

ANALES DE LA UNIVERSIDAD DE VALENCIA

JOSÉ M.<sup>a</sup> VIGUERA LOBO

CATEDRÁTICO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS

# LAS GIBBERELLINAS

LECCION INAUGURAL DEL CURSO 1959-60



VOL. XXXIII - CURSO 1959-60  
CUADERNO I - CIENCIAS

# ANALES DE LA UNIVERSIDAD DE VALENCIA

---

Edita el Secretariado de Publicaciones, Intercambio Científico y Extensión Universitaria.

Aparece cada curso un volumen que comprende fascículos correspondientes a las distintas Facultades.

---

## DIRECCIÓN:

Magnífico y Excmo. Sr. Rector de la Universidad.  
Ilmo. Sr. Decano de la Facultad de Filosofía y Letras.  
Ilmo. Sr. Decano de la Facultad de Ciencias.  
Ilmo. Sr. Decano de la Facultad de Derecho.  
Ilmo. Sr. Decano de la Facultad de Medicina.

## CONSEJO DE REDACCIÓN:

ILMO. SR. PROF. JOSÉ SANTA CRUZ TEJERO, Director del Secretariado.

## VOCALES:

PROF. ENRIQUE COSTA NOVELLA, de la Facultad de Ciencias.  
PROF. ANTONIO LLOMBART RODRÍGUEZ, de la Facultad de Medicina.  
PROF. ