complejo coloidal. Los pHi extremos: X y Z, dan lugar a la formación de tres zonas o campos designados por las letras griegas: alfa, beta y gama. El campo alfa, queda a la izquierda por fuera del pHi X; el campo beta, queda comprendido entre los pHi X y Z, y finalmente el campo gama, queda a la derecha, por fuera del pHi Z.

En el campo α todos los coloides se comportan como ácidos y no hay interacción; en el campo β , en el que se encuentra la zona isoeléctrica, se produce la interacción y el comportamiento de cada coloide difiere según su posición. El coloide **c**, al llegar a X, alcanza su pHi o sea su neutralidad eléctrica; en tanto que los coloides **a** y **b** siguen en distinto grado como ácidos (MOH^-). Cuando el coloide **b**, llega a Y (su punto isoeléctrico), el coloide **a** sigue actuando como ácido, en tanto que el coloide **c**, que ya ha virado su pH, comienza a actuar como álcali. Por último, cuando el coloide **a** alcanza a Z (su pHi), los coloides **b** y **c** son ya fuertemente alcalinos. En el punto isoeléctrico Y, correspondiente al coloide **b** ($\text{pHi} = 5$) la interacción coloidal será máxima, produciéndose la floculación total o parcial según la equidistancia de los coloides de pHi desplazados a ambos lados de esta línea separatoria. A partir de esta línea, con-

forme los coloides se alejan a ambos lados, van disminuyendo su interacción.

Por último, en el campo γ , los coloides se comportan como alcalinos, y no existe interacción.

Todo esto sugiere la idea de que si bien es cierto que cada coloide tiene su propio pH_i , por la mutua interacción puede flocular todo el complejo al llegar a un cierto pH . Es así como cabe interpretar los valores del pH_i obtenidos de protoplasmas, jugos, tejidos, en donde, lo que realmente existen son complejos y no individualmente un coloide.

Para diversos órganos y tejidos, desde los trabajos de Carrel especialmente, se conoce que existe el llamado **pH local**, variable de un tejido a otro. Para la célula en igual forma, puede considerarse también pH locales y la existencia ya no solamente de un complejo coloidal, sino más bien de un **complejo de complejos coloidales**, lo cual capacitaría a la célula a una mayor reaccionabilidad ante los agentes físicos y químicos.

El metabolismo celular se realiza con la intervención de varias enzimas y cada enzima tiene un pH óptimo, que para las diversas enzimas varía dentro de anchos límites, así, mientras las enzimas amilolíticas tienen un pH óptimo bastante desplazado hacia la acidez (Amilasa $pH = 3,5$ a $5,5$; Inulasa $pH = 2,5$ a $3,5$, (28) etc); las oxidasas generalmente tienen un pH óptimo desde 7, hasta muy desplazado hacia la alcalinidad (Oxidasas $pH = 7$ a 10 ; peroxidasas $pH = 7$ a 10 (28), etc.).

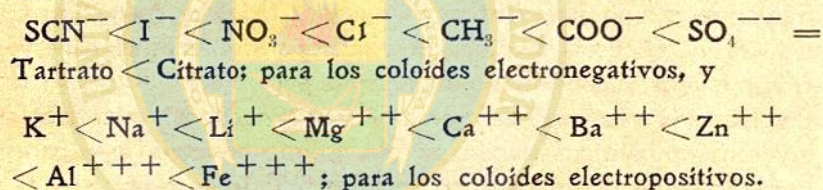
La concurrencia de variadas reacciones químicas en un mismo protoplasma (condensaciones y clivajes, polimerizaciones e hidrólisis y oxireducciones), exige se conciben pH locales, y un complejo de complejos, dentro de la célula viviente.

4.—Floculación o coagulación.—La carga eléctrica es el principal factor para que se mantenga la separación de las micelas en el medio dispersante; pues siguiendo la Ley de Coulomb, partículas del mismo signo se repelen. Cuando un coloide es llevado a su pH_i , desaparecen las cargas eléctricas y predomina la fuerza de cohesión, las micelas tienden a unirse unas a otras

formando masas más o menos grandes y visibles a simple vista. Se dice entonces que el coloide ha **floculado o ha coagulado**. Aunque en esencia es el mismo fenómeno, ordinariamente se habla de floculación y flóculos, cuando las masas que se forman son pequeñas, a veces visibles sólo al microscopio; y de coagulación y coágulos cuando las masas formadas son más grandes.

La floculación por electrolitos dependería de la unión de la micela a iones de signo opuesto al suyo propio. El poder coagulante de los iones es proporcional en cierta forma a la intensidad de su carga eléctrica, lo cual a su vez depende de la valencia; pero también depende de factores cualitativos, de la naturaleza del ión; lo cual ha permitido a Hofmeister formular las series que se designan con su nombre y sobre cuyo valor se discute aún (25, 18, 20).

Las series de Hofmeister según el creciente poder de floculación, son las siguientes:



En cuanto a la floculación por coloides de carga contraria, éstos se comportan en forma semejante a los electrolitos; pero para que la coagulación sea total, es preciso que la suma de cargas electropositivas sea igual al de las electronegativas; ya que el exceso de cualquiera de las dos cargas queda sin coagularse; y aún más, ese exceso de una de las cargas puede invertir el pH del otro coloide y la floculación es mínima.

Este problema lo analizamos ya al tratar de los complejos coloidales y tiene particular importancia para la explicación de los fenómenos conocidos con los nombres de **sensibilización y protección** de los coloides.

Cuando la floculación es por electrolitos, algunos coloides se comportan como reversibles; si se lavan con abundante agua pura, o se dializa a fin de arrastrar los iones que están neutra-

lizando las cargas coloidales, las micelas vuelven a dispersarse y se reestructura el coloide. Este es el fenómeno de la **peptización** (18).

Al producirse la floculación o coagulación, desaparece de hecho el estado coloidal y las propiedades inherentes a este estado físico de la materia. Los flóculos no tienen las propiedades de los coloides.

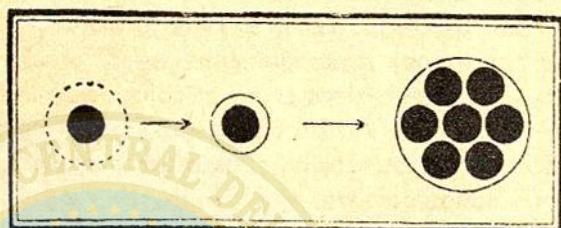
A más de los factores anteriormente citados pueden también determinar la coagulación —en muchos casos irreversibles— agentes físicos como el calor; químicos como el alcohol, éter, etc.; pues en estos casos el coloide es profundamente alterado en su estructura. Las bruscas elevaciones térmicas ocasionan coagulaciones.

5.—Coaservación.—(24) Se conoce otro fenómeno de separación de las fases del coloide, designado por algunos autores: **Sinéresis** (18). Consiste en que cuando disminuye la fuerza electrostática de separación de las micelas o disminuye el poder hidrofílico, como en los coloides “envejecidos”, la mayor parte de la fase dispersa, reteniendo una parte de la fase dispersante, se deposita en el fondo a manera de un sedimento muy viscoso. B. de Jong (24) ha realizado interesantes estudios de este tipo de separación coloidal al cual lo designó con el nombre de **coaservación**, para diferenciarlo de la **coagulación**, ya que actuando en ambos fenómenos fuerzas eléctricas en sentido opuesto a la hidratación del coloide **coaservador**, éste continúa siendo una masa fluída en tanto que el **coágulo**, es ya una masa semisólida. En ocasiones el coaservado en lugar de sedimentarse se mantiene en suspensión formando diminutas gotitas visibles al microscopio.

En la formación de complejos coloidales, cuando por modificaciones del pH del medio, los coloides se encuentran en el “campo o zona de interacción”, (Figura N° 11); la coaservación es un fenómeno frecuente. En igual forma cuando se mezclan dos coloides de cargas eléctricas opuestas puede producirse la coaservación.

En estos casos, el fenómeno seguiría este desarrollo. En el coloide hidrófilo la micela se encuentra rodeada por capas de hidratación, según fué descrito anteriormente, sin que pueda apreciarse solución de continuidad entre las capas de hidratación y la fase dispersante (Figura N° 10). Cuando se ponen en contacto dos coloides de signo opuesto, las cargas eléctricas

tienden a unir las micelas y hacerlas flocular; en esta circunstancia la hidrofilia actúa como una fuerza contraria tendiente a mantener la estabilidad coloidal. Como la atracción eléctrica predomina sólo las moléculas de agua más fuertemente adsorbidas permanecerán formando una capa de hidratación o "membrana de hidratación" (24) como lo llama A. Oparin. Las micelas en esta forma hidratadas y sometidas a la atracción eléctrica, se unen unas a otras, sin perder su individualidad física, constituyendo un nuevo tipo de partícula, que es la **partícula coaservada**. (Figura N° 12).



(FIG. N° 12).—Esquema de la coaservación.

La partícula coaservada presenta una pequeña capa de hidratación (membrana de hidratación) perfectamente delimitada en el medio dispersante. (Original de Oparin).

El coaservado deviene así en un nuevo tipo de sistema coloidal en el que las moléculas de agua se encuentran fuertemente adsorbidas y orientadas originando una envoltura que limita con precisión la partícula coaservada del "**equilibrio líquido**" —denominación dada por Jong—.

La estabilidad del coloide coaservado depende entre otros factores de la atracción recíproca de las cargas eléctricas de las micelas; y es tanto mayor cuanto más elevado es el producto de dichas cargas.

Los coloides coaservados son de extrema sensibilidad, podría decirse que ocupan una situación crítica entre la solución coloidal y el coloide coagulado, fases físicas más o menos estables. La desviación de uno de los coloides hacia el pH_i , o la presencia de electrolitos pueden conducir al coaservado ya hacia la floculación o ya hacia la redisolución. Asimismo el aumento de la temperatura con la consiguiente disminución en la hidratación de las micelas ocasiona la destrucción del sistema coaservado.

Los coaservados presentan nuevas propiedades físicas especialmente fenómenos de superficie. En el coloide hidrófilo la micela no se encuentra delimitada en la fase dispersante, en cambio la partícula coaservada presenta una verdadera superficie de separación y se capacita para los fenómenos de superficie, así por ejemplo es grande su poder de adsorción de diversas sustancias disueltas en el medio dispersante.

Otra propiedad de los coaservados es su facultad de modificar, dentro de amplios límites, su viscosidad; ya que como quedó anotado anteriormente diversos factores: eléctricos, térmicos, etc., pueden fácilmente modificar la agregación micelar.

Finalmente, Oparin (24) afirma que en ciertas circunstancias en los coaservados aparecen fuerzas directivas capaces de orientar en forma determinada las partículas coaservadas; y Jong sostiene inclusive que es posible descubrir un plan estructural de una forma cristalina más o menos regular.

6.—Equilibrio de Donnan.—(17, 20) Cuando un coloide se encuentra separado por una membrana semipermeable de una solución de electrolitos difusibles, determina una movilización iónica con modificaciones posteriores sobre las concentraciones y presiones osmóticas a ambos lados de la membrana, hasta establecerse un equilibrio que ha sido calculado por Donnan.

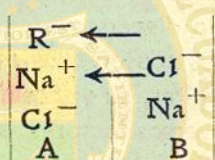
Supongamos que al un lado de la membrana tenemos un coloide proteico (un proteinato de Sodio) que disocia el anión proteico (R^-) no difusible y el catión Na^+ muy difusible. Al

otro lado de la membrana tenemos una solución de NaCl, que se disocia en los iones difusibles: Na^+ y Cl^- . Numéricamente (calculado por Dognon) supongamos que tenemos los siguientes valores de concentraciones iónicas:

$\text{R}^- = 7,5$	$\text{Cl}^- = 7,5$
$\text{Na}^+ = 7,5$	$\text{Na}^+ = 7,5$
A	B

Se ve claramente que aunque a los dos lados de la membrana existen iguales valores iónicos, sin embargo como en el lado A existe el anión R^- no difusible, los iones

difusibles se encuentran desigualmente repartidos estableciéndose una diferencia de potencial que origina una corriente iónica de B hacia A. El equilibrio se produce cuando el producto de los iones difusibles es igual en ambos lados de la membrana:

	
$\text{R}^- = 7,5$	$\text{Cl}^- = 7,5 - 2,5 = 5$
$\text{Na}^+ = 7,5 + 2,5 = 10$	$\text{Na}^+ = 7,5 - 2,5 = 5$
$\text{Cl}^- = 2,5$	
$\text{Na}^+ 10 \times \text{Cl}^- 2,5 = 25$	$\text{Na}^+ 5 \times \text{Cl}^- 5 = 25$
A	B
Estado de equilibrio	

En el momento del equilibrio, el catión Na^+ se encuentra más concentrado en A que en B; pero en ambos lados existe neutralidad eléctrica, pues el número de cationes es igual al de aniones:

$\text{R}^- = 7,5 + \text{Cl}^- = 2,5 = 10$	$\text{Cl}^- = 5$
$\text{Na}^+ \dots\dots\dots = 10$	$\text{Na}^+ = 5$
A	B

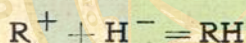
Pero la suma total de los iones es diferente a cada lado; en el lado A, donde ha estado el ión coloidal, no difusible, la solución se ha concentrado a expensas de la solución B:

$$\text{Cación} = 10 + \text{Anión} = 10 = \mathbf{20}$$

$$\text{Cación} = 5 + \text{Anión} = 5 = \mathbf{10}$$

Por esta razón, aunque inicialmente la membrana soportara a ambos lados iguales presiones osmóticas, al establecerse el equilibrio de Donnan la una solución se comportará como hipertónica frente a la otra y se establecerá una corriente osmótica; corriente osmótica y corriente iónica de fundamental importancia para el fenómeno de la absorción.

Por último se ha descrito otra clase de intercambio iónico en las células de las raíces de las plantas (46). Se sabe que los aniones proteicos del protoplasma vegetal fácilmente se combinan con los H^+ de los ácidos débiles o en soluciones bien diluidas —generalmente producidas por el propio metabolismo— lo cual podemos representar por:



Si por fuera de la membrana se encuentra una solución de una sal neutra que representamos por CA, el H^+ es expulsado fuera de la membrana y en su lugar es atraído el C^+ ; la reacción sería entonces:



Este fenómeno explica también la absorción de los cationes por parte del protoplasma celular.

C.—OTROS FENOMENOS COLOIDALES.

1.—Gelificación.—Los coloides hidrófilos sin perder su homogeneidad pueden sucesivamente ir deshidratándose hasta adquirir una consistencia semisólida, fenómeno al que se le llama con el nombre de **gelificación**. En esencia, la solución no ha perdido su estructura coloidal, de allí que se describen dos estados

para los coloides: **Sol y Gel**. El estado de sol, corresponde a la solución coloidal y el estado de gel, al de consistencia semisólida. Los geles fácilmente son reversibles.

Algunos autores diferencian además el proceso de **gelatinización** característica de algunas proteínas, las cuales al adquirir la consistencia semisólida son irreversibles; y las micelas forman masas compactas no dispersables mecánicamente. Las gelatinas son transparentes, en tanto que los geles son opacos.

2.—Imbibición e hinchamiento de los geles.—Una de las propiedades principales de los geles es la imbibición, la cual consiste en una particular fuerza de retención de moléculas de agua por parte de las micelas coloidales, sin que se trate de una verdadera reacción química.

Los geles en contacto con el agua se hinchan, o sea aumentan de volumen al atraer y retener entre las micelas a nuevas moléculas de agua sin que desde luego el volumen del gel hinchado sea igual al volumen primitivo del gel más el volumen del agua, sino inferior, hay pues reducción de volumen.

La capacidad de hinchamiento de los geles es muy grande, así por ejemplo: sobre un tallo de laminaria hinchado, ejerciendo una presión de 42 atmósferas, sólo se consigue privarle un 16% del agua que contiene (Dongnon) (19).

El poder de hinchamiento no es ilimitado y está en relación con el pH, tanto mayor cuanto más el coloide se aleja de su pH_i hasta llegar al correspondiente punto máximo.

El hinchamiento de los geles, se ha justificado recurriendo a diversos fenómenos; por ejemplo a fenómenos de capilaridad, como un fenómeno de adsorción, como un fenómeno de ósmosis, etc.

Procter y Wilson han lanzado la hipótesis de que los geles ocasionarían una movilización iónica hasta el equilibrio de Donnan, debido a los cristaloides que siempre contienen, con lo cual los geles adquirirían una mayor fuerza osmótica, con la consiguiente penetración de agua.

Loeb, por otra parte, ha demostrado que no es necesaria la existencia de membrana para que se establezca el equilibrio de Donnan, pues hace sus veces la capa externa del gel.

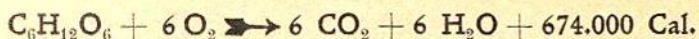
2ª Parte.—ESTUDIO DE LA RESPIRACION CELULAR EN LOS VEGETALES (26, 27, 28, 29, 30).

De este vasto y difícil tema solamente trataremos los puntos que tienen relación con nuestra teoría de la necrosis fría de las plantas.

Las funciones de la célula y todo su trabajo externo requieren de un consumo de energía. Esta energía en los organismos inferiores es obtenida gracias a la **fermentación**, y en los superiores, gracias a la **respiración**. Los dos fenómenos corresponden a un proceso general de deshidrogenación y aprovechamiento fraccionado de energía calórica, con la diferencia de que en la fermentación (*) el mismo substrato deshidrogenado vuelve en la fase final a hidrogenarse transformándose en un nuevo cuerpo químico; en cambio en la respiración el aceptor de los H_2 ya no es el mismo substrato deshidrogenado, sino el O_2 ; con lo cual, en este caso se forma H_2O . El CO_2 que es otro de los cuerpos finales, en la fermentación puede o no aparecer, depende del tipo de fermentación, en la respiración es constante; pero su formación sigue otro mecanismo químico que el del H_2O .

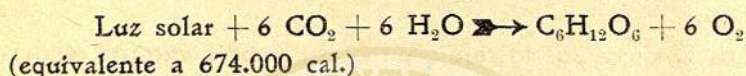
La respiración se presenta así como un proceso de oxi-reducción en el que se consume O_2 por una parte y por otra el substrato respiratorio, glucosa generalmente, y se produce H_2O , CO_2 y una cierta cantidad de energía libre —para una mol de glucosa 674.000 calorías—.

Esquemáticamente podría representarse la respiración con la siguiente reacción química:



(*) Por ejemplo en la fermentación láctica, pues existen varios tipos de fermentación (31).

En este sentido la respiración se presenta como un proceso biológico estrictamente inverso al de la **fotosíntesis** en el que gracias al pigmento verde de la **Clorofila** es aprovechada la luz solar juntamente con el CO_2 de la atmósfera y el H_2O del subsuelo, en la producción de moléculas pertenecientes al grupo químico de los Hidratos de Carbono y de O_2 que se desprende libremente de las células vegetales. Esquemáticamente la fotosíntesis podríamos representar por la siguiente reacción química:



La célula vive pues a expensas de la luz solar transformada a través de innumerables procesos físicos y químicos.

A.—MECANISMO DE LA RESPIRACION CELULAR (31, 32, 33, 34, 35).

En lo que respecta a la célula vegetal el mecanismo químico de la respiración se encuentra mal conocido todavía. La mayor parte de los conocimientos actuales son debidos especialmente a Szent-Györgyi (31) y colaboradores. La respiración celular en los animales, en cambio, se la ha estudiado con mucha detención y son abundantes los conocimientos obtenidos hasta hoy (32). En general, se sabe que el hidrato de carbono, el almidón por ejemplo, tiene que pasar por varias reacciones de tipo enzimático hasta quedar reducido a glucosa. Esta molécula, en varias fases se combina con dos ácidos fosfóricos dando una exosa difosfato, que más tarde se rompe en dos triosas fostato. Estas series de reacciones enzimáticas siguen diversos caminos según los casos.

Aunque pueden servir de substractos respiratorios también las grasas y las albúminas, lo más frecuente es que dicho papel lo desempeñen los hidratos de carbono, siendo la triosa fostato la que, en la cadena de reacciones sirve de tal substracto.

Es obvio que el mecanismo químico de la respiración en los diversos tejidos animales y en las diversas categorías taxonómicas, no se ha de ajustar a un único y sencillo esquema. Son conocidos en la actualidad, varios tipos de respiración —en lo que al mecanismo de oxidación se refiere—; así por ejemplo, se describe la serie o ciclo del ácido succínico, la serie o ciclo del ácido cítrico, etc.

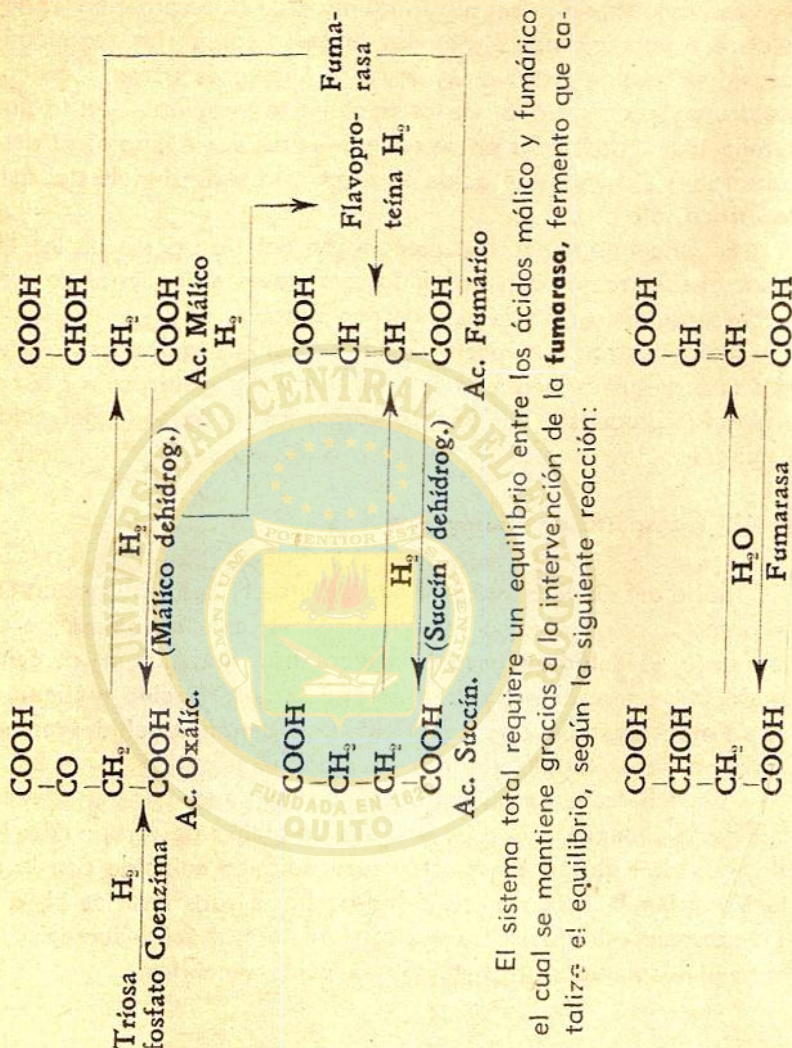
En la célula vegetal el mecanismo del transporte de los H_2 desde el substrato hasta la oxidasa, a través de cadenas de mediadores químicos, no se conoce con precisión.

Para ilustrar esta parte de las reacciones químicas, citaremos uno de los esquemas más sencillos de la respiración animal y que fué propuesta por Szent-Györgyi (31): la serie del ácido succínico.

1.—El transporte de Hidrógenos (33).

Serie del ácido Succínico.—El substrato respiratorio, en este preciso caso, la triosa fosfato, cede H_2 a la **coenzima** de un fermento, la **dehidrogenasa I**, la cual transfiere los H_2 al **ácido oxalacético**, que al recibirlos se transforma en **ácido málico**. El ácido málico es activado o reducido por la **málico dehidrogenasa**, volviendo a su estado anterior de ácido oxalacético.

La dehidrogenación del ácido málico tiene lugar en presencia de la **coenzima**, que es una flavoproteína del grupo de las flavinas de Kuhn, y cuya estructura química coincide con la de la **Vitamina B₂**. La málico dehidrogenasa transfiere los H_2 a la flavoproteína, la cual a su vez lo transfiere al **ácido fumárico**, el cual al reducirse se transforma en **ácido succínico**.

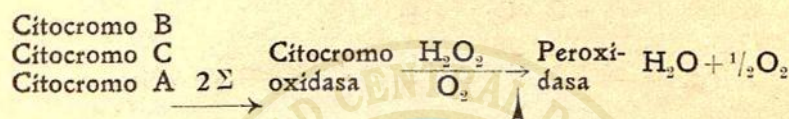


El sistema total requiere un equilibrio entre los ácidos málico y fumárico el cual se mantiene gracias a la intervención de la **fumarasa**, fermento que cataliza el equilibrio, según la siguiente reacción:

El ácido succínico se activa por la **succín-dehidrogenasa**, la cual toma los H_2 , los cuales en presencia del **Citocroma B**, ceden uno a uno sus electrones. Los electrones son rápidamente transportados por la cadena de citocromos B, C y A, hasta la **citocro-**

moxidasa o fermento respiratorio de Warburg (31), la cual mediante estos electrones activa a la molécula de O_2 que finalmente recibe los H_2^{++} de la succín-dehidrogenasa, formando H_2O_2 . Sobre este peróxido de Hidrógeno, actúa posteriormente una peroxidasa, descomponiéndole en H_2O y $\frac{1}{2}O_2$ que vuelve a oxidar algún substrato oxidable.

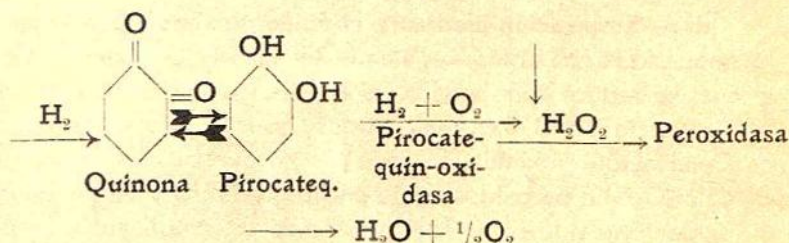
Succín-dehidrogenasa H_2



a).—**Tipos de respiración vegetal.**—Szent-Györgyi ha descrito tres tipos de respiración vegetal con la intervención de la **pirocatequina**, el **ácido ascórbico** y el **ácido dioximaleico**. Estas tres sustancias representarían en la respiración vegetal lo que el ácido succínico en la respiración animal, esto es, el último eslabón en la cadena de transporte de los H_2 .

b).—**Respiración mediante polifenoles.**—El primer tipo de respiración vegetal que fué descubierto, se opera con la intervención de polifenoles como la **pirocatequina**.

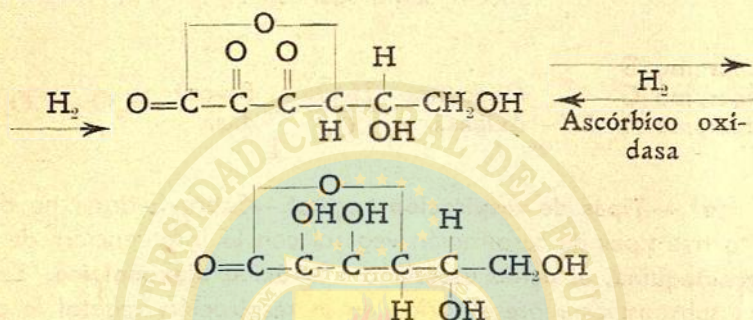
Como en la respiración animal, el substrato oxidable, cede H_2 a una desconocida cadena de transportadores químicos, que finalmente transfieren los H_2 a la **quinona**, la cual al reducirse



se transforma en la **pirocatequina**. La pirocatequina cede luego los H_2 a la **pirocatequin-oxidasa**, la cual simultáneamente activa

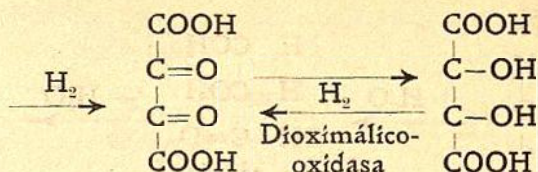
a la molécula de O_2 dando peróxido de Hidrógeno. Sobre este cuerpo actúa una peroxidasa dando H_2O y $\frac{1}{2}O_2$ que puede actuar sobre una nueva molécula de pirocatequina, oxidándola.

c).—**Respiración mediante el ácido ascórbico.**—Posteriormente al tipo respiratorio descrito, se enunció una nueva forma de respiración vegetal, en la que interviene el **ácido ascórbico** o **Vitamina C**.



Como en el caso anterior, los H_2 son transportados por una serie de eslabones químicos hasta llegar al ácido ascórbico —forma oxidada— el cual los recibe gracias a la formación de una doble cadena entre carbonos, y pasa a la forma reducida. El ácido ascórbico, en presencia de la **ascórbico-oxidasa** que ha activado a la molécula de O_2 cede los H_2 formando el H_2C_2 . Actúa luego una peroxidasa dando H_2O y $\frac{1}{2}O_2$ que puede oxidar a una nueva molécula de ácido ascórbico o a un polifenol.

d).—**Respiración mediante el ácido dioximaleico.**—Bajo los mismos esquemas anteriores llegan los H_2 al ácido dioximaleico, el cual se reduce formando un doble enlace entre sus carbonos. En presencia de la **dioximálicoxidasa**, que activa una molécula de O_2 el ácido dioximaleico cede los H_2 que al combinarse con O_2 da H_2O_2 . La peroxidasa deja en libertad H_2O y $\frac{1}{2}O_2$ que puede oxidar una nueva molécula de ácido dioximaleico o un polifenol.



Este tipo de respiración, según se sabe, es el más frecuente entre las plantas superiores.

Las tres oxidasas antes mencionadas: pirocatequín-oxidasa, ascórbicoxidasa y dioxímálico-oxidasa, dan las reacciones del citocromo. Para las dos primeras oxidasas se asigna una estructura de cupro-proteínas, en tanto que para la tercera se discute entre cupro-proteína y ferro-proteína. Theorell (31) ha encontrado que al dializar estos fermentos se inactivan, pero que al añadir pequeñas cantidades de Manganese recobran su actividad. El mismo ha encontrado también que un hemín-citocromo C más Manganese, actuaba como oxidasa del ácido dioxímálico.

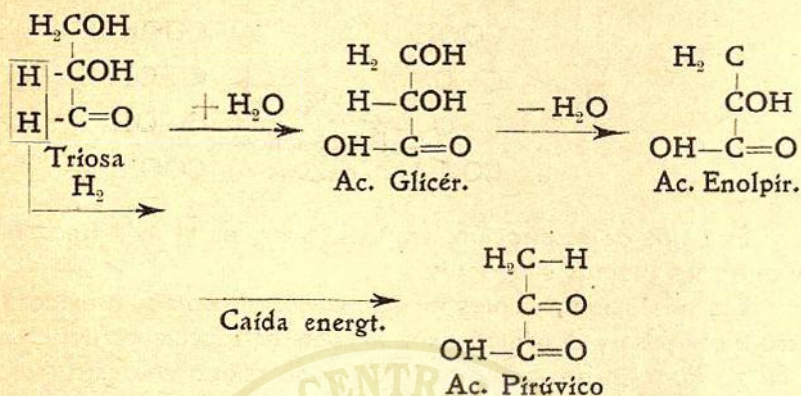
De todas maneras queda en claro que estas oxidasas son metal-proteínas, en las que el metal actuaría bajo sus dos valencias transportando uno a uno los dos electrones de los H_2 , electrones que abren o activan la molécula de O_2 .

2.—La liberación de CO_2 .

En todo lo que antecede, hemos asistido a la formación de uno de los productos finales de la respiración: el H_2O . Veamos ahora cómo se forma el otro producto final: el CO_2 .

El proceso es más o menos semejante para animales y plantas.

De la triosa fosfato que cedió sus H_2 al cofermento, queda un residuo molecular, que combinándose con una molécula de H_2O se transforma en el **ácido glicérico**. Esta molécula pierde una de H_2O produciéndose una enolización, con lo cual se obtiene **ácido enolpirúvico**. Este ácido es de suma inestabilidad y por simple transposición atómica se transforma en **ácido pirúvico**.

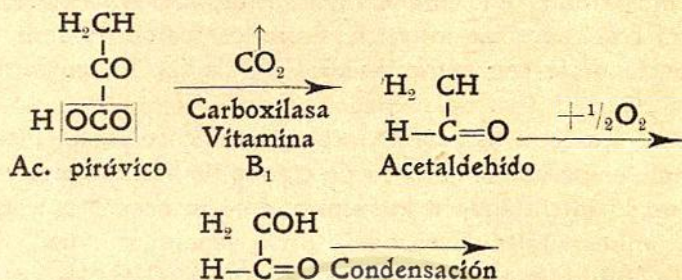


El ácido pirúvico, cuerpo altamente inestable, goza de singular importancia en los procesos metabólicos, pues por su capacidad de intervenir en diversas reacciones químicas, puede servir de punto de partida para la síntesis de amino-ácidos, ácidos grasos, etc.

"Se ha comenzado por la triosa, dice Szent-Györgyi (31), a la que hemos quitado dos átomos de H gracias al cofermento y que, una vez dehidrogenada, se transformó en piruvato. En la oxidación se quemaron esos átomos de H y queda el piruvato. En la fermentación los toma de nuevo y se convierte en lactato. Pero si ahora se oxida este lactato, pierde en el primer paso los átomos de H y tenemos de nuevo piruvato, con el cual nos encontramos, por consiguiente, en cualquier derrotero que sigamos. De igual manera que en la Edad Antigua todos los caminos del mundo conducían a Roma, así en Bioquímica todos los caminos terminan en el ácido pirúvico. Esta sustancia es una de las más singulares; puede hacer casi todo: oxidarse, reducirse, descarboxilarse y polimerizarse".

Sobre el ácido pirúvico actúa una **carboxilasa**, la cual lo descarboxila, o sea la hace eliminar una molécula de anhídrido carbónico. K. Lohmann (31) ha descubierto que la carboxilasa no es otra cosa que la **Vitamina B₁** fosforilada. El ácido pirúvico descarboxilado se transforma en acetaldehído el cual puede

seguir los más distintos caminos químicos, según reaccione con tal o cual átomo o molécula.

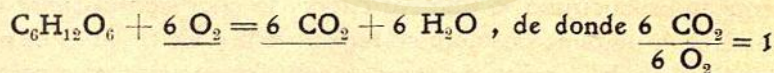


En algunas de las reacciones químicas mencionadas se producen pequeñas liberaciones de energía, en tanto que en otras hay aprovechamiento energético. Según Meyerhof (31) el mayor desprendimiento energético, la "caída energética", se produciría en la transformación del ácido enolpirúvico en ácido pirúvico.

B.—CUOCIENTE RESPIRATORIO (36, 37, 38, 39).

La relación entre el CO_2 desprendido y el O_2 consumido en la respiración da el llamado **cuociente respiratorio**.

Teóricamente para los hidratos de carbono, calculado en volumen, el cuociente sería igual a 1:



El cuociente respiratorio varía según el substracto oxidado: se eleva sobre la unidad cuando el substracto está constituido por un ácido no graso, que como el oxálico por ejemplo, son muy ricos en Oxígeno, en tanto que desciende de la unidad cuando el substracto lo constituyen las grasas o las proteínas, que son moléculas pobres en Oxígeno. Pero aún en el caso de que el substracto respiratorio sea un hidrato de carbono, el cuociente igual a la unidad, se cumple únicamente en el caso de que todo

Finalmente expresa: "Una hoja de brusco, recolectada al anochecer en verano, tenía a 17° un cuociente respiratorio igual a 0.17; a 40° el cuociente subió a 0.60; lo que supone un valor cercano a 1 a 45° , temperatura que puede alcanzar la hoja en pleno sol. El pequeño valor encontrado a 17° es una consecuencia de la **formación de ácidos que la disminución de temperatura favorece**".

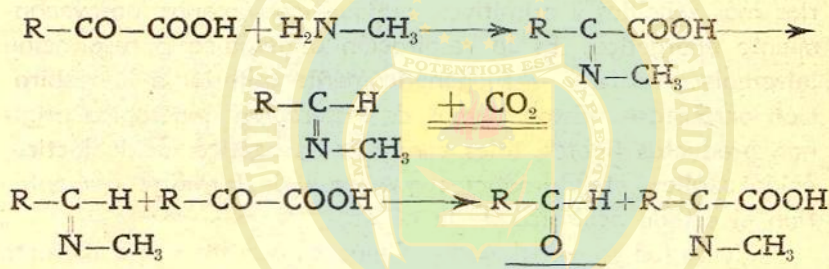
¿Qué significación fisiológica puede tener la disminución del cuociente respiratorio con la disminución de la temperatura? Fué con anterioridad analizado el caso del cuociente inferior a la unidad, el cual se presenta cuando el substrato respiratorio lo constituyen las grasas o las proteínas.

La forma rápida de disminución del cuociente respiratorio conforme desciende la temperatura, hace muy dudoso el suponer que lo que ocurra simplemente sea un cambio de substrato respiratorio, máxime si se tiene en cuenta que la oxidación de grasas y proteínas es un proceso que la célula realiza con cierta dificultad. Además la magnitud de la variación del mencionado cuociente obliga a pensar en alguna otra clase de fenómeno. Como se verá más adelante, los análisis químicos de las plantas en vernalización, demuestran una disminución de azúcares durante el proceso, lo cual viene a corroborar la creencia de que la disminución del cuociente respiratorio no se debería a cambio de substrato respiratorio.

En el estudio de la respiración realizado con anterioridad se vió que el proceso de la deshidrogenación y oxidación de los H_2 para formar H_2O , y el desprendimiento de CO_2 , aunque se realizaban simultáneamente, eran fenómenos independientes entre sí; siendo por lo mismo posible el que se realice uno solo de los fenómenos sin que necesariamente se produzca el otro. El proceso de la respiración celular puede realizarse parcialmente con consumo de O_2 y producción de H_2O , y sin desprendimiento de CO_2 ; cosa que indicaría un consumo metabólico de ácido pirúvico o la acumulación de este cuerpo químico en el protoplasma celular.

La disminución del cuociente respiratorio de las plantas sometidas a temperaturas bajas nos explicamos más bien por una falta de descarboxilación del ácido pirúvico, antes que como mera consecuencia de un cambio de substracto respiratorio.

El hecho fisiológico mencionado podríamos explicarnos de la siguiente manera. La mayoría de los autores coinciden en afirmar que la descarboxilación que realiza la enzima correspondiente (Vitamina B₁), de los alfa-ceto-ácidos lo haría mediante el grupo NH₂ que contiene dicha enzima. Según Lora Tamayo (41) las reacciones serían las siguientes: el grupo NH₂ se combinaría con el ácido pirúvico dando un amino-ácido que fácilmente se descompone en CO₂ e imido aldehído (acetaldehído) y regenera el imino-ácido.



b).—**El proceso acidósico.**—El acetaldehído bajo la acción de nuevas enzimas desaparece prontamente como tal, sirviendo de base para resíntesis de algunos productos, pero este trabajo metabólico-enzimático exige un consumo de energía, ya porque algunas reacciones sean ligeramente endotérmicas, ya porque el trabajo enzimático necesita de un nivel térmico conveniente.

Durante la helada, las células jóvenes, mal protegidas por delgadas membranas celulósicas, pierden por irradiación casi todo el calor conseguido mediante el proceso respiratorio, con lo cual desaparecen las condiciones necesarias para la resíntesis a base de los productos finales, como el acetaldehído.

“La cinética de la carboxilasa estudiada por Hängglud (1926) y Dirschel (1931), dice Lora Tamayo (41), sigue el mismo ritmo que la del modelo —las reacciones arriba indica-

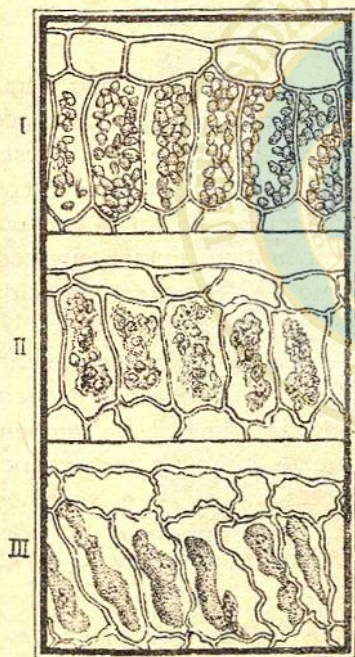
das (N. del A.).—Su acción es impedida por el **acetaldehído** y también lo es en éste por la reaccionabilidad del grupo activo NH_2 con el carbonilo”.

Las experiencias de laboratorio comprueban que la carboxilasa es inhibida por la acción de los álcalis y los aldehídos (42, 43). Es de presumir que con la baja de temperatura comienza a producirse una acumulación primaria de acetaldehído que determina la inactivación de la carboxilasa. La inactivación de la carboxilasa traería como consecuencia una acumulación secundaria de ácido pirúvico, el cual jugaría papel preponderante en la acidosis celular. Se conoce además que en las células de los organismos superiores, cuando se rompe la cadena respiratoria aeróbica, rápidamente la célula retrocede a procesos respiratorios más sencillos y primitivos, aunque con menor aprovechamiento energético. Es la respiración anaeróbica o respiración intramolecular (21) —filogenéticamente anterior a la respiración aeróbica—. Estas formas de respiración anaeróbica originan productos finales, tales como: ácido acético, ácido láctico, ácido oxálico, etc.; productos que, caso de formarse aumentarían el estado acidósico de la célula.

Como fué ya mencionado, la glucosa que sirve de substrato respiratorio se fosforiliza a expensas del ácido adenil-pirofosfórico, la molécula deshidrogenada sigue unida al ácido fosfórico hasta la fase de éter fosfórico del ácido enolpirúvico, momento en el cual el ácido fosfórico es transferido al ácido adenílico, transferencia que según Meyerhof requiere energía, la que en estado normal se obtiene al momento de transformarse el ácido enolpirúvico en pirúvico. Si se considera la “avidez térmica” de la atmósfera, que determina el máximo de irradiación por parte de las células, es factible suponer que todas estas reacciones que requieren energía, como la recombinación del ácido adenílico y fosfórico, no se realicen durante la helada; lo cual juntamente con la acidosis, la rotura de la cadena respiratoria, etc., representa un verdadero cataclismo biológico.

2.—Coagulación de los protoplasmas celulares.—El pH celular para la mayoría de los tejidos vegetales se encuentra desplazado hacia el lado de la acidez. Varía dentro de un ancho margen, según la especie y el órgano. Son bastante raros los casos de pH celular por sobre 7, esto es desplazados hacia la alcalinidad.

Como se verá más adelante en la parte experimental sobre pH, éste puede oscilar aproximadamente entre 2 y 7, según la especie. Las variaciones si bien son notorias de una especie a otra, para un mismo género parece variar poco, más de un gé-



(FIG. N° 13).—El proceso de coagulación.

Tres series de células del parenquima en empalizada de hojas de patata. En la primera, células normales en las cuales se observan las hileras de cloroplastos, inclusiones claramente diferenciadas unas de otras.

En la segunda, células después de una helada poco rigurosa. Se observa un apelotonamiento de los cloroplastos.

En la tercera, células después de una helada rigurosa. En el interior de las células se observa uno o dos coágulos en cada una. Las células han perdido su turgescencia y las membranas se encuentran arrugadas.

(Dibujo tomado del natural.—Observación con lente de inmersión).

nero a otro y más aún de una familia a otra. Desde luego, hay que anotar, que poco es lo que se ha hecho en este campo hasta ahora.

El punto isoelectrico (pH_i) de los coloides protoplasmáticos, parece que varía dentro de un límite más estrecho. No poseemos amplia información sobre el tema; pero de las investigaciones soviéticas que conocemos, se puede deducir que el pH_i para la mayoría de los tejidos vegetales, oscilaría entre 4,5 y 6,5. Este pH_i , naturalmente, correspondería a un complejo de complejos coloidales, mantenidos al estado de coaservados; pues que en el protoplasma existen numerosos coloides, cada uno de los cuales tiene su específico pH_i . (Figura Nº 13).

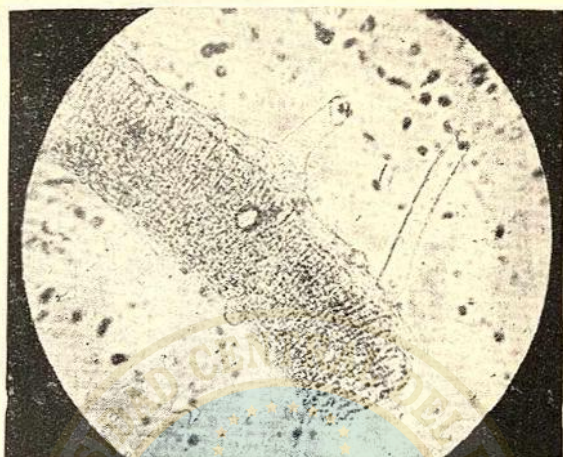
En las plantas susceptibles a la helada, la distancia entre el pH y el pH_i , sería seguramente pequeña, tal vez igual a una unidad pH ; además y cosa importante, el pH estaría desplazado hacia la derecha, o sea que, supongamos, mientras el pH_i sería igual a 5,5 el pH sería igual a 6,5.

Ahora bien, la acidosis producida durante la helada, según el mecanismo químico que hemos estudiado, a pesar del poder tampón o amortiguador de los coaservados, conduciría a éstos hacia su punto isoelectrico, momento en el cual se inicia la coagulación. Pero aún antes de la coagulación coloidal se produciría una verdadera desorganización enzimática, puesto que cada enzima trabaja con un pH local óptimo (28) y el estado acidótico modificaría dicho pH .

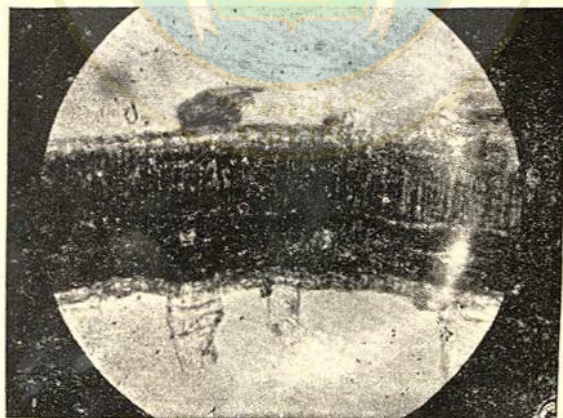
La coagulación coloidal no debe ser un fenómeno violento, instantáneo; antes bien, requeriría de un cierto período de tiempo variable con las plantas y el grado de descenso de temperatura. La coagulación requiere una acidosis previa, consecuencia de una lenta acumulación de productos ácidos en el fenómeno de la respiración; y la coagulación misma, en razón del poder amortiguador de los coloides, se haría en fases sucesivas. (Microfotografías Nros. 1 y 2).

En este aspecto también estamos en contradicción con la clásica teoría de la congelación del agua y de los humores, ya que este fenómeno físico no exige sino un brevísimo tiempo de un máximo descenso de temperatura, que ocurre entre las 6 y 6½ a. m. Según nuestro criterio y experiencias de laboratorio sobre las que trataremos más adelante, es insuficiente para que

Alteraciones de las hojas del zambo (Cucurbita pepo) a consecuencia de la helada

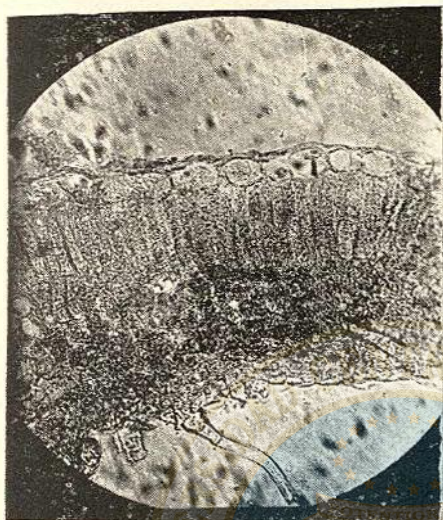


Microfotografía N° 1.—Corte transversal de una hoja normal. Los puntos negros que se observan corresponden a los cloroplastos, los cuales en el parénquima en empalizada están formando una hilera junto a la membrana longitudinal y en el parénquima lagunoso, dispuestos irregularmente.



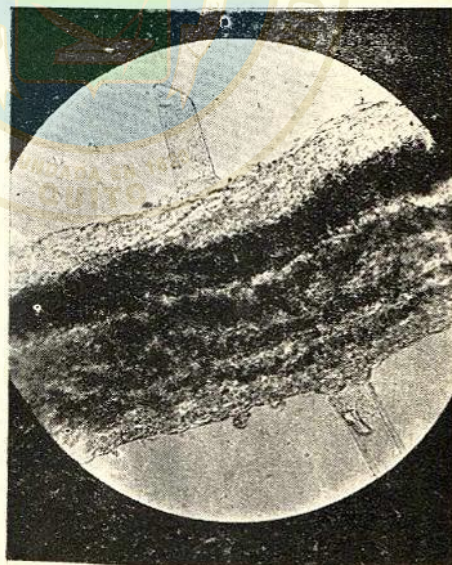
Microfotografía N° 2.—Corte transversal de una hoja "helada". Se aprecia fácilmente la existencia de grandes masas opacas en el interior de las células, que no son otra cosa que los protoplasmas coagulados conjuntamente con los cloroplastos.

**Alteraciones producidas por la helada y después por la desecación
en las hojas de fréjol (*Phaseolus vulgaris*).**



Microfotografía N° 3. —
Corte transversal de una
hoja normal. Pueden dis-
tinguirse los parénquimas
en empalizada y lagunoso;
en el primero se observan
hilos de cloroplastos.

Microfotografía N° 4. —
Corte transversal de una
hoja "helada". La hoja se
presenta disminuida de gro-
sor; los cloroplastos del pa-
rénquima en empalizada,
desplazados hacia la parte
basal de las células y for-
mando masas opacas (coá-
gulos); igual fenómeno se
aprecia en las células del
parénquima lagunoso.



se produzca la necrosis celular, el someter a las plantas a un breve período de frío —con temperaturas inferiores a 0° —. Se necesitan algunas horas de frío, variables en número según el grado térmico y las condiciones de la planta.

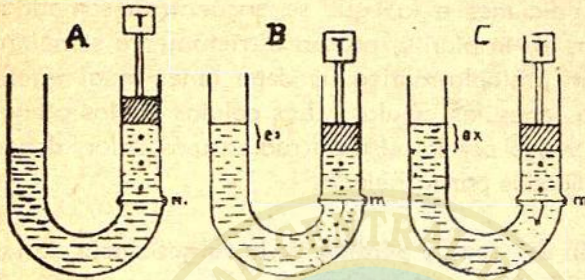
Como las condiciones a las que se encuentran sometidas las diversas células en la planta, no son estrictamente semejantes, la coagulación protoplasmática no debe tener igual intensidad ni afectar a todas las células. Las células de los planos más superficiales y que por lo mismo irradian más calor, deben ser las más perjudicadas por la helada.

3.—Exudación del agua y pérdida de la turgescencia de las células heladas (20, 46).—Posteriormente a la coagulación de sus coloides las células exudan agua, la cual puede congelarse en los espacios intercelulares, los estomas o superficie externa.

Cuando ha pasado ya la helada, las hojas que han sufrido su efecto experimentan una apreciable disminución de su grosor al igual que de su consistencia, debido a que las células con sus protoplasmas coagulados pierden turgescencia y exudan agua. Al microscopio puede apreciarse fácilmente esta disminución del grosor de las hojas, al igual que el arrugamiento de las membranas celulares, como se ilustran con las microfotografías Nrs. 3, 4 y 5, correspondientes a secciones de hoja normal y helada de fréjol (*Phaseolus vulgaris*).

Esta pérdida de agua de las células heladas se justifica si se tiene en cuenta los procesos fisiológicos normales. En estado fisiológico la fuerza de turgescencia de una célula está equilibrada con la fuerza osmótica de la misma, además de que la célula se encuentra en "equilibrio osmótico" con el medio; lo cual significa, que dentro de la célula hay dos fuerzas contrarias y equilibradas: turgescencia y presión osmótica; mientras la concentración del jugo celular al crear una presión osmótica y atraer agua desde el exterior, tiende a "hinchar" a la célula y por lo mismo ejerce una cierta presión sobre la membrana, ésta reacciona con igual fuerza, actúa pues como un recipiente de paredes elásticas. Ocurre en este caso, lo mismo que entre la presión arterial y la presión sanguínea. Además, la célula está en

equilibrio osmótico cambiante con su medio —trátase del subsuelo, de una solución o de las células ambientales—. Si la célula disminuye su presión osmótica, como la membrana es elástica,



(FIG. N° 14).—Representación esquemática del "desangre".

En el tubo en U de la izquierda, la presión osmótica y el peso T se encuentran en equilibrio. En el tubo de la mitad, por salida a través de la membrana de una unidad osmótica, una cantidad proporcional de agua es exudada en el mismo sentido. En el tubo de la derecha, por pérdida de una unidad osmótica (por metabolización por ejemplo) también es exudada una cantidad proporcional de agua. (Original de Lundegarth).

actúa por su fuerza de turgescencia, pero en sentido inverso; disminuye por lo mismo de volumen, y expulsa agua, sobreviene una exudación de l agua, el "desangre" (bleeding (46) de los autores ingleses.

El fenómeno se explica con el siguiente esquema (Figura N° 14).

Un tubo en U contiene en

una de sus ramas una membrana semipermeable *m*, por encima de la cual se encuentra una solución osmóticamente activa que representaría a las células y por debajo y en la otra rama se encuentra agua pura. Sobre la solución se coloca el peso T equivalente a la presión osmótica. Se establece el equilibrio entre la presión osmótica celular y la presión del peso T, que representa la presión de turgescencia.

Si una de las 3 unidades osmóticas, representadas en la figura, es exudada a través de la membrana semipermeable —para las células vivas consúltase el mecanismo de movilización de los aniones y cationes— un volumen correspondiente de agua debe también ser exudado, si es que el valor de T es constante.

En igual forma si una de las unidades osmóticas desaparece en las células, por procesos metabólicos, un volumen correspondiente de agua será exudado.

En la célula normal los coloides ejercen una determinada presión oncótica. Al coagularse los coloides, en primer lugar, la neutralización del coloide para coagularlo, exige el consumo de unidades osmóticas, y en segundo lugar, el coágulo se comporta como una masa osmóticamente inerte. En resumen, desaparecen de la célula unidades osmóticas, y por lo mismo la presión de turgescencia debe determinar una exudación de agua. Además, tratándose de las células parenquimatosas de la hoja, hay que considerar que la célula al perder presión osmótica, aumenta su presión de vapor, en tanto que en la atmósfera y por lo mismo en sus cavidades estomáticas esta presión se encuentra muy disminuída, según fué estudiado en el capítulo de la etiología. En consecuencia debe establecerse una corriente de exudación desde las células parenquimatosas, hacia las cavidades estomáticas y el exterior. Además es presumible que al coagularse los coloides y desorganizarse la célula, pueden los ácidos mismos ser exudados o posteriormente sufrir nuevas reacciones químicas transformándose en cuerpos insolubles, con lo cual desaparecería un mayor número de unidades osmóticas y aumentaría la exudación.

4.—Evaporación posterior del agua y solidificación de los coágulos celulares.—Cada temperatura atmosférica exige una cierta cantidad de agua —que se mide en gramos por metro cúbico— y mayores temperaturas exigen mayores cantidades de vapor de agua para saturar la atmósfera.

Para que se produzca la helada, como quedó expresado al estudiar la etiología, es preciso primero que la proporción del vapor de agua de la atmósfera descienda a niveles enteramente bajos, con lo cual la temperatura puede descender también a 0° o menos. Al siguiente día de la helada, la poca nebulosidad y la acción directa del sol, hace que la temperatura se eleve tanto, que justamente en estos días se registran las temperaturas

máximas absolutas. Al aumentar bruscamente la temperatura, la atmósfera se pone verdaderamente ávida de vapor de agua, que lo consigue de todos los cuerpos que pueden evaporar este elemento. En estado normal, las plantas por su gran superficie de contacto con la atmósfera y por sus condiciones fisiológicas intrínsecas son las mejores fuentes de vapor de agua. La planta helada es aún una mejor fuente de vapor de agua que la planta normal; ya que a más de las condiciones extrínsecas —avidez de la atmósfera y baja tensión de vapor— las células al perder su presión osmótica y aumentar su tensión de vapor, por las razones ya indicadas, y además al desorganizarse los procesos de absorción y circulación de la savia, las células de las hojas se capacitan para evaporar al máximo su agua.

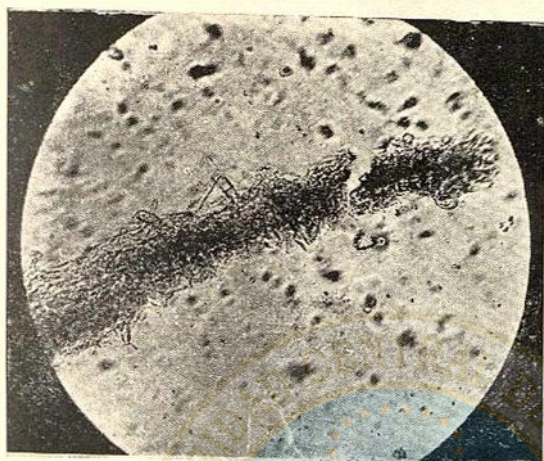
Es así cómo en el día que sigue a la helada se secan las hojas de las plantas que han sufrido sus efectos. Las hojas se reducen de volumen, se arrugan y se retraen. La hoja en total, así como las células en particular, se ponen completamente frágiles y se pulverizan con una facilidad asombrosa; todo esto debido a que los coágulos protoplasmáticos y las membranas celulares evaporan el agua y se transforman en masas sólidas.

En lo que toca a los coloides, todo ocurre como cuando un poco de sangre queda expuesta al medio ambiente, primero se coagula, segundo evapora el agua convirtiéndose en una masa arrugada, sólida, frágil, pulverizable.

El fenómeno lo ilustramos con la microfotografía N° 5, correspondiente a la serie de *Phaseolus vulgaris*, tomada de un corte de hoja helada y desecada.

En dicha microfotografía puede apreciarse la disminución de volumen, la presencia de masas informes y la ausencia de estructura y organización celular (*).

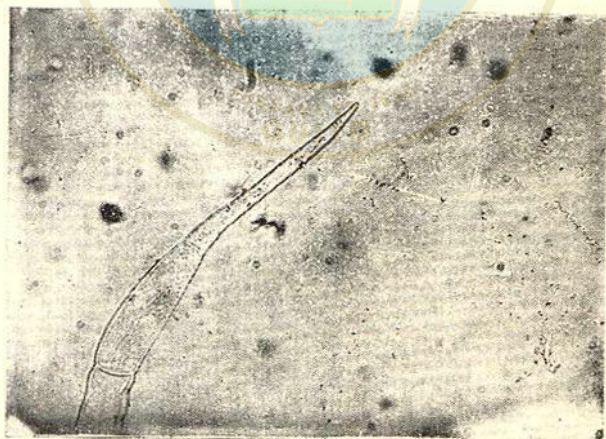
(*) Todos los cortes histológicos estudiados fueron realizados a la mano, gracias a la habilidad del micrógrafo Sr. J. Ernesto Llerena, a fin de que no sufrieran ninguna posible influencia de la parafina caliente, etc. Los cortes fueron directamente recibidos en una gota de glicerina colocada en la placa, y luego examinados al microscopio y microfotografiados.



Microfotografía N° 5.

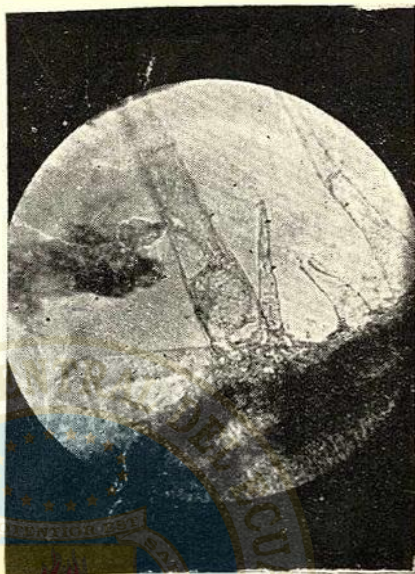
— Corte transversal de hoja "helada" y desecada. El grosor de la hoja se encuentra considerablemente disminuido, probablemente a menos de la mitad. Los parénquimas se encuentran convertidos en una masa informe, compacta y frágil; no se distingue estructura celular.

La helada y la desecación en los tricomas de zambo (Cucurbita pepo).



Microfotografía N° 6.—Tricoma de hoja normal y adulta. El tricoma es tricelular y prácticamente hialino.

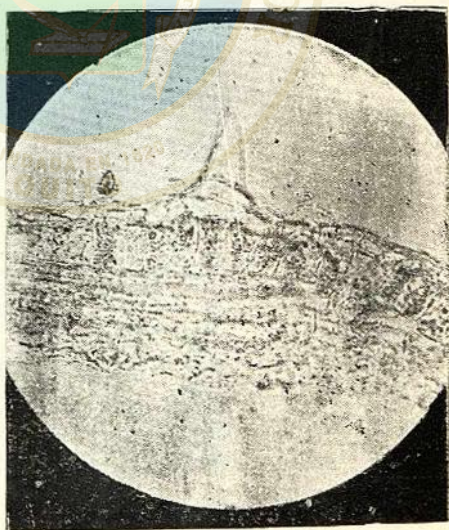
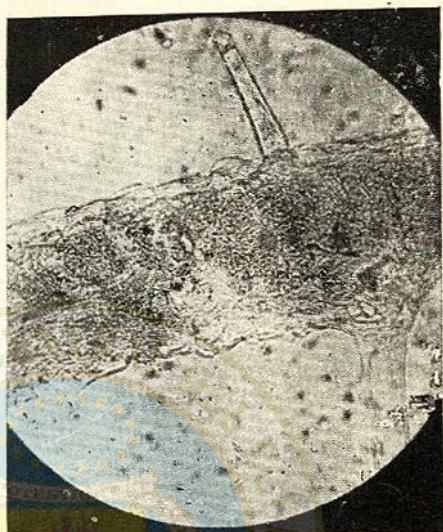
Microfotografía N° 7.—Tricoma después de una helada benigna. En la célula basal puede apreciarse un coágulo ovoideo desprendido parcialmente de las membranas. En la célula inmediatamente superior el proceso es más parcial.



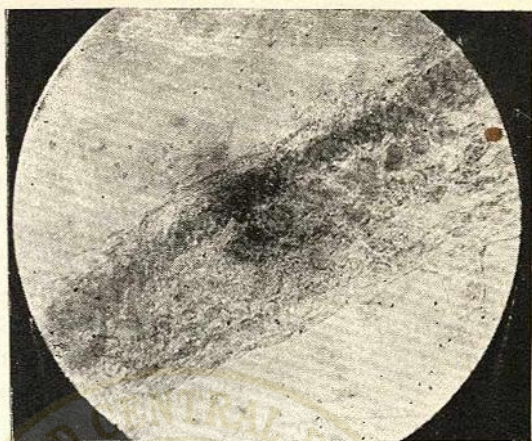
Microfotografía N° 8.—Un tricoma tomado después de la misma helada y la subsiguiente desecación, y observado a mayor aumento. En la célula basal, el protoplasma reducido a un pequeño coágulo completamente desprendido de las membranas.—El tricoma es frágil y se ha quebrado por encima de la célula descrita. Por debajo una parte de epidermis.

**Alteraciones produci-
das por la helada y la
deseccación en las ho-
jas de Uvilla (*Physalis*
peruviana).**

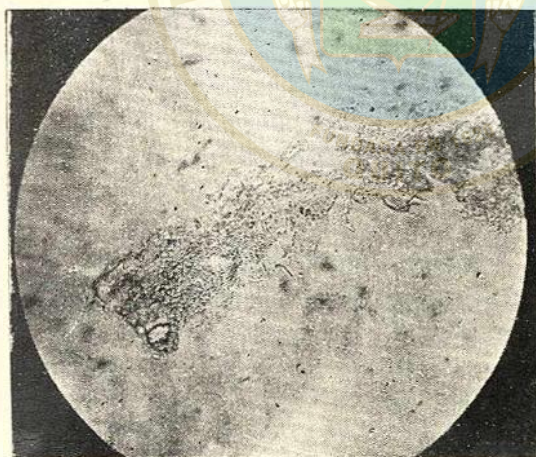
**Microfotografías Nros. 9 y
10.**—Dos secciones de hoja
normal. Pueden distinguir-
se los dos parénquimas y
especialmente en la segun-
da se divisan con claridad
los cloroplastos formando
hileras en el sentido longi-
tudinal de las células de la
empalizada.







Microfotografía N° 11.—Corte de hoja helada. Los protoplasmas se encuentran coagulados, y en la empalizada retraídos hacia adentro; asoman como masas opacas. En las células del parénquima lagunoso la coagulación no afecta a todas ellas.



Microfotografía N° 12.—Corte de hoja "helada" y desecada. El grosor está disminuido y sobre todo no se distingue ninguna estructura; es simplemente una masa frágil y de difícil sección.



También ilustramos con la serie de microfotografías correspondientes a tricomas de zambo o calabaza (*Cucurbita pepo*) (Nrs. 6, 7 y 8). En la primera microfotografía de la serie se ve un tricoma normal, a pesar de que las células son hialinas se aprecia una cierta granulación protoplasmática. En la segunda, se observa un tricoma tomado en las primeras horas de la mañana después de la helada; claramente se observa en la célula basal el protoplasma formando un gran coágulo bien delimitado y que ha comenzado a separarse de las paredes celulares. La tercera, presenta un tricoma recogido más tarde, después de algunas horas de desecación natural; muestra el coágulo retraído y completamente separado de las paredes celulares. Además el tricoma es frágil y se encuentra roto por encima de la célula basal.

La tercera serie de microfotografías corresponde a cortes de hojas de uvilla (*Physalis peruviana*). Las primeras pertenecen a una hoja normal, se aprecian grandes cloroplastos independientes entre sí. En la tercera, que corresponde a hoja helada y que no ha evaporado el agua, se observan los protoplasmas coagulados, especialmente de la fila parenquimatosa en empalizada. Los cloroplastos se reúnen entre sí, formando masas informes. La cuarta corresponde a una hoja helada y seca, al hacerse el corte se han producido muchos desgarros, debido a que las células forman masas sólidas inelásticas. (Microfotografías Nrs. 9, 10, 11 y 12).

5.—El cambio de color de las hojas heladas.—Las hojas de las plantas que han sufrido los efectos de la helada, en las primeras horas de la mañana presentan generalmente un tinte pardo oscuro, y después de la desecación, uno o varios días posteriores a la helada, cambian definitivamente su coloración.

Algunos autores (47) atribuyen este cambio de coloración a un cambio estructural de la clorofila que, como se sabe, es el pigmento que da el color verde a las plantas. La clorofila es un cromoproteído, que actúa seguramente como el grupo prostético de una proteína específica. Se cree que entre las

consecuencias de la helada, estaría la ruptura de esta unión entre clorofila y proteína, a lo que se debería el cambio de coloración de las hojas heladas.

La investigación química llevada a cabo por nosotros para descubrir una posible separación del núcleo magnésico de la clorofila, con lo cual quedaría formada en la planta feofitina, en hojas heladas de Cucurbita pepo, nos dió resultados negativos. El magnesio sigue unido al resto de la molécula.

Por nuestra parte creemos que el cambio de coloración de las hojas heladas, antes que encontrarse ligado a un cambio estructural de la clorofila, estaría más bien ligado al tipo de respiración de cada especie vegetal. Obliga a pensar en esta forma el hecho de que el cambio de coloración no es igual en todos los vegetales helados, así por ejemplo, mientras en las papas (*Solanum tuberosum*), en el zambo (*Cucurbita pepo*), en el haba (*Vicia faba*), las hojas heladas se vuelven negras; en el maíz (*Zea mays*), en las cabuyas (*Agave americana* y *Fourcroya gigantea*), que sólo eventualmente sufren los efectos de la helada, las hojas se vuelven amarillo blanquizas.

Desde las investigaciones de Szent-Györgyi se sabe que el cambio de color de las hojas, los frutos, etc., en el período de la madurez, está ligado con el tipo de respiración; aquellas plantas en cuya respiración intervienen quinonas pueden fácilmente formar pigmentos negros por la capacidad de las quinonas para combinarse con aminoácidos y proteínas dando pigmentos melánicos. En este caso se encuentra por ejemplo la patata. (Véanse las microfotografías Nrs. 13 y 14).

Las plantas en cuya respiración interviene ácido ascórbico, toman una coloración amarilla, ya debido a que el ácido ascórbico tiene esta coloración, ya también porque en el caso de existir simultáneamente quinonas, el ácido ascórbico cede fácilmente los H_2 a la quinona, transformándole en pirocatequina, la cual no forma pigmentos negros.

Las alteraciones en las hojas de las papas (*Solanum tuberosum*)

Microfotografía N° 13. —
Corte transversal de una hoja normal. Con bastante nitidez puede observarse el parénquima en empalizada y el lagunoso con sus inclusiones de cloroplastos.



Microfotografía N° 14. —
Corte transversal de una hoja tomada después de la helada. Los protoplasmas se encuentran coagulados y separados parcialmente de las membranas. Al microscopio los coágulos tienen un color verde oscuro.



Por lo demás, aunque las hojas heladas, por ejemplo en las patatas toman el aspecto negruzco, en cortes al microscopio, en las hojas que aún no se han secado se ve a los cloroplastos formando grupos de color verde oscuro; y en las hojas que han sufrido la evaporación se ve únicamente masas compactas de un color gris verdoso.

4ª Parte.—LA VERNALIZACION Y NUESTRA TEORIA DE LA NECROSIS FRIA DE LAS PLANTAS (48, 49, 51, 52).

Las investigaciones soviéticas han venido a confirmar poderosamente nuestra teoría de la coagulación protoplasmática por un mecanismo acidósico de las células vegetales durante la helada.

Particularmente desde las investigaciones del Académico Lysenko, se conocen las fases de desarrollo de los vegetales; habiendo los científicos soviéticos efectuado numerosas investigaciones sobre las llamadas: **termo-fase** y **foto-fase** (Thermo-stage y photo-stage, de los autores ingleses) y sobre el proceso de la **vernalización**.

Se conoce con precisión para numerosas especies, que las plantas en su crecimiento necesitan pasar por un período térmico determinado, so pena de morir fácilmente ante las modificaciones climatéricas y de no llegar a fructificar.

El período térmico varía en duración e intensidad, no sólo de acuerdo con las especies, sino de acuerdo con las variedades; y mientras ciertas variedades requieren temperaturas bajas, aún inferiores a 0°, otras requieren temperaturas poco o bastante superiores a 0°. Esto ha dado lugar a la división de numerosas plantas en dos grupos principales: plantas de invierno y plantas de primavera.

Lysenko y sus colaboradores demostraron que el período de frío que las plantas de invierno soportan normalmente durante esta estación, puede dárseles artificialmente, proceso al que se

le designó con el nombre de **Vernalización** (*). Posteriormente se ha demostrado que si bien la vernalización es indispensable para el óptimo desarrollo de las plantas de invierno, éstas pueden ser vernalizadas al estado de semillas o de plantas recientemente nacidas. De paso sea dicho que la vernalización ha servido de un nuevo método para la obtención de nuevas variedades y especialmente de variedades con gran resistencia al frío o al calor.

Sin entrar a discutir el proceso mismo de la vernalización, ni las diversas teorías al respecto, nos referiremos a algunos datos que nos interesan por el momento.

En el desarrollo normal de las plantas debe primero completarse el período vegetativo para dar paso al período sexual. Las plantas de invierno durante el período vegetativo pueden soportar temperaturas inferiores a 0° y por varios días; o en su defecto pueden ser vernalizadas y luego sometidas a temperaturas primaverales.

De las investigaciones llevadas a cabo por Richter (49), Rancan y Pekker (49), sobre semillas en vernalización de trigos de invierno, se desprende que las enzimas hidrolíticas aumentan su actividad durante la vernalización; las peroxidasas y las catalasas aumentan su actividad con dos máximos, a los 15 y 29 días para las primeras y 20 y 25 días para las segundas. Los máximos de actividad son seguidos de descensos al nivel inicial. Los mismos investigadores han demostrado que el máximo de respiración coincide con un mínimo de pH y de poder tampón, lo cual se produce hacia el 15° día de la vernalización.

Los trabajos de Demkovskii sobre la actividad enzimática de las semillas en vernalización —con trigo de invierno varie-

(*) En ruso "Jarovizaciija", usado por Lysenko bajo el doble significado de forma artificial de someter a las plantas al período de baja temperatura, y de la "termo-fase" de desarrollo de las plantas. La forma latinizada de "vernalización" y su equivalente en inglés, es usada únicamente bajo la primera acepción.

dad Stepnjacka— coinciden en sus resultados con los de los autores anteriormente citados. La actividad de la amilasa aumentaría en un 300% hacia el 25º día con un segundo máximo hasta el 35º día.

Las investigaciones bioquímicas llevadas a cabo por Richter, sobre trigo de invierno y Gavrilova sobre algodón, para determinar las variaciones del pHi (punto isoelectrico), dan los siguientes resultados:

Trigo:	Semillas no vernalizadas . .	pHi= 4
	" en vernalización . .	pHi= 3,8 o menos
	" ya vernalizadas . .	pHi= 3,9
Algodón:	Tejidos antes de vernalizar	pHi= 6
	" en vernalización .	pHi= 5,6 (durante los 10 o 15 primeros días).
	" ya vernalizados . .	pHi= 6

Como se ve, el pHi desciende hasta la mitad del período de vernalización, para nuevamente regresar al pHi inicial hacia el fin del proceso.

Asimismo de las investigaciones de Vasiljev (50) se desprende que el contenido de hidratos de carbono de las plantas o semillas disminuye durante la vernalización; disminución que según dicho autor, se debería principalmente a una caída de nivel de la hemicelulosa y de los monosacáridos. El contenido en agua, en cambio, es superior en las plantas vernalizadas que en las no vernalizadas.

Los datos mencionados anteriormente son de fundamental importancia para comprobar siquiera teóricamente nuestra creencia de un proceso acidósico durante la helada, y para descartar con mayor argumentación científica la teoría de la congelación del agua.

En lo pertinente al contenido de azúcar, Timofeeva (49) comprueba los descubrimientos de Vasiljev, como puede verificarse por el cuadro que copiamos a continuación:

CANTIDAD DE AZUCARES

Duración del día	Estado de desarrollo	Variedad	Variedad
		Ukrainka	Moscow
Día natural . .	1.--No vernalizadas	43,5	26
	2.--Vernalizadas	19,1	19,5
Día de 24 horas	1.--No vernalizadas	23,6	12,3
	2.--Vernalizadas	9,2	9,4
Día de 9 horas	1.--No vernalizadas	32,4	31,1
	2.--Vernalizadas	15,7	18,7

De los datos en mención podemos sacar las siguientes conclusiones:

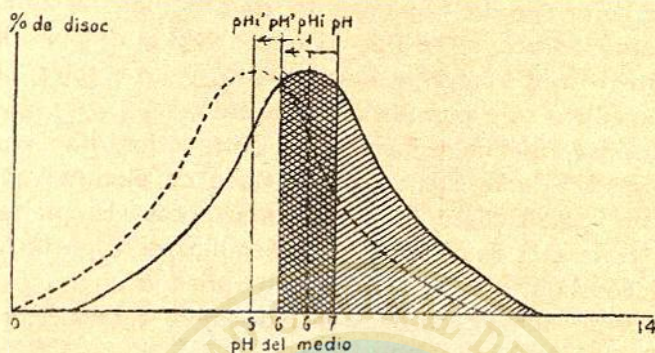
1ª—Las semillas o plantas en vernalización o comprendidas en la "termofase" con temperaturas bajas aumentarían sucesivamente su intensidad respiratoria, con un gran consumo de hidratos de carbono y en particular glucosa; demostrando que tales plantas o semillas no cambian de substrato respiratorio correlativamente al descenso de temperatura; conforme supusimos anteriormente al tratar de la disminución del cociente respiratorio concomitante a la disminución de temperatura.

2ª—El pH celular de las plantas en vernalización o sometidas al frío invernal, se desplaza hacia un grado de mayor acidez.

3ª—El pH_i de las plantas en iguales circunstancias disminuye asimismo a cifras inferiores.

4ª—Anotamos anteriormente que las plantas de invierno pasan su primera fase de desarrollo durante esta estación, pudiendo resistir fríos intensos y prolongados. Esta capacidad de resistencia al frío —temperaturas inferiores a 0°— nos explicamos simplemente como una capacidad de la célula para modificar sus coloides, haciendo descender a cifras menores su punto isoelectrico; por ejemplo de pH_i = 6 a pH_i = 5,0; con lo cual automáticamente aumenta su "resistencia" a los ácidos, o sea, aumenta la resistencia de los coloides celulares para ser lleva-

dos al pH_i por la acidez del medio y luego coagulados. (Véase Figura Nº 15).



(FIG. Nº 15).—El proceso de la vernalización.

Representación de las modificaciones del pH y el pH_i durante la vernalización. Tanto el pH como el pH_i se desplazan hacia la acidez simultáneamente, por lo cual no se produce la coagulación. Sombreada la zona en la que se produciría la coagulación si el pH_i no se desplazara en el sentido indicado.

De allí que adquirir resistencia al frío invernal o a la helada, no significa otra cosa, en términos bioquímicos, que adquirir una resistencia a un estado acidósico. Ahora bien, esta resistencia no puede ser adquirida por el agua, que no posee ningún poder tampón, sino por los coloides celulares, los cuales por procesos metabólicos, por interacción con su medio interno, etc., pueden modificar su naturaleza, su pH_i , y por lo mismo su poder tampón.

5º—El aumento de contenido en agua en las plantas vernalizadas es fácilmente explicable si se tiene en cuenta que el estado acidósico representa un incremento de catabolitos y consiguientemente de presión osmótica.

La capacidad de resistencia al frío y a las heladas no es patrimonio de todas las plantas, sino únicamente de las llamadas "plantas de invierno", debido seguramente a un proceso filoge-

nético de adaptación a esta época del año. Sin embargo esta resistencia al frío no es permanente ni es independiente de la fase de desarrollo del vegetal, o sea que la planta está capacitada para modificar su pH_i por una sola vez; si después de esto, sobrevienen fríos intensos o heladas, sufrirá los efectos, al igual que cualquiera otra planta de primavera.

Vasiljev, Builina y Timofeeva, entre otros, han realizado trabajos sobre la resistencia a la helada de plantas vernalizadas y no vernalizadas. Citaremos unos pocos ejemplares.

Experiencias de Vasiljev; 1ª—Semillas de trigo italiano de la variedad *Lutescens* 21222, y de la variedad *Erythrospermum*, 118, fueron sembradas el 3 de Noviembre y expuestas el 2 de Diciembre a temperaturas entre -4°C y -6°C . por 24 horas. Después de 15 días el número de sobrevivientes fué el siguiente:

<i>Lutescens</i> 21222	Vernalizados: todos muertos
	No vernalizados: 17% de sobrevivientes
<i>Erythrospermum</i> 118	Vernalizados: 64% muertos
	No vernalizados: 100% sobrevivientes

2ª experiencia: Semillas de la variedad de trigo resistente, *Lutescens* 0329, fueron sembradas en tierra en el invernadero el 1º de Enero, y el 28 de Febrero fueron las plantas expuestas a una helada de -15°C . durante el día y trasladadas a 0°C . durante la noche, y vueltas al invernadero a la mañana siguiente. En esta experiencia todas las plantas ya vernalizadas murieron y sobrevivieron todas las plantas no vernalizadas.

3ª experiencia: Semillas de la variedad *Lutescens* 121 fueron sembradas en las condiciones de la experiencia anterior el 1º de Enero y expuestas por varias ocasiones a la helada: el 20 de Febrero por 7 horas a -4°C , el 25 y el 26 de Febrero por 24 horas a -6°C y -8°C ; el 28 de Febrero por 7 horas a -15°C . En los períodos de intervalo las plantas se mantuvieron a 10°C . Después de la última helada las plantas fueron dejadas a 0°C por una noche y luego llevadas al invernadero.

Al 23 de Marzo, el resultado era el siguiente: el 85% de las plantas vernalizadas habían perecido y las restantes se habían desarrollado muy mal; en tanto que las plantas no vernalizadas subsistían todas bajo un normal desarrollo.

La teoría de la congelación del agua y la explosión de las células y vasos conductores, a la luz de todas estas experiencias no resiste ni el más ligero análisis. ¿Cómo explicar por ejemplo, que plantas de la misma especie y variedad, de igual edad, sometidas a iguales heladas, las unas mueran —las vernalizadas— y las otras no? ¿Es que en las unas se congela el agua y en las otras no se congela? ¿Es que podría concebirse que en las plantas ya vernalizadas el agua es susceptible de congelarse y producir los destrozos celulares, en tanto que en las plantas no vernalizadas el agua es resistente al descenso de temperatura? ¿Cuál es el mecanismo de esa resistencia? Aceptar la clásica teoría de la congelación del agua, significa nada menos que asignar a este líquido elemento propiedades de lo más contradictorias, algo así como en Física ha ocurrido con el éter. El agua no es susceptible de adaptarse y de adquirir resistencia al frío. Sabemos que la congelación del agua está sujeta definitivamente a leyes físicas, que están muy lejos de dar una explicación satisfactoria de las experiencias citadas. En cambio los coloides son susceptibles de adaptación y capaces de modificar su naturaleza y propiedades, en relación a los factores intracelulares y extracelulares, conforme lo hemos demostrado anteriormente.

Por último, la teoría de la congelación del agua y jugos celulares es incapaz de explicar satisfactoriamente el que haya plantas que viven en temperaturas muy bajas como *Cochlearia fenestrata*, planta de la Siberia que soporta temperaturas de -46°C . (21), y como numerosas especies: musgos, helechos, gramíneas, etc., que habitan en las breñas de nuestros nevados andinos, donde la nieve no puede acumularse por el declive, pero en donde generalmente reinan temperaturas inferiores a 0° . Entre esas especies se encuentran por ejemplo (6) : *Andreaea striata* (5.300 mts.), *Leptodontium acutifolium* (5.300 mts.); *Poa*

depauperata (5.000 mts.), *Arenaria dicranoides* (5.000 mts.), *Lepidium Humboldtii* (5.000 mts.), etc.; todas estas encontradas en el Chimborazo.

5ª Parte.—OTROS PROBLEMAS Y REALIZACIONES EXPERIMENTALES.

En este capítulo vamos a resumir algunas de nuestras experiencias sobre las heladas, aunque éstas se refieren a diversos aspectos fisiológicos y fisiopatológicos.

1.—Las modificaciones del pH durante la helada.—Ante la insinuación del Prof. Hoffsteter (53) de que personalmente verificáramos las variaciones del pH de las células vegetales durante la helada; a pesar de las dificultades de orden técnico nos decidimos por el trabajo. La falta de aparatos apropiados en nuestro laboratorio, hizo que escogiéramos el método más fácil y elemental, y que por lo mismo no está exento de errores. Hemos escogido el **método de los indicadores** (19, 53, 54), habiendo empleado las series de papeles indicadores "Accutint" de la casa Anachemia y eventualmente el papel de Nitrazine de los Laboratorios Squibb and Sons. En algunos casos empleamos a título de control de los datos obtenidos con los papeles indicadores, las soluciones de Violeta cristal Metilnaranja y Fenolptatelína.

La técnica empleada en la mayoría de los casos fué la del aplastamiento celular, en forma parecida a la descrita por Vlès (55); en otros, la de cortes longitudinales y transversales de tallos u hojas e inmediata impregnación de los jugos en el papel indicador.

Para el empleo de las soluciones indicadoras, previamente fueron realizados a la mano cortes histológicos, colocados en seco en una placa, y luego instilada una gota de solución indicadora; o también realizado un primer corte en el órgano en examen, se instilaba la solución en la parte cortada del órgano

y luego se hacía el corte histológico de los tejidos coloreados. La observación se hacía al microscopio.

Anticipamos desde ya que los resultados obtenidos por nosotros, no tienen un valor absoluto por lo impreciso del método empleado. Como podrá verse en el capítulo correspondiente, para algunas plantas hemos encontrado pH muy desplazados hacia la acidez; desde luego hay que considerar, que el método del aplastamiento directo sobre el papel indicador, impide en alto grado la pérdida de ácido carbónico y por lo mismo se obtienen pHs más bajos que según los otros métodos. La acidez celular, según el método de las soluciones indicadoras, fué inferior a la obtenida en los papeles.

Las experiencias sobre los cambios del pH, durante la helada, hemos realizado únicamente con plantas de patatas y calabazas.

Una primera serie de plantas de un mes de nacidas, fué sometida a heladas artificiales. Los resultados son los siguientes:

Antes de la helada:

Hoja	pH = $6,7 \pm 0.1$
Pecíolo	pH = 6,2
Tallo (parte alta, parénquima cortical, sin epidermis)	pH = $5,7 \pm 0.2$
Tallo (parénq. central)	pH = $6,4 \pm 0.2$

Después de 6 horas de helada a -5°C :

Hoja	pH = $5,7 \pm 0.1$
Pecíolo (parénq. cortical)	pH = $5,4 \pm 0.1$
Pecíolo (parénq. central)	pH = 6 ± 0.1
Tallo (parénq. cortical)	pH = 5,6
Tallo (parénq. central)	pH = 6 ± 0.1

Una segunda serie de plantas de 3 semanas de nacidas fueron sometidas a una helada de -3°C , durante 5 horas. Los resultados son los siguientes:

Antes de la helada:

Hoja	$\text{pH} = 6,5 \pm 0.1$
Tallo (parénq. cortical)	$\text{pH} = 6 \pm 0.1$
Tallo (parénq. central)	$\text{pH} = 6,1 \pm 0.1$

Después de la helada:

Hoja	$\text{pH} = 6$
Tallo (parénq. cortical)	$\text{pH} = 5,7$
Tallo (parénq. central)	$\text{pH} = 6 \pm 0.1$

Otras series de plantas fueron sometidas a iguales circunstancias y los resultados fueron aproximadamente iguales, por lo cual no insistiremos en sus detalles.

También una serie de plantas de calabazas fueron sometidas a una helada de -5°C , durante 10 horas; los resultados fueron los siguientes:

Hoja normal	$\text{pH} = 7 \pm 0.2$
Hoja helada	$\text{pH} = 6$

Al iniciar estas experiencias, creímos que el pH sufriría grandes desplazamientos y que sería posible controlar de hora en hora sus variaciones. Pero tales modificaciones de una hora a otra, especialmente en las primeras horas, no son tan claras y determinables mediante los papeles indicadores. El desplazamiento final del pH, es aproximadamente de una unidad, que quizá es lo suficiente para que una buena cantidad de los coloides protoplasmáticos lleguen a su punto isoelectrico y se coagulen.

A este respecto, y aunque refiriéndose a la célula animal, Dognon (19) dice lo siguiente: "El hecho de mayor importancia, desde el punto de vista de la fisiología celular, es **la distancia que existe normalmente entre el pH y el punto isoelectrico**; los datos que poseemos parecen demostrar que esta distancia es siempre pequeña, inferior generalmente a la unidad de pH. Vemos que la célula trabaja en condiciones de extrema inestabilidad, en donde la menor variación produce efectos profundos".

Desconocemos el pH_i de las patatas y calabazas, sin embargo, por los datos anteriores, sospechamos que éste se encuentra próximo al pH 6.

Según Small (28) los puntos isoelectricos de la mayoría de las plantas se encontrarían entre 4 y 5,5. Sin embargo las investigaciones de Gavrilova (29), señalan para el algodón un $pH_i = 6$; con lo cual nos autoriza a pensar en pH_i superiores a 5,5; caso en el cual estarían comprendidas las patatas y las calabazas.

Pero lo interesante del proceso acidósico no está únicamente en que hace variar el pH de los parénquimas y epidermis, sino que cuando la planta comienza a deshelarse, prontamente se ve aparecer en la superficie de las hojas abundante líquido capaz de mojar los dedos o un papel. Antes de estos trabajos creímos que el líquido no era sino agua; fué grande la sorpresa al comprobar que el líquido era una solución ácida, cuyo pH fácilmente se podía comprobar y que en las patatas fué igual a 6.

Otro hecho que merece citarse es el siguiente. Algunas de las hojas de calabaza que sufrieron una helada "severa", colocamos en agua al medio ambiente. Hojas normales también sometimos a iguales condiciones. El agua del recipiente de las hojas heladas inicialmente fué ácido, pero fué virando a una intensa alcalinidad. En el de las hojas normales, para igual tiempo (3 días), no varió grandemente el pH . Es posible que este viraje se deba a fenómenos fermentativos de las albúminas especialmente, lo cual sería muy fácil en las hojas heladas, por las transformaciones coloidales sufridas. Además en las hojas heladas en maceración a los 5 días se observaron colonias de hongos pertenecientes a los géneros *Penicillium* y *Mucor*.

2.—La congelación del agua celular y la helada.—Con lo que hemos refutado a la teoría de la congelación del agua, el tema no queda agotado.

Un grupo de plantas de fréjol (*Phaseolus vulgaris*, variedad "canario") a los 10 días de haber nacido fueron sometidas a la temperatura de $1^{\circ}C$ (temperatura que fué controlada en la re-

frigeradora a más del graduador automático por un termómetro colocado a la altura de las plantas). A esta temperatura se le mantuvo durante 36 horas consecutivas; sacándoles luego a la intemperie, un día bastante caluroso y seco con un máximo de 18°C a las 12 ½ p. m. Todas las plantas de esta experiencia perecieron.

Otro grupo de plantas de uvilla (*Physalis peruviana*) que tenían entre 40 y 60 días de edad y que previamente habían gozado de abundante humedad, fueron sometidas a una helada artificial de —4° durante 5 horas. Las hojas de las plantas mantenidas aún dentro de la refrigeradora y observadas con una lupa, revelaban la presencia de numerosos y brillantes cristalitos de agua en sus superficies, especialmente en el envez. A la palpación las hojas presentaban en tales condiciones mayor consistencia que la normal, pero prontamente por efecto del calor de la mano los cristales de hielo se fundían, la hoja exudaba gotas de agua y se ponían anormalmente flácidas. Posteriormente fueron abandonadas a la intemperie. Las plantas más jóvenes murieron, en tanto que de las otras sólo se afectaron algunas hojas y sobrevivieron con nuevos retoños.

Un grupo de plantas de haba (*Vicia faba*), vegetal que tiene cierta resistencia a la helada, fué sometido a una helada artificial de —7° durante 3 horas. Las plantas tenían de edad 3 y 4 semanas. Al final de la experiencia podía comprobarse una gran consistencia de las hojas y particularmente de los tallos. A simple vista se observaba en los tallos, que por debajo de la epidermis el agua se había congelado en grandes masas; haciendo incisiones en una de estas plantas obtuvimos numerosos trocitos de hielo. Luego las plantas fueron colocadas a la intemperie, en este momento la temperatura ambiente era de 16°C. y las plantas estuvieron bajo la acción directa de los rayos solares; rápidamente comenzó a fundirse el hielo por debajo de las epidermis; el fenómeno era tan violento que entre el líquido subepidérmico se formaron grandes burbujas. A simple vista también por una rara transparencia que se produce, se puede observar los vasos leñosos, en los que igualmente se produce la

embolia; el fenómeno fué verdaderamente espectacular. Al microscopio se comprobaba la existencia de grandes y pequeñas burbujas en los vasos leñosos. Al mismo tiempo que se fundió el hielo, los tallos perdieron consistencia y se doblaron en eses. Luego las plantas fueron colocadas a la sombra. De este grupo de plantas solamente aquellas que habían sido muy traumatizadas por el manoseo, perecieron; las demás siguieron viviendo pero con sus tallos doblados y retorcidos.

De las experiencias citadas podemos concluir: 1º) no son indispensables temperaturas inferiores a 0° para que en las plantas susceptibles, se necrocen los tejidos; 2º) la congelación del agua, ya en las superficies de las hojas, ya por debajo de la epidermis, o la congelación del agua en los vasos conductores, depende únicamente de la magnitud del descenso de la temperatura y de la duración de tales condiciones; sin que tal congelación esté en relación directa con la necrosis de los tejidos; pues como en la experiencia de las habas, puede haber grandes congelaciones sin necrosis de las plantas. 3º) nuestras experiencias nos autorizan a negar el que se produzca la explosión de los vasos y las células por efecto de la congelación de los jugos, ya que ésta no se la observa al microscopio, y en el caso de las embolias de las habas, ante el microscopio y con finos estiletes, pudimos movilizar a lo largo de los vasos a apreciables distancias las burbujas de aire, sin que se notara la ruptura de los mismos.

3.—El problema de la "hora de la helada".—Es doctrina entre los climatólogos que la helada se produce en un corto período de la mañana. Así por ejemplo, el Sr. Luis Montenegro (3), Director de la Estación Meteorológica de Ambato, expresa lo siguiente: "La temperatura del suelo en estas condiciones —intensa irradiación nocturna— llega a descender bajo 0°C, generalmente a eso de las 6 y 6½ de la mañana, **y es el momento en el que se produce la helada, y no a las 3 o a las 4 de la madrugada, como creen nuestros campesinos.** Tampoco en éstas se pronuncia la destrucción de las sementeras, sino que la

temperatura peligrosa dura una, dos o tres horas después de la salida del sol; este astro con sus rayos contribuye a la pronta desorganización de la planta".

El problema lo analizamos con anterioridad y repetimos que la helada considerada como simple fenómeno meteorológico puede tener su realización a las 6 o 6½ a. m. hora en que la temperatura césped se encuentra por debajo de 0°, pero la helada como fenómeno fisiopatológico se realiza lentamente, en el transcurso de algunas horas de temperatura baja, con efectos más graves mientras más bajas son las temperaturas.

A continuación referiremos algunas de nuestras experiencias.

Un grupo de plantas de fréjol de 12 días de edad, fueron sometidas a una helada artificial de -1° por 2 horas y luego llevadas a la intemperie, a la acción solar directa. Ninguna de las plantas sufrió alteraciones visibles como puede apreciarse en la fotografía N° 15.

El mismo grupo de plantas fué sometido a una nueva helada artificial de -1°C durante 12 horas; después la mitad de las plantas fueron expuestas a la intemperie bajo la acción solar directa, mientras la otra mitad fué colocada en un cuarto con una temperatura que oscilaba entre 6 y 10° , en donde las plantas se mantuvieron por 2 días y luego fueron expuestas a la intemperie. Las plantas que fueron directamente expuestas a la intemperie perecieron en su totalidad; en tanto que las otras sobrevivieron en un 80%; pero en casi todas las plantas las hojas que sufrieron la helada murieron y se secaron, habiendo brotado nuevas hojas de las respectivas yemas.

De estas pocas experiencias puede concluirse:

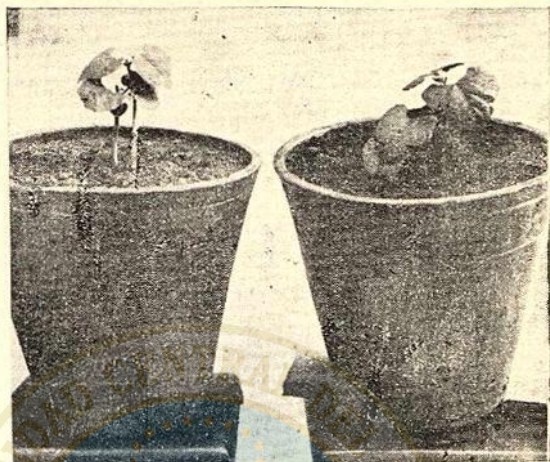
1°—El proceso fisiopatológico se desarrolla lentamente hasta culminar en las coagulaciones protoplasmáticas;

2°—La helada para que produzca la necrosis, aparte de otras condiciones, debe durar mayor tiempo mientras menor sea el descenso de temperatura. Esta condición se cumple artificialmente; pero en la helada natural mientras más fuerte es el des-

Plantas sometidas a una helada de poca duración.

Fotografía N° 15.

—Plantas de fréjol (*Phaseolus vulgaris*) de 12 días de nacidas, fotografiadas después de una helada de -1°C y que duró solamente 2 horas. Las plantas se encuentran ilesas.



Plantas de diversa edad sometidas a la misma helada.



Fotografía N° 16.

—Tres plantas de fréjol, las dos, de 3 semanas de edad y la tercera de una semana. Fotografía tomada después de una helada de -3° por 2 horas y después de varias horas de que las plantas permanecieran a la sombra. La planta de una semana se necrozó y puede observarse con sus hojas recogidas y caídas sobre el fondo

blanco del papel. En las otras plantas, la necrosis fué parcial, y en la hoja anterior y superior se aprecia la necrosis del ápice de la hoja.



censo de temperatura, la planta sufre mayor tiempo la acción del frío y viceversa;

3°—El calor solar que determina una tremenda evaporación de las plantas que han sufrido la helada, contribuye a causar mayores destrozos; pero no es el factor decisivo en la producción de la necrosis celular.

4.—La edad de las plantas y la helada.—Es de vulgar conocimiento el que mientras más tiernas son las plantas, más susceptibles son a las heladas. En el concepto de Boussingault, así como de otros autores que sostienen la teoría de la congelación del agua, esto se debería a que las plantas tiernas son más ricas en jugos y pueden congelarse más fácilmente.

Nuestras experiencias de laboratorio están plenamente de acuerdo en que en plantas susceptibles a la helada la edad es un factor de mucha importancia. En los diversos ensayos realizados con plantas de fréjol, patatas y maíz sometiendo a iguales heladas artificiales, en todos los casos las plantas tiernas sufrieron más intensamente las consecuencias. Así por ejemplo, en un grupo de plantas de fréjol de 3 semanas de edad, las unas y de una semana las otras, que fueron sometidas a una helada artificial de -3° durante 2 horas, luego de colocadas a la sombra, las plantas de una semana de edad perecieron, en tanto que las otras sufrieron necrosis regionales en las hojas, pero finalmente sobrevivieron. Véase fotografía N° 16.

No nos declaramos partidarias de la teoría de que la abundancia de agua y jugos celulares sean la causa de la necrosis de las plantas tiernas.

Es sabido, y ante el microscopio se comprueba a cada momento, que las células de las plantas tiernas o de los tejidos embrionarios —meristemas por ejemplo— poseen finas membranas celulósicas, en tanto que las células adultas poseen membranas gruesas. La maduración celular se acompaña de un proceso de engrosamiento de las membranas. Si se considera que la celulosa es una sustancia mala conductora del calor e impide su irra-

diación, aunque no tenemos datos experimentales, es factible suponer que la irradiación del calor durante la helada ha de ser más intensa en las células jóvenes que en las adultas. Y como esta irradiación del calor es la que lleva a la planta a un grado de enfriamiento con disminución de los procesos enzimáticos y las posteriores alteraciones en la respiración celular, es dable suponer que la susceptibilidad de las plantas tiernas, antes que vincularse con su porcentaje en agua y jugos, se relaciona con su fuerte irradiación de calor. Por la calidad de protección que ejerce la membrana celulósica a las células jóvenes podría considerárseles casi como células desnudas, en tanto que a las células adultas, como vestidas.

5.—La humedad del suelo y la helada.—Según la teoría de la congelación del agua, la humedad ha sido considerada como un factor perjudicial, puesto que al disponer la planta de abundante agua y acumularla en sus tejidos, ésta puede congelarse con facilidad durante la helada.

Teóricamente llegamos a una conclusión contraria y las experiencias han venido a comprobar nuestra suposición.

En el estudio sobre los coloides se señaló que cuando un coloide hidrófilo estaba en presencia de otro coloide o electrolito de signo contrario, la fuerza de hidratación actuaba opuestamente a la fuerza de atracción eléctrica. En tal virtud, teóricamente puede considerarse que si el coloide hidrófilo dispone de poca agua para hidratarse, pequeñas cantidades de electrolito con carga contraria podrán hacerle flocular. Además en muchos casos de floculaciones y coagulaciones el proceso es reversible a condición de que el coloide disponga de abundante agua para que se redisuelvan los electrolitos.

En el terreno celular, al producirse la acidosis en la helada, se aumenta la fuerza osmótica que siquiera parcialmente se ha de satisfacer merced a la capa de hidratación de los coloides, perdiendo éstos estabilidad. Si las plantas disponen de abundante agua para absorber y hacerla circular, pueden en alguna forma "luchar" contra los extraños electrolitos impidiendo un tan-

El efecto de la sequía y la helada en las patatas.



Fotografía N° 17.

—Plantas de patatas: la primera tiene 15 días más de edad que las otras y ocho días antes de la experiencia no se la irrigó.

Fotografía N° 18.

—Las mismas plantas después de una helada de 5 horas y de -3° . La planta que no fué irrigada, a pesar de su mayor edad pereció en la experiencia, las otras soportaron la helada.



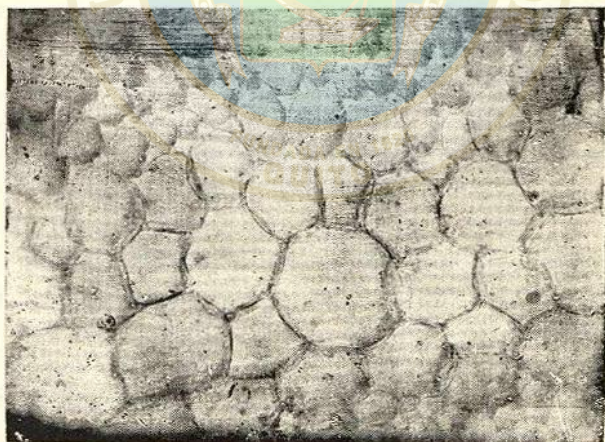


El aspecto exterior de las plantas secas y las plantas "heladas".



Fotografía Nº 19.
—2 plantas muertas de patatas: la primera por una intensa sequía, puede verse la tierra seca y resquebrajada; la segunda por una helada intensa. El aspecto de ambas es bastante parecido.

Alteraciones producidas por la helada y la sequía en los tallos de las patatas.



Microfotografía Nº 20.—Corte transversal de tallo de una planta normal. De arriba abajo se observan capas de colénquima angular y capas de parénquima cortical. Las células son hialinas.



to la coagulación coloidal. Además, si la helada no ha sido demasiado intensa, y tampoco las coagulaciones, podría el fenómeno ser reversible siempre que la planta disponga de suficiente agua para redisolver el coágulo y también para evaporar al día siguiente.

Hemos realizado experiencias con patatas y fréjol, obteniendo similares resultados entre sí. Relataremos la experiencia de las patatas.

De un grupo de plantas de un mes de edad, la mitad fué irrigada diariamente, en tanto que la otra mitad desde 15 días antes de la experiencia no se le irrigó, manteniendo tales plantas a la intemperie durante los días de sequía. Los dos grupos de plantas fueron sometidos a una helada artificial de -2° durante 6 horas, y luego colocadas a la intemperie. La totalidad de las plantas que no fueron irrigadas antes de la experiencia perecieron. Del otro grupo, las plantas sufrieron pequeñas consecuencias, pero finalmente sobrevivieron.

Esta experiencia la ilustramos con dos fotografías (Nros. 17 y 18). En la primera se encuentran tres plantas de patatas: las dos últimas fueron mantenidas a irrigación, en tanto que la primera, 8 días antes de la experiencia fué sometida a intensa sequía. Las plantas fueron sometidas a 5 horas de helada artificial de -3° . La planta que no fué irrigada en los últimos días, pese a que tenía 15 días más de edad que la otra, pereció; la otra salió ilesa de la experiencia.

6.—Las plantas frente a la helada y a la sequía.—La similitud de los cambios morfológicos de las plantas que mueren a consecuencia de la helada, y de las que mueren a consecuencia de la sequía, nos indujo a efectuar un pequeño número de investigaciones, cuyos resultados, sin discutirlos, vamos a indicar.

En primer lugar, el aspecto exterior de las plantas es parecido: tallos doblados, arrugados, hojas disminuídas de volumen, replegadas, frágiles, aunque un tanto más ennegrecidas en las plantas heladas, como puede verse en la fotografía N° 19; la

planta que asoma con un papel ha sido sometida a una helada artificial, y la otra a una intensa sequía.

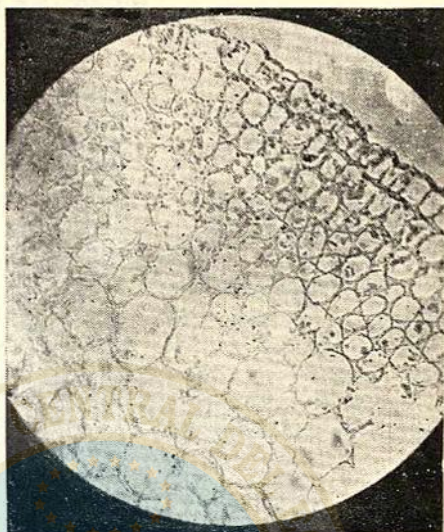
En segundo lugar, las transformaciones histológicas y citológicas, son igualmente parecidas: en ambos casos se observan coagulaciones protoplasmáticas, como puede verse en la serie adjunta de microfotografías, correspondientes a tallos y hojas. La primera microfotografía de la serie (Nº 20) representa un corte transversal de tallo de una planta normal de patata, se aprecia una zona del parénquima central separado del cortical por una zona colenquimatoso. Las células son hialinas y transparentes. La siguiente microfotografía corresponde al tallo de la planta helada (Nº 21) que además ha sufrido la desecación subsiguiente. Se observan iguales zonas histológicas pero en el interior de las células hay masas informes repartidas anárquicamente que representan los coágulos protoplasmáticos. En la tercera microfotografía (Nº 22) se encuentra un corte del tallo de una planta seca. Se observa la zona parenquimatoso y pocas células del colénquima. Los protoplasmas se han coagulado formando una capa que se encuentra pegada a las membranas celulares, las cuales además, asoman arrugadas.

En la serie de microfotografías correspondientes a hojas, la primera (Nº 23) representa un corte de hoja normal. (En la fotografía Nº 14 puede apreciarse una hoja helada antes de la desecación; es notoria la coagulación de los protoplasmas, tanto del parénquima en empalizada como del lagunoso). La segunda, (Nº 24) es un corte de hoja helada y desecada. La tercera (Nº 25), un corte de hoja seca (muerta por la sequía), en ésta se observa también protoplasmas coagulados, especialmente un amontonamiento de cloroplastos. Sin embargo entre la hoja simplemente seca y la hoja helada y seca, se aprecia alguna diferencia; en la primera subsiste aún una cierta ordenación celular y los coágulos se mantienen independientes entre sí, en tanto que en la hoja helada y seca no se puede distinguir ninguna organización celular.

Estas observaciones al microscopio, hacen pensar que aunque en ambos casos, los protoplasmas se encuentran coagulados,

Microfotografía N° 21.—

Corte transversal de tallo de una planta "helada" y observado a menor aumento. De afuera adentro se observan: la epidermis, la exodermis, capas de colenquima angular y capas de parénquima cortical. En el interior de las células existen pequeñas masas opacas correspondientes a protoplasmas coagulados y fraccionados.

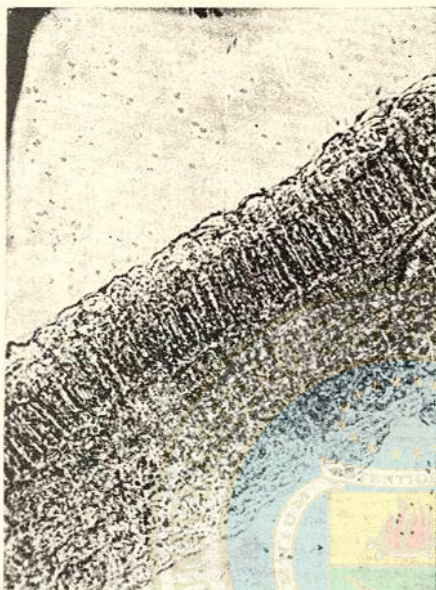


Microfotografía N° 22.—

Corte transversal de tallo de una planta seca. Enfocado a mayor aumento que la anterior la zona del parénquima cortical. Los protoplasmas forman una pequeña capa adosada a las membranas, las cuales además, están arrugadas. En el centro de las células existe únicamente una gran vacuola.

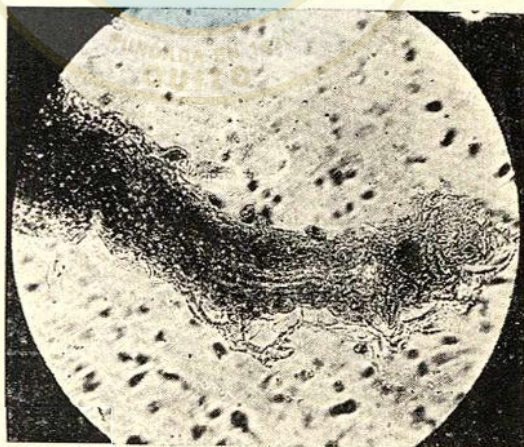


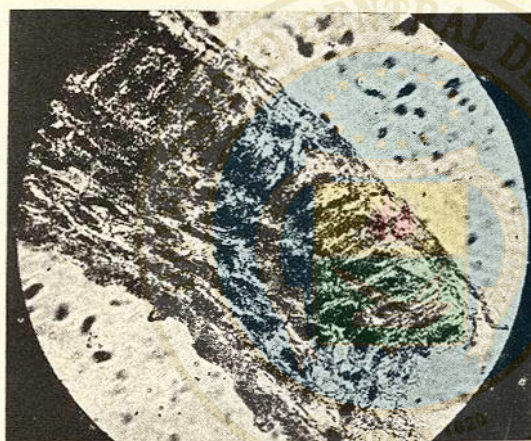
Alteraciones producidas por la helada y la sequía en las hojas de las patatas.



Microfotografía N° 23.—Corte transversal de una hoja normal. Con gran nitidez se observa la estructura normal de la hoja. Las células con sus inclusiones de cloroplastos.

Microfotografía N° 24.—Corte de hoja después de una fuerte helada y de la consiguiente desecación. No se parecía la estructura celular del órgano, sino masas protoplasmáticas coaguladas y agrupadas entre sí.





Microfotografía N°

25.—Corte de hoja de una planta muerta por la sequía. Se observa el amontonamiento o quizá la coagulación de los cloroplastos y los protoplastos, pero en forma más ordenada y sistematizada que en las hojas muertas por la helada y luego desecadas.



la necrosis por la helada representa un fenómeno violento, desordenado, frente a la necrosis de las plantas por la sequía, en que las plantas morirían más lentamente, en un proceso mejor sistematizado, sin perder la organización celular.

No sabemos si en la necrosis por la sequía es la coagulación protoplasmática la que determina la muerte celular, o si más bien la coagulación es un fenómeno post-mortem, ya que por lo menos, según las investigaciones de Reiss y Simonin (19) realizadas sobre tejidos animales post-mortem, se ha comprobado un descenso del pH, o sea un proceso de acidificación.

7.—La "altura" de las plantas y la helada.—Es un hecho evidente que los árboles de gran talla como el eucalipto (*Eucalypto globulus*) no sufren los efectos de las heladas. Podría deberse a una resistencia natural de estas especies; pero es claro que el hecho se encuentra vinculado también con la altura de la planta y la temperatura del aire.

Como quedó estudiado en la etiología, en la helada a nivel del suelo la temperatura puede descender a varios grados bajo cero, pero a 1, 2, 3, o más metros de altura, la temperatura se mantiene a varios grados sobre cero; en tal virtud los árboles no sufren un gran enfriamiento.

Con plantas trepadoras y susceptibles a la helada, como el zambo (*Cucurbita pepo*) se comprueba el mismo fenómeno: mientras las partes de la planta que se encuentran en la superficie de la tierra sufren la necrosis fría, las partes trepadas sobre árboles quedan ilesas después de la helada.

8.—Plantas susceptibles y plantas resistentes a las heladas.—Después de una helada, los campos no quedan completamente desolados, hay plantas que han resistido el fenómeno y continúan subsistiendo.

Es evidente que la resistencia de las plantas a la helada es muy variable según la especie. Esta capacidad de resistencia depende seguramente de varios factores, tales como: grosor de las membranas, constitución de las mismas, presencia de grue-

sas cutículas, presencia de aceites volátiles, grosor de las capas parenquimatosas de las hojas, etc., y especialmente el pH y el pHi de tales plantas.

Nuestras experiencias sobre el pH de los jugos vegetales, especialmente de las hojas, nos demuestran que generalmente las plantas susceptibles a la helada tienen un pH ligeramente ácido, o más bien desplazado hacia la alcalinidad; en tanto que las plantas resistentes a la helada son fuertemente ácidas.

A continuación presentamos una lista de las plantas susceptibles y resistentes, más conocidas, juntamente con el pH de las hojas de algunas de dichas especies.

a) Plantas altamente susceptibles:

Fréjol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Leguminosa.	
Zambo o calabaza (<i>Cucurbita pepo</i>)	Cucurbitácea,	pH = 7 ± 0.2
Zapallo (<i>Cucurbita maximo</i>)	"	
Patata (<i>Solanum tuberosum</i>)	Solanácea,	pH = $6,7 \pm 0.1$
Tomate (<i>Lycopersicum sculentum</i>)	"	
Ají (<i>Capsicum annum</i>)	"	pH = 6,7
Uvilla (<i>Physalis peruviana</i>)	"	pH = $6,5 \pm 0.2$

b) Plantas menos susceptibles:

Maíz (<i>Zea mays</i>)	Gramínea	
Trigo (<i>Triticum vulgare</i>)	"	
Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)	"	
Alverja (<i>Vicia sativa</i>)	Leguminosa,	pH = 6
Lenteja (<i>Lens sculenta</i>)	"	
Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)	"	
Haba (<i>Vicia faba</i>)	"	
Lechero (<i>Euforbia laurifolia</i>)	Euforbiácea.	

c) . Poco susceptibles:

Ocas (<i>Oxalis tuberosa</i>)	Oxalidácea.
Mellocos (<i>Ullucus tuberosus</i>)	Baselácea.

d). Muy poco susceptibles:

- Centeno (*Secale cereale*) Gramínea.
Quinoa (*Chenopodium quinoa*) Quenopodiácea.
Chocho (*Lupinus mutabilis*) Leguminosa.
Cabuya blanca (*Fourcroya gigantea*) Amarilidácea.
Cabuya negra (*Agave americana*) "

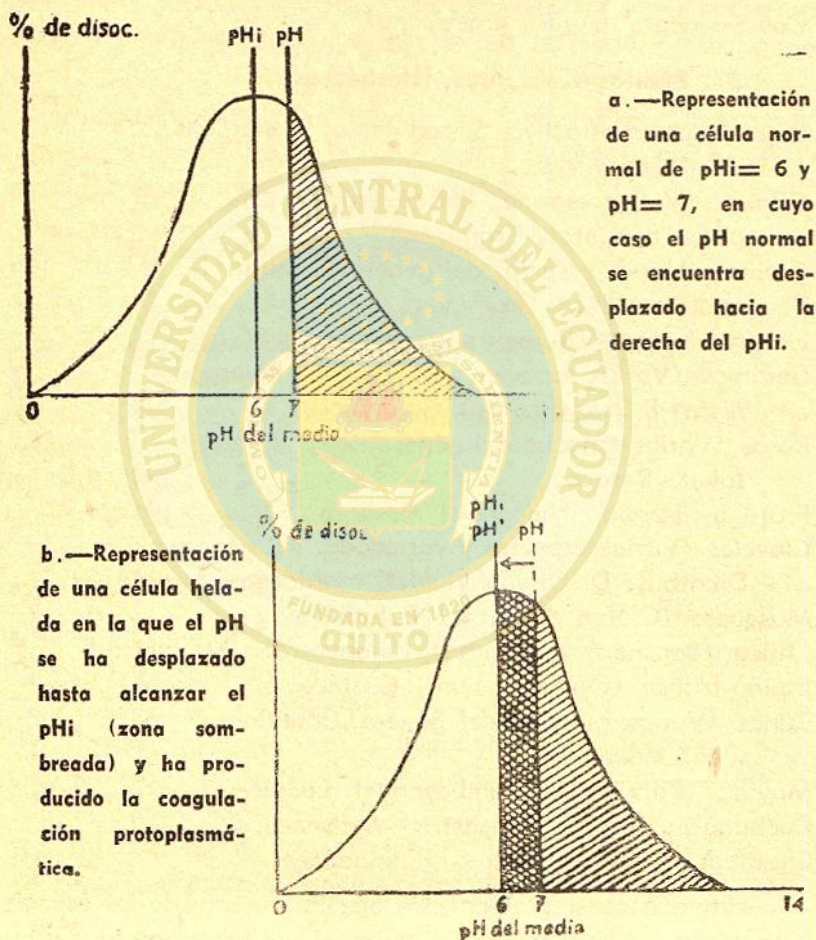
e). Plantas resistentes. (Herbáceas):

- Paja (*Stipa eriostachya*, *S. sodiroana*, *S. eminens*, etc.) Gramíneas.
Gramas (Varias especies del género *Agrostis*: *A. perennans*, etc.) Gramíneas.
Gramas (Varias especies del género *Trisetum*: *T. andinum*, etc.) Gramíneas.
Lengua de vaca (*Rumex crispus*) Poligonácea.
Geranios (Varias especies del género *Palargonium*: *P. ayavascense*) Geraniácea, pH=2
Rosas (Varias especies del género *Rosa*: *R. centifolia*) Rosácea, pH=4,5
Frutilla (*Fragaria chiloensis*) Rosácea, pH=3,9
Claveles (Varias especies y variedades del género *Dianthus*: *D. caryophyllus*) Cariofilácea, pH=6,8
Mosquera (*Croton dimisium*) Euforbiácea.
Chilca (*Baccharis polyantha*) Compuesta, pH=4
Espino blanco (*Cereus sepium*) Cactácea.
Tunas (Varias especies del género *Opuntia*: *O. tuna*) Cactácea.
Muyuso (*Barzicactus Dombeyanus*) Cactácea.
Cuchimalva (*Malva campestris*) Malvácea.
Chamana (*Dodonea viscosa*) Sapindácea.

Hay que considerar además que la mayoría de las especies que forman la flora de los páramos y las altas montañas, y que pertenecen a numerosas familias, tienen una alta resistencia natural a la helada.

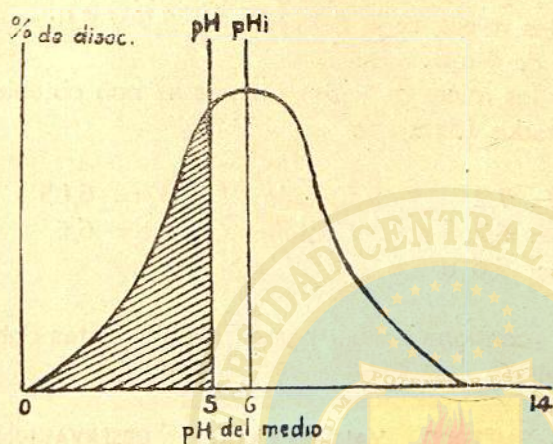
Como hemos anotado anteriormente, la susceptibilidad o resistencia puede depender de varios factores, pero en lo que se

(FIG. Nº 16.—Variaciones del pH celular durante la helada en plantas susceptibles y resistentes.



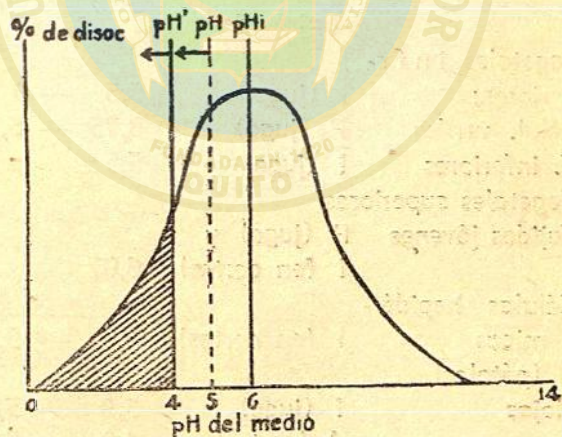
refiere al pH y al pH_i , es posible que las plantas susceptibles mientras el pH_i estaría entre 5,5 y 6, el pH estaría entre 6,5 y 7; o sea que los coloides están actuando como electronegativos

y por lo mismo al acidificarse el medio, alcanzaría el punto isoeléctrico produciéndose la respectiva coagulación. En las plantas resistentes, en cambio, el pH estaría por debajo del pH_i o sea desplazado hacia la izquierda del pH_i , estando los coloides



c. — Otra célula normal, pero cuyo $pH = 5$ se encuentra hacia la izquierda del $pH_i = 6$.

d. — La misma célula después de la helada. Tipo de célula resistente. Al desplazarse el pH hacia la acidez, durante la helada, se aleja más del pH_i y no se produce la coagulación.



como electropositivos; y al acidificarse el medio éste se desplazaría hacia la izquierda alejándose cada vez más del pH_i , por lo mismo la distancia del pH y el punto isoeléctrico aumentaría. Quizá en algunos casos de plantas resistentes, cuyo pH estaría

hacia la derecha del pH_i , la distancia sea tal, que la acidosis no logre compensar esta distancia y por lo mismo no se produzca la coagulación.

A continuación citamos algunos datos sobre el pH , tomados de otros autores: **pH de la savia**, según K. Kappen (55) el pH de la savia de las raíces, sería del orden de 5,5 y 6,8; y en los troncos y tallos, de 4 a 6.

En la savia de las raíces de varias plantas se han obtenido los siguientes resultados (55):

Trigo	$pH = 7,2$	Cebada	$pH = 6,85$
Avena	$pH = 6,7$	Centeno	$pH = 6,6$
Alfalfa	$pH = 5,6$ a $5,8$		

Dognon (19), consigna por su parte, los siguientes datos pertenecientes a Reiss:

OBJETOS	METODO	VALORES EXTREMOS	OBSERVACIONES
	P=potenciomet. I=indicadores	MOS	
Vegetales inferiores:	I (jugo)	5,5 — 7	
Célul. verdes	P (jugo)	3,75 — 6,73	
V. inferiores	I (jugo)	5,5	
Vegetales superiores			
Tejidos jóvenes	P (jugo) y I (en cortes)	6,92	
Células hepídér- micas (pétalos)	I (en cortes)	4,9 — 5,9	Todos estos va- lores son más elevados por el escape de CO ₂ .
Hojas	I (jugo)	5,3 — 5,8	
	I (cortes)	4,8 — 5,6	
Tallos y raíces	I (cortes)	4,6 — 6,8	
	P (jugo)	5,52 — 7,7	
Tejidos de reserva	I (jugo)	5,9	
	P (jugo)	5,4 — 7,35	

Aspecto exterior de las plantas recientemente heladas.



Fotografía N° 26.—Una planta de Uvilla (*Physalis peruviana*) en su estado normal.

Fotografía N° 27.—La misma planta inmediatamente después de la helada. Se observan las hojas flácidas y colgadas de los tallos, los cuales por su parte, también están ligeramente curvados hacia abajo.



VI.—ANATOMIA PATOLOGICA

Durante la helada no se aprecia casi ninguna alteración anatómica macroscópica. En las primeras horas consecutivas al meteoro las hojas se ponen flácidas, los peciolo pierden consistencia y se doblan sobre sí mismos; las hojas aparecen inclinadas hacia abajo, marchitas y de color verde oscuro. Es realmente típico el aspecto de una planta helada (57); (véase fotografía N° 26). Los tallos, según su mayor o menor longitud y según también la intensidad de la helada, pueden sufrir alteraciones semejantes. Generalmente se doblan a poca distancia de sus yemas terminales. Cuando la helada es de gran severidad y los tallos jóvenes y bastante largos, éstos se doblan en S desde muy cerca de su cuello.

En el día o días que siguen a la helada y por efecto de la evaporación, hojas y tallos disminuyen de volumen, se retraen y se secan, al mismo tiempo que se acentúa el cambio de color de estos órganos.

Cuando las plantas están en la época de la floración, los pétalos y más piezas florales sufren parecidos efectos.

Los órganos después de la desecación, se transforman en piezas frágiles y que se pulverizan con facilidad, ya sea por compresión con los dedos o ya mejor aún, en un mortero.

Las alteraciones microscópicas especialmente de hojas y tallos fueron estudiadas anteriormente, al tratar la patogenia, por lo cual no insistiremos en este momento.

VII.—DIAGNOSTICO

El diagnóstico de la **necrosis fría** de las plantas es realmente sencillo. Si hay el antecedente de una "helada" fenómeno meteorológico tan manifiesto y reconocible, y si la planta presenta las alteraciones anatómicas ya descritas: doblamiento de tallos y pedúnculos, flacidez de las hojas en las primeras horas de sol, y más tarde desecamiento, reducción de volumen y

cambio de color; estamos ante los datos esenciales para sentar el diagnóstico de: necrosis fría.

VIII.—PRONOSTICO

El pronóstico es igualmente un tanto fácil. Se subordina especialmente a: edad de las plantas, humedad atmosférica en relación con la época del año, e intensidad de la helada.

Mientras más tiernas son las plantas y más intensa la helada el pronóstico es más grave y aún fatal. Si la helada es poco intensa y no afecta a las yemas, el pronóstico es favorable, pues la planta podrá retoñar, pero en ningún caso la producción es igual a la normal, disminuye en algún porcentaje.

Si las plantas están en el período de la floración el pronóstico es grave, ya que en tales circunstancias no hay nuevos brotes o retoña deficientemente y la época del año ya no es favorable para el desarrollo de los brotes y la sementera se destruye de todas maneras.

Si la helada es posterior a la fecundación, el pronóstico es benigno, no obstante la producción es inferior a la normal.

IX.—PROFILAXIS:

Previsión y lucha contra las heladas y la necrosis fría de los vegetales

La previsión y lucha contra las heladas no puede considerarse como un problema individual, ni su resolución debe competir exclusivamente a los individuos; por el contrario consideramos que es un problema colectivo y cuya solución corresponde en buena parte al Estado con la necesaria colaboración de los ciudadanos.

Intentaremos resumir los principales métodos que con este objeto se han empleado y los que deben ponerse en práctica, juntamente con los consejos que estimamos indispensables hacer, de acuerdo con nuestras experiencias.

A.—EMPLEO DE NUBES ARTIFICIALES DE HUMO. (13, 58, 59, 60).

Este método de combatir la helada, ha sido empleado en todo el mundo y desde hace siglos. En nuestro país, parece que durante la época incaica se lo practicaba con eficiencia y éxito; con la implantación de la colonia se abandonó el método, quedando convertido más bien en una forma de celebración de ciertas festividades religiosas, que aproximadamente coincidían con épocas de heladas, estas son las tradicionales "chamizas" de las vísperas de San Pedro y San Pablo, San Juan, etc.

Es necesario hacer algunas consideraciones sobre el uso que se ha hecho en el Ecuador de las nubes de humo, y los fracasos y éxitos del método.

En primer lugar, este método de combatir las heladas, no se ha generalizado lo suficiente y son contados los agricultores que eventualmente lo practican; en segundo lugar, el empleo de nubes artificiales de humo, es completamente empírico, sin ninguna dirección técnica, ni en la forma de hacer la nube artificial ni en el cálculo o previsión de la helada, ya que ésta se halla sujeta sólo al "buen ojo" del agricultor y sin la ayuda de ningún dato meteorológico preciso.

Todos estos factores, aparte de que las nubes de humo no constituyen un método eficaz ciento por ciento, han contribuido a aumentar el número de fracasos y la consiguiente desconfianza de los agricultores. De allí que la gran mayoría de nuestros campesinos y agricultores, prefieren no luchar contra los agentes meteorológicos y dejar todo a la "voluntad de Dios".

Tenemos conocimiento de algunos éxitos en el empleo del humo, por ejemplo los obtenidos por el Sr. Luis A. Jarrín en sus sementeras en Cayambe, según nos ha referido personalmente; pero también sabemos de numerosos fracasos.

El hecho de que los climatólogos hayan preconizado, que la helada se produce entre las seis y seis y media a. m., ha contribuido a consagrar una idea bastante errada y probablemente ha aumentado el número de fracasos, debido a que basán-

dose en este conocimiento, se ha creído que lo más conveniente es tomar las medidas preventivas de las nubes de humo, precisamente a esta misma hora.

"Los incas conocían especialmente de agricultura, dice Montenegro (3), y usaban los medios preventivos para combatir las heladas, sólo con la circunstancia errónea que defendían de los estragos de las heladas desde las tres de la mañana formando nubes espesas de humo". No creemos que los incas son precisamente los equivocados. Seguramente la falta de conocimientos científicos y técnicos, reemplazaron los incas con una larga observación y experiencia, y quizá dicha experiencia demostró a los incas la conveniencia de formar las nubes de humo desde las tres de la mañana.

A la luz de nuestros conocimientos creemos que, para que las nubes de humo tengan eficacia, es indispensable que se comience a hacer desde las primeras horas de la madrugada y mientras mayor tiempo se mantenga estas nubes tanto mejor.

El empleo del humo, para combatir la helada, se basa en la necesidad de calentar un tanto la atmósfera, especialmente las capas más bajas, y luego, quizá lo más importante, crear corrientes aéreas que remuevan la atmósfera y mezclen el aire caliente de las capas superiores con el aire frío de las capas en contacto con la superficie de la tierra. Por último, como en la helada, al descender bruscamente la temperatura a niveles inferiores al 0°C ., temperaturas que requieren pequeños porcentajes de vapor de agua, en caso de que dicho vapor se hallara en un porcentaje mayor, el exceso se cristaliza y se precipita sobre las superficies de las hojas y del suelo, aumentando los efectos desastrosos sobre las plantas; el humo como es un coloide, adsorbe y estabiliza ese exceso de vapor de agua e impide su congelación.

Según hemos comprobado, la necrosis de las plantas a causa de la helada, no depende exclusivamente de que la temperatura descienda en un momento dado a 0°C ., sino especialmente de que esta temperatura o una próxima al 0°C persista por algunas horas. En los grabados presentados anteriormente hemos

demostrado, que el tiempo de duración de la "temperatura baja", oscila entre dos a cuatro horas, según la severidad del fenómeno meteorológico. Por lo mismo, el calentamiento artificial de la atmósfera y la creación de corrientes aéreas, conviene mantener durante el mayor tiempo posible.

Además, lo ideal sería, en vez de hacer columnas verticales de humo, tratar de formar una densa capa paralela a la superficie terrestre, y tan baja como se pueda, con lo cual las plantas estarían bajo la acción más directa de estos gases calientes y la movilización de las masas atmosféricas sería más uniforme.

Sobre la técnica a emplearse para la formación de las nubes de humo, existe alguna bibliografía y a ella remitimos a nuestros lectores (58). En el Ecuador, generalmente se ha empleado paja mojada, hojarasca con alquitrán, resinas y aceites pesados, que al combustionarse producen un humo denso y pesado; estos materiales los disponen en recipientes movibles o en hoyos a distancias comprendidas entre los 10 mts. y 15 mts. Podría además emplearse bombas apropiadas que soplen el humo paralelamente a la superficie de la tierra y forman una gran nube sobre las sementeras.

La intervención del Estado en este importante problema sería decisiva. La labor del Estado podría concretarse especialmente a lo siguiente:

1º—La creación de una red de estaciones meteorológicas, distribuidas a lo largo de toda la Sierra —a más de las indispensables Estaciones en la Costa y el Oriente—, ubicadas convenientemente de acuerdo con las características geoclimáticas de cada región y dependientes de la Estación Central de Quito.

Las Estaciones Meteorológicas tendrían entre sus tareas la de hacer las predicciones del tiempo y especialmente de: heladas, lluvias, granizadas, etc. Estas predicciones deberían constituir un número obligatorio de los programas radiales, debiendo difundirse a las horas apropiadas. Actualmente la mayoría de las capitales de Provincia cuentan con Radiodifusoras, y un buen número de parroquias rurales y haciendas —como en las

Provincias de Pichincha y Tungurahua— tienen servicio de luz eléctrica y poseen o pueden poseer radioreceptores, con lo cual podrían aprovechar de las predicciones del tiempo. Además, en caso de que cada Provincia no contara con Radiodifusora, la dificultad se obviaría simplemente enviando por telégrafo la predicción, a una de las Radiodifusoras más poderosas del país y que sería escuchada necesariamente en el momento del programa correspondiente a la predicción del tiempo.

El señor Director del Observatorio Astronómico de Quito nos decía que, de acuerdo con su experiencia personal, es posible predecir una helada por lo menos con 12 horas de anticipación, o sea pues el día anterior a las 6 p. m., guiándose para el efecto, por la disminución del vapor de agua de la atmósfera y la falta de nebulosidad.

Pero hay que comprender que esta predicción de "helada", se refiere únicamente a que al siguiente día —a las 6 o 6½ a. m.— la temperatura descenderá a 0° o menos cero grado; pero no a que si esta helada causará o no destrozos en las sementeras. Esta segunda parte de la predicción corresponde al agrónomo, quien debe estar informado sobre el grado de sequía de las plantas y el subsuelo, estado de las sementeras, etc., etc., para poder predecir los efectos que vaya a tener la helada y aconsejar al mismo tiempo, las medidas a tomarse por parte de los agricultores para conjurar el peligro.

Por esta razón, a más de crear esta red de Estaciones Meteorológicas, el Estado debería contar con un equipo de agrónomos perfectamente experimentados, y que estarían integrando el personal encargado de las predicciones del tiempo y sus consecuencias para la agricultura.

2º—La creación de una Comisión Técnica que compruebe definitivamente el valor del método de las nubes de humo, capaz de que pueda ser adoptado como un procedimiento general para la lucha contra el meteoro.

3º—Dictar una Ley que obligue y reglamente el empleo de las nubes de humo, en caso de que éstas tuvieran la suficiente

eficacia. En Europa, por ejemplo, han existido Leyes semejantes, y se hace indispensable en nuestro medio, puesto que la lucha contra la helada no es algo que puede realizar un agricultor aisladamente, sino que es necesaria la intervención de todos los agricultores.

Un agricultor se quejaba ante nosotros diciéndonos que él había practicado por varias ocasiones las nubes de humo, pero que frecuentemente el humo se desviaba hacia la sementera del vecino y él era el único beneficiado. Ahora bien, si la labor se la hace colectivamente, aún con las variaciones de la dirección del viento, es más probable que todos se beneficien y no ocurra lo que ha servido de materia para la queja citada.

1º—El empleo de aparatos automáticos para la producción de humo. En algunos países, tanto europeos como americanos, se han utilizado aparatos que producen humo automáticamente, cuando la temperatura llega a cierto grado, por ejemplo, cero. La mayoría de estos aparatos tiene como fundamento el desplazamiento de la columna de mercurio del termómetro que poseen y que, al llegar a 0°, por ejemplo, cierran el circuito eléctrico, el cual en los recipientes de combustible produce una chispa que inflama dicha materia y comienza a producir el humo.

Loza (60), ha construido un aparato semejante adaptable a nuestras condiciones: falta de electrificación de los campos —empleando pilas—, bajo costo del aparato, etc., pero no ha sido aprovechado hasta hoy.

Cabe desde luego algunas consideraciones sobre el empleo de estos aparatos.

En primer lugar, el humo debería producirse antes de que la temperatura llegue al 0°, por los razonamientos efectuados anteriormente; por lo mismo, creemos necesario introducir una modificación en el aparato que dé el resultado antedicho. En segundo lugar, el aparato actúa, digamos "ciegamente", y cierra los circuitos y produce el humo, cada vez que la temperatura llega al nivel establecido, sea 0°, 2°, 5°, etc., y sabemos que no todos estos descensos de temperatura, estas heladas, produ-

cen destrozos de las sementeras. No es necesario luchar contra todas las heladas sino exclusivamente sobre las dañinas, en tal virtud habría que dejar al aparato en condiciones de funcionar sólo cuando se tiene la predicción de "helada dañina", porque de lo contrario, constituiría un gasto infructuoso de combustible. Pero entonces el uso del aparato estaría subordinado a la predicción del tiempo, que hasta aquí viene a ser lo esencial, y de hecho pierde su valor intrínseco.

2º—Hélices para movilizar la atmósfera (59). En el Canadá y los EE. UU. se han empleado grandes hélices movidas por fuerza eléctrica, con el objeto de provocar un tiro de aire de arriba hacia abajo y mezclar el aire caliente de las capas superiores con el frío de las inferiores. Gannerre (13) sugiere acoplar al motor de un camión la hélice y recorrer así la sementera.

En nuestro medio, la falta de electrificación de los campos y el alto costo de las hélices y motores, seguramente hará por mucho tiempo impracticable este procedimiento. Además aquí cabe nuevamente la recomendación de que se ponga en funcionamiento las hélices desde tempranas horas de la madrugada.

3º—Protección de las cultivos con esteras (13). En algunos lugares ha sido ensayado el empleo de esteras y petates para cubrir determinados cultivos, especialmente viñedos, con lo cual se evita la irradiación del calor y los efectos de la helada.

Para pequeños cultivos y de gran valor especialmente, podría emplearse este procedimiento, pero para grandes cultivos de cereales, de patatas, etc., prácticamente resulta imposible, tanto por el costo de las esteras, cuanto por el inmenso trabajo que demanda.

Existen algunos otros métodos secundarios y de uso ocasional, sobre los que no nos ocuparemos por el momento.

B.—EL REGADIO DE LAS SEMENTERAS.

Después del método de las nubes de humo, estimamos de inmensa utilidad para prevenir y luchar contra los efectos de la helada, el regadío oportuno de las sementeras.

Razones de dos órdenes apoyan el procedimiento del regadío de agua: de orden físico, el hecho de que la tierra mojada irradia menos calor que la tierra seca y suave, con lo cual se impide un gran enfriamiento de la tierra y las capas bajas de la atmósfera.

"Otro medio, dice Andrade Marín (59), consiste en irrigar los sembríos, previamente a la helada. Sobre este método nos ha hablado un eminente agrónomo del país, aseverándonos que él salvó un viñedo inundando con anticipación a la ocurrencia del fenómeno meteorológico".

Por nuestra parte hemos sabido que los horticultores de las cercanías de Ambato emplean este mismo medio de combatir a la helada, y en las noches que "amenaza helar", inundan materialmente sus huertos y así salvan las coles, lechugas y más verduras.

En cuanto a las razones de orden fisiológico hemos hablado ya, siendo esencialmente tres: Los coloides celulares son más fácilmente coagulados por los electrolitos mientras más escasa sea el agua de la célula; algunos grados de la coagulación son reversibles a condición de que exista abundante agua en la célula y, finalmente, si la planta dispone de abundante agua para absorber y evaporar durante el caluroso día que sigue a la helada, las células "sufren" menos los efectos de la desecación.

Por todas estas razones estimamos muy útil el regadío de los cultivos, debiendo practicarse desde la víspera del fenómeno meteorológico hasta inundar al máximo posible. Si bien el regadío practicado la víspera de la helada sería el más eficaz, también tendría valor el regadío durante la helada, esto es en las primeras horas de la mañana, ya que, si bien no se habría evitado la irradiación, por lo menos se proveería de abundante agua a la planta para los efectos de la evaporación.

En algunas regiones del país existe la idea de que es perjudicial regar agua antes o durante la helada. Quizá se ha conservado algún consejo de Boussingault o de cualquiera de los sostenedores de la teoría de la congelación, para quienes mientras más agua contenga la planta mayor es la congelación y sus efectos para las plantas, y por lo mismo sería perjudicial el regadío. Con gran dificultad convencí a un agricultor de Tisaleo —Provincia del Tungurahua— para que regara agua en una de sus sementeras en una noche de helada. Grande fué el asombro de este agricultor al comprobar que, si bien la helada no había sido muy severa y sólo afectó parcialmente a los cultivos, su sembrío estaba absolutamente ileso.

Como quedó estudiado en el capítulo correspondiente, la helada que produce necrosis vegetal, con mucha frecuencia, es aquella que se presenta después de unos días de sequía y de consecutivos noches con el cielo despejado. Ahora bien si precisamente en estos días se intensifica el regadío en extensas zonas, es muy posible que se pueda impedir la producción de la helada necrosante, o por lo menos se disminuiría en forma notable sus efectos. Nada mejor entonces, que aconsejar en estos casos una abundante irrigación de los campos.

Decir este consejo es una tarea demasiado fácil, pero llevarlo a la práctica en nuestro país, resulta poco menos que imposible. Hay una verdadera crisis de regadío tanto en la Sierra como en la Costa. Son muy limitadas las áreas que gozan de irrigación natural o artificial. Inmensas zonas territoriales se encuentran desaprovechadas y otras con un bajo índice de producción, debido a la falta de regadío.

El Estado ha tenido el acierto de crear una institución: la Caja Nacional de Riego, organismo que goza de autonomía y que está destinada a afrontar y resolver todos los problemas relacionados con la irrigación del país. Hasta este momento, el problema ha sido resuelto para unas pocas regiones, desde luego la institución tiene pocos años de existencia y es de esperarse que algún día, ojalá no esté muy lejano, el problema sea resuelto para todo el país.

C.—OBTENCION DE VARIEDADES RESISTENTES A LA HELADA.

Tal vez menos difícil que luchar contra el fenómeno meteorológico sería el obtener artificialmente variedades cultivables resistentes a la helada.

La Genética (61, 62, 63, 64), ha hecho tantos y tales progresos, que en la actualidad resulta un problema fácil la creación de variedades adaptables a tal o cual condición climática.

Por ejemplo la U.R.S.S. llevó variedades de patatas del Perú, que es de suponer, son semejantes a las cultivadas en el Ecuador, y de las cuales los agrónomos soviéticos han obtenido variedades de gran resistencia al frío, y que son cultivadas en las regiones más septentrionales de la Unión Soviética.

Nuestro problema no se resolvería, seguramente, con el simple hecho de importar esas nuevas variedades —y esto si es que los rusos nos venden—. Es necesario crear esas variedades en nuestro propio medio y con nuestros propios recursos. Además el problema no es el mismo, la variedad que en el Ecuador se necesita es aquella que resista eventualmente la baja de temperatura, en tanto que la obtenida en Rusia, soporta por un largo período temperaturas bajas más o menos uniformes.

Un gran paso se daría en este campo si se obtuviera variedades resistentes a la helada por lo menos en el o los primeros meses, época en la que las plantas son más sensibles.

También aquí la intervención del Estado es decisiva. Se hace indispensable la creación de Institutos de Genética, por lo menos dos: uno para vegetación tropical y otro para vegetación de la Sierra. En la actualidad, el Estado mantiene bien rentados unos pocos genetistas que "despachan" desde sus escritorios de Oficina, pero hasta hoy no se ha creado por parte del Ministerio correspondiente ni un solo Instituto de Genética. Más bien, debido a la iniciativa del Banco de Fomento del Pichincha, se ha

creado recientemente una Estación de Genética bajo la dirección del competente profesional Sr. Héctor Almeida. Sería de desear que entre los trabajos de genética que allí se realizan, se abordara el que hemos planteado.

D.—ESTUDIO CIENTIFICO DE LA EPOCA DE LAS SIEMBRAS.

Nuevamente hay que insistir en la necesidad de que la Climatología y el climatólogo se pongan al servicio de la agricultura. Es preciso que se determine técnicamente las épocas de siembra para cada región. Las diversas zonas del país tienen sus "épocas de siembras", algunas de las cuales son más o menos comunes para toda la Sierra o para toda la Costa.

La práctica de las siembras en estas épocas no responde a ningún cálculo o previsión científica, sino a una costumbre mantenida desde hace siglos. Es verdad que la experiencia habrá influido en el escogitamiento de dichas épocas del año; sin embargo es la misma experiencia la que demuestra también la variabilidad de los agentes meteorológicos, especialmente temperatura y lluvias, y por esta razón los fracasos de la agricultura.

Es muy frecuente oír a los agricultores el que el clima de tal región se encuentra "bien cambiado"; dato que revela que las condiciones climáticas varían con cierta frecuencia.

Muñoz Ferrara (65), Director del Observatorio Astronómico de Santiago, sostiene, por ejemplo, que para Chile las variaciones de los agentes meteorológicos se repiten periódicamente cada 15 años, y que es posible predecir con mucha aproximación las épocas de humedad y sequía, temperaturas aproximadas, etc., para todo el año.

La agricultura debe necesariamente estar sometida a las condiciones naturales o artificiales del subsuelo y a las variaciones climáticas. Quizá sea conveniente de acuerdo con este

último factor modificar cada año la época de las siembras. Si fuera posible una buena predicción del tiempo para cada región del país, inclusive sería posible que los genetistas acorten o prolonguen el período vegetativo de las plantas, o aún el mismo agricultor podría acelerar un tanto el período vegetativo mediante el empleo de abonos.

La lucha contra la helada sería entonces más fácil y más científicamente orientada. El resultado de toda esta labor sería un apreciable aumento de la producción agrícola de la Sierra.



SUMARIO :

La helada es el descenso brusco de la temperatura y que alcanza a niveles inferiores al 0°C . en la superficie de la tierra —temperatura césped—. Este fenómeno meteorológico se produce entre las 6 a $6\frac{1}{2}$ a. m.

Las heladas afectan sólo parcialmente al territorio ecuatoriano; éstas tienen lugar en la región montañosa llamada Sierra, a partir de los 2.000 o 2.500 metros sobre el nivel del mar.

La naturaleza de la helada no está plenamente conocida, habiéndose sustentado numerosas teorías; sin embargo, la mayoría de los meteorólogos están de acuerdo en que en el Ecuador, la helada se debe esencialmente a un fenómeno de irradiación del calor de la superficie de la tierra, el cual se efectúa durante las noches despejadas.

Hasta el momento presente no se ha establecido que las heladas se presentaran con una estricta periodicidad en cada región del Ecuador, y aunque es cierto que las heladas son más frecuentes en los meses de sequía —distintos para las distintas regiones naturales de la Sierra—, las estadísticas revelan que pueden producirse en cualquier fecha del año.

Algunas heladas, particularmente las llamadas "heladas negras", traumatizan en tal forma a las plantas tiernas de numerosas especies cultivadas o de crecimiento espontáneo, que

determinan la muerte de tales plantas. A este traumatismo hemos creído conveniente llamarlo: "Necrosis fría de las plantas".

Sobre el mecanismo de la necrosis han sido formuladas varias teorías, habiendo merecido mayor aceptación la que afirma que, al descender la temperatura a 0°C o menos aún, los jugos celulares y la savia contenida en los vasos de la planta se congelan bruscamente, aumentando tanto de volumen que vasos y células explotan y se necrozan; proceso que, por otra parte, se agrava por la acción violenta de los rayos solares en las horas siguientes a la helada.

Nuestras primeras investigaciones sobre tejidos necrozados por la helada, nos demostraron que las membranas celulares y vasculares permanecían íntegras, indemnes, hecho que estaba en contradicción flagrante con la vieja teoría antes enunciada.

Más tarde comprobamos que en los tejidos "helados" los protoplasmas celulares estaban coagulados. Hemos efectuado numerosas experiencias y todas han confirmado la coagulación protoplasmática durante la helada.

Los protoplasmas celulares se encuentran integrados especialmente por complejos coloidales de comportamiento anfótero, los cuales al llegar al punto isoelectrico pueden coagularse.

Experiencias de otros autores demuestran que con el descenso de temperatura el cociente respiratorio de las plantas disminuye también, hasta cifras inferiores a 0.50; cosa que estaría ocasionada por una ruptura de la cadena química de la respiración celular y que determinaría la formación de ácidos.

Todos estos hechos nos llevaron a suponer que la coagulación protoplasmática se debía a un proceso de acidosis celular. Los trabajos experimentales posteriores comprobaron que durante la helada el pH celular se desvía hacia la acidez, aproximadamente en una unidad pH; desplazamiento que sería suficiente para conducir a los coloides a su punto isoelectrico.

Es presumible que la baja de temperatura inactiva a la carboxilasa y al no efectuarse la descarboxilación de los alfa-ceto-ácidos con una normal intensidad, éstos se acumulan, al

igual que otros ácidos que deben ser metabolizados endotérmicamente.

Una escasa hidratación celular, lo mismo que del subsuelo y de la atmósfera, agrava los efectos de la helada, tanto porque la coagulación se realiza con mayor facilidad cuanto porque la desecación en las horas que siguen a la helada es mucho más intensa que de ordinario.

Las investigaciones soviéticas sobre los fenómenos bioquímicos de la vernalización concuerdan con nuestros resultados en lo que se refiere a las variaciones del pH celular por influencia del frío.

La necrosis fría de las plantas, de acuerdo con nuestros trabajos experimentales, no es un fenómeno violento, instantáneo, como lo es el de la congelación del agua; por el contrario, el proceso es lento, requiere de varias horas de temperatura baja, próxima o inferior al 0°C, y generalmente, si es que la helada no es muy severa, la necrosis se produce sólo al segundo o tercer día de heladas consecutivas.

Las heladas pueden prevenirse y es posible luchar contra el fenómeno meteorológico y contra sus efectos. Para esto es aconsejable especialmente lo siguiente: 1º—La formación de densas nubes de humo sobre las regiones donde va a producirse la helada, y desde las primeras horas de la madrugada. Estas operaciones deberían ser técnicamente dirigidas y controladas por el Estado. 2º—Intenso regadío de las sementeras durante la víspera y el momento mismo de la helada con el objeto de impedir la gran irradiación de calor y luego combatir los efectos fisiológicos que va a tener sobre las plantas. Y, 3º—Creación de un Instituto de Genética encargado de obtener variedades resistentes a la helada.

S U M M A R Y (*)

Frost is the abrupt lowering of temperature which reaches levels below 0°C . at ground surface ("grass temperature"). This meteorological phenomenon occurs between 6 and 6.30 a. m.

Frosts affect only part of the country of Ecuador; they take place in the mountainous region called the Sierra, at heights in excess of 2.000 or 2.500 metres above the sea level.

The nature of frost is not fully known, and numerous theories have been expounded; but the majority of meteorologists agree that in Ecuador frost is due essentially to a phenomenon of the irradiation of heat from the surface of the earth, which takes place during cloudless nights.

Up to the present it has not been established that frosts occur at fixed regular intervals in each region of Ecuador, and although it is certain that frosts are more frequent in the months of drought—which vary in the various natural regions of the Sierra—statistics reveal that they may occur at any time of the year.

(*) Traducido por cortesía del Sr. M. Spencer, del Instituto Ecuatoriano - Británico de Cultura.

Some frosts, particularly the ones called "black frosts" traumatize the tender shoots of numerous cultivated and wild species of plants in such a way that they cause the death of these plants. We have thought it convenient to call this traumatism: "Cold necrosis of plants".

Several theories have been formulated about the action of this necrosis, but the one which has gained most acceptance was that which affirms that when the temperature falls to 0°C or still lower, the cellular juices and the sap contained in the vessels of the plant suddenly congeal, which so increases their volume that the vessels and cells explode and become necrotic; a process which, moreover, is aggravated by the violent action of the sun's rays in the hours following the frost.

Our first investigations with tissues subjected to necrosis by frost demonstrated that the cellular and vascular membranes remained intact and unharmed, a fact which was in flagrant contradiction to the old theory just explained.

We later proved that in the "frosted" tissues the cellular protoplasts were coagulated. We have carried out numerous experiments and they have all confirmed this protoplasmic coagulation during frost.

The cellular protoplasts are found to be made up especially of colloidal complexes of amphoteric behaviour which when they reach the isoelectric point may coagulate.

Experiments made by other people prove that with the lowering of temperature the respiratory quotient of plants also diminishes to figures below 0.50; this would be caused by a break in the chemical chain of cellular respiration and would bring about the formation of acids.

All these facts led us to suppose that the protoplasmic coagulation was due to a process of cellular acidosis. The previous experimental work proved that during frost the cellular pH turns towards acidity in approximately one unit pH a displacement which would be sufficient to bring the colloids to their isoelectric point.

It may be presumed that the lowering of temperature renders the decarboxylation inactive and when the decarboxylation of the alpha-keto-acids does not take place with a normal intensity, the latter accumulate, just like other acids which have to be metabolized endothermically.

A slight cellular hydration, the same as that of the subsoil and the atmosphere, aggravates the effects of frost, both because the coagulation happens more easily and because the desiccation in the hours which follow the frost is much more intense than usual.

The soviet investigations in the biochemical phenomena of vernalization agree with our results as far as the variations of the cellular pH due to the influence of the cold are concerned.

The cold necrosis of plants, according to our experiments, is not a violent, instantaneous phenomenon like that of the congealing of water; on the contrary, the process is slow, requires several hours of low temperatures close to or below 0°C. and generally if it happens that the frost is not very severe, the necrosis only occurs on the 2nd or 3rd day of consecutive frosts.

Frosts can be foretold and it is possible to fight against this meteorological phenomenon and its effects. For this the following precautions are specially to be advised: (1°) Formation of dense clouds of smoke over the areas where the frost is going to occur, and from the first hours of dawn. These operations ought to be technically directed and controlled by the state. (2°) Plentiful watering of the seed beds (cultivated fields) during the evening before and at the very moment of the frost, with the object of preventing the great irradiation of heat and then of combating the physiological effects which it is going to have on the plants. (3°) Creation of an Institute of Genetics entrusted with obtaining (plant) varieties which resist frosts.

BIBLIOGRAFIA

- 1.—Velasco, Padre J. de.—Historia del Reino de Quito.—Quito, 1946.
- 2.—González Suárez, Arzobispo F.—Historia General de la República del Ecuador.—1890—93.
- 3.—Montenegro, L. A.—Las heladas en el Ecuador; Revista Flora, Nros. 13, 14.—Quito, 1946.
- 4.—Wolf Teodoro.—Geografía y Geología del Ecuador.—1892.
- 5.—García C. T.—Ecuador, síntesis de Geografía Física, Política y Económica.—Quito.
- 6.—Meyer Hans.—En los Altos Andes del Ecuador.—Quito, 1940.
- 7.—Diels Ludwing.—Contribuciones al conocimiento de la vegetación y de la flora del Ecuador.—Quito, 1937.
- 8.—Acosta Solís M.—Breves anotaciones sobre la historia de la climatología del Ecuador.—Quito, 1944.
- 9.—Martínez Nicolás.—Estudios Meteorológicos y Climatéricos.—Quito, 1932.
- 10.—Boletín Meteorológico del Observatorio Astronómico de Quito; Nros. 1 y 2, correspondientes a 1935—43.
- 11.—Langlebert, J.—Física.—París, 1921.
- 11.—Ziegler W. y Glosting L.—Física experimental.—Santiago, 1939.
- 12.—Bush Raimond.—Frost and Fruitgrower.—London, 1946.
- 13.—Gamerre Leopoldo.—Las Heladas.—Santiago, 1936.
- 14.—Morales Macedo, C.—Biología Fundamental.—Barcelona, 1936.
- 15.—Pi-Sunér Augusto.—Los Fundamentos de la Biología.—Buenos Aires, 1943.
- 16.—Prenant Marcel.—Biología y Marxismo.—Santiago.
- 17.—Crowther, J. C.—Esquema del Universo.—Buenos Aires, 1941.
- 18.—Jiménez Vargas, J.—Química—Física—Fisiológica.—Madrid, 1943.
- 19.—Dognon André.—Físico—Química—Biológica.—Madrid, 1930.

- 20.—Neuschlosz, S. M.—Tratado de Física Biológica.—Buenos Aires, 1939.
- 21.—Mantell, C. L.—Adsorption.—New York, 1945.
- 22.—Crafts, A. S.—Osmosis and Osmotic pressure; *Chronica Botanica*; 386,8.
—Waltham, 1943.
- 23.—Einstein, A. y Infeld, L.—La Física aventura del pensamiento.—Buenos Aires, 1939.
- 24.—Oparini, A. I.—El Origen de la vida.—Buenos Aires, 1943.
- 25.—Cruz-Koke, Eduardo.—La Acidez iónica en Clínica.—Santiago, 1925.
- 26.—Strasburger, Eduardo.—Botánica.—Barcelona, 1943.
- 27.—Gill-Schurcoff.—Botánica Aplicada a la Farmacia.—Barcelona, 1941.
- 28.—Small, James.—A Textbook of Botany.—London, 1937.
- 29.—Bower, F. O.—Botany of the living plant.—London, 1939.
- 30.—Skene Macgregor.—The Biology of the Flowering Plants.—London, 1938.
- 31.—Szent-Györgyi, A.—Oxidación, Fermentación, Vitaminas y Enfermedad.
México, 1943.
- 32.—Numerosos autores.—Advances in Enzymology and related subjects; 5
tomos.—New York, 1941—45.
- 33.—Deulofeu, V. y Marenzi, A. D.—Curso de Química Biológica.—Buenos Aires, 1942.
- 34.—Thomas Meirion.—Plant Physiology.—London, 1936.
- 35.—Barton-Wright, E. C.—Recent Advances in Plant Physiology.—London,
1936.
- 36.—André Gustavo.—Química Agrícola, Química Vegetal.—Barcelona, 1929.
- 37.—Denny F., Thornton N.—The effect of low concentrations of Carbon
Dioxide upon the sugar content of potato tubers in cold storage; contri-
butions from Boyce Thompson Institute; 75, 2.—New York, 1945.
- 38.—Denny F., Thornton N., Schroeder E.—The effect of Carbon Dioxide upon
the changes in the sugar content of certain vegetables in cold storage.—
Idem; 295, 6.—New York, 1944.
- 39.—Thornton N.—Carbon Dioxide Storage. XII.—Germination of seeds in
presence of Carbon Dioxide.—Idem. 355, 7.—New York, 1944.
- 40.—Instituto de Fisiología.—Guía de trabajos prácticos de Química Biológica.
—Buenos Aires, 1943.
- 41.—Lora-Tamayo, M.—Modernas orientaciones en Química de las Enzimas.
—Madrid, 1942.
- 42.—Miall Stephen, (Traducción española de Giral José).—Diccionario de
Química.—México, 1943.
- 43.—Zappi, E. V.—Tratado de Química Orgánica.—Buenos Aires, 1941—43.
- 44.—Denny F.—Gas content of plant tissues and respiration measurements.—
Contributions from Boyce Thompson Institute; 257, 4.—New York, 1946.
- 45.—Post K.—Effects of daylength and temperature on growth and flowering
of some florist crops.—Bulletin 787 of Cornell University.—New York,
1942.

- 46.—Lundegardh H.—Transport of water and salts through plant tissues.—*Nature*, 575, 3.992.—London, 1946.
- 47.—Robledo Emilio.—Botánica Médica.—Medellín.
- 48.—Lisenko T.—Descubrimientos en la labor de dirigir la naturaleza de las plantas.—*Boletín del Instituto Botánico*; 167, 5.—Quito, 1945.
- 49.—Imperial Bureaux of Plant Genetics (Varios autores).—*Vernalization and Phasic Development of Plant*.—Cambridge, 1935.
- 50.—Vasiljev, I. M.—*Vernalization of Winter varieties and frost resistance*.—London, 1934.
- 51.—Cherniak B.—El Académico Lisenko.—Cuba y la U.R.S.S.; 8, II.—Cuba, 1945.
- 52.—Yakushin.—Unas palabras acerca de la Agronomía Soviética.—Idem, 4, IV.—Cuba, 1946.
- 53.—Hoffsteter Robert, Profesor de la Escuela Politécnica Nacional, 1946.
- 54.—Bigwood E. J.—*Les Méthodes de Détermination du pH des Liquides de L'organisme*.—Paris, 1927.
- 55.—Verain Marcel, Chaumette J.—*Le pH en Biologie*.—10^a Ed.). París, 1930.
- 56.—Vlés.—*Arch. Physiolog. Biolog.*—20, IV.—París, 1924.
- 57.—McKay R., Clinch Ph.—Frost injury simulating virus disease symptoms on potato foliage.—*Nature*; 449.—London, Oct. 1945.
- 58.—*Revista Flora*; 215 y 217; 13-14.—Quito, 1946.
- 59.—Andrade Marín Luciano.—*Las Heladas*.—Ensayo de una explicación.—Qué son y cómo se producen. (Originales).
- 60.—Loza, L. F.—*Los agentes climáticos y su influencia en la producción agrícola ecuatoriana*.—Tesis de Grado.—Quito, 1939.
- 61.—Kendall Hayes H.—*Methods of Plant Breeding*.—London, 1942.
- 62.—Crane M., Lawrence W. J.—*The Genetic of Garden Plants*.—London, 1938.
- 63.—Sansome and Philps.—*Recent Advances in Plant Genetics*.—London, 1939.
- 64.—Swarbrick T.—Use of growth-promoting substances in prevention of apple drop following frost.—*Nature*, 691, 3.971, London, 1945.
- 65.—Muñoz Ferrara.—Conferencia dictada en Quito, 1945.
- 66.—Pastoriza R.—Tres años de ensayos de conservación frigorífica de duraznos y ciruelas.—Buenos Aires, 1946.

Indice

	Páginas
Introducción	8
LA NECROSIS FRIA DE LAS PLANTAS:	
I.—DEFINICION	11
II.—HISTORIA	11
III.—ETIOLOGIA:	
A.—PRELIMINARES	13
1.—El relieve del Ecuador	13
2.—El clima del Ecuador	14
B.—COMO SE PRODUCEN LAS HELADAS EN EL ECUADOR ...	16
1.—La temperatura del aire a 1,50 m.	18
2.—La temperatura del aire a nivel del suelo	19
3.—La humedad relativa	21
4.—La humedad absoluta	22
5.—La insolación	23
6.—La evaporación	24
7.—La nebulosidad y los vientos	24
C.—LAS CONDICIONES TOPOGRAFICAS Y LA HELADA	25
IV.—FRECUENCIA Y EPOCA DE LAS HELADAS	26
1.—Frecuencia de las heladas en Quito	26
2.—Frecuencia de las lehadas en Cotopaxi	27

	Páginas
3.—Frecuencia de las heladas en Ambato	28
4.—La frecuencia de las heladas y la destrucción de las se- menteras.—Heladas blancas y heladas negras	29
V.—PATOGENIA	34
1ª Parte: ESTUDIO DE LOS COLOIDES	35
A.—FENOMENOS DE MASA Y SUPERFICIE:	
1.—Hidrofília	36
2.—Adsorción	37
3.—Tensión superficial	38
4.—Presión osmótica (oncótica)	39
B.—FENOMENOS ELECTRICOS:	
1.—Carga eléctrica.—Anfoterismo	41
2.—Punto isoelectrico (pHi)	42
3.—Complejos coloidales	44
4.—Floculación o coagulación	47
5.—Coaservación	49
6.—Equilibrio de Donnan	51
C.—OTROS FENOMENOS COLOIDALES:	
1.—Gelificación	53
2.—Imbibición e hinchamiento de los geles	54
2ª Parte: ESTUDIO DE LA RESPIRACION CELULAR DE LOS VE- GETALES	55
A.—MECANISMO DE LA RESPIRACION CELULAR	56
1.—El transporte de Hidrógenos	57
a.—Tipos de respiración vegetal	59
b.—Respiración mediante polifenoles	59
c.—Respiración mediante el ácido ascórbico	60
d.—Respiración mediante el ácido dioximaleico	60
2.—La liberación del CO ₂	61
B.—CUOCIENTE RESPIRATORIO	63
3ª Parte: MECANISMO DE LAS ALTERACIONES FISIOPATOLO- GICAS:	
1.—Acidosis celular	64
a.—Disminución del cuociente respiratorio	65
b.—El proceso acidósico	67
2.—Coagulación de los protoplasmas celulares	69

3.—Exudación del agua y pérdida de la turgescencia de las células heladas	71
4.—Evaporación posterior del agua y solidificación de los coágulos celulares	73
5.—El cambio de color de las hojas heladas	75
4ª Parte: LA VERNALIZACION Y NUESTRA TEORIA DE LA NECROSIS FRIA DE LAS PLANTAS	77
5ª Parte: OTROS PROBLEMAS Y REALIZACIONES EXPERIMENTALES	84
1.—Las modificaciones del pH durante la helada	84
2.—La congelación del agua celular y la helada	87
3.—El problema de "la hora de la helada"	89
4.—La edad de las plantas y la helada	91
5.—La humedad del suelo y la helada	92
6.—Las plantas frente a la helada y la sequía	93
7.—La "altura" de las plantas y la helada	95
8.—Plantas susceptibles y plantas resistentes a la helada ..	95
VI.—ANATOMIA PATOLOGICA	101
VII.—DIAGNOSTICO	101
VIII.—PRONOSTICO	102
IX.—PROFILAXIS: Previsión y lucha contra las heladas y la necrosis fría de los vegetales	102
A.—EMPLEO DE NUBES ARTIFICIALES DE HUMO	103
1.—Empleo de aparatos automáticos para la producción de humo	107
2.—Hélices para movilizar la atmósfera	108
3.—Protección de los cultivos con esteras	108
B.—EL REGADIO DE LAS SEMENTERAS	109
C.—OBTENCION DE VARIEDADES RESISTENTES A LA HELADA	111
D.—ESTUDIO CIENTIFICO DE LAS EPOCAS DE SIEMBRAS ...	112
Sumario	114
Summary	117
Bibliografía	120
Indice	123



Se acabó de imprimir, el
día VIII de Julio de
MCMXLVII en los Talleres
Tipográficos de la Univer-
sidad Central, siendo Rec-
tor de ella el Sr. Dr. Julio
Enrique Paredes C. y Re-
gente de la Imprenta el
Sr. Dn. Alberto Araujo Z

BIBLIOTECA GENERAL
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
QUITO

103-81

632.11(866)

N218h Naranjo V., Plutarco

Ej.2

Las heladas y la ne-
crosis fría de las plan..

Nº. DE
INSCRIP.

F I R M A

15-III-76-

Carlos A. Jaime M. Juv. sp.

30- VI -80

IVAN ARIAS Ch

24- 07- 94.

Robelino Luis-Henry

FUNDADA EN 1920

632.11(866)

103-81

N218h Naranjo v., Plutarco

Ej.2

Las heladas y la necrosis
fría de las plantas

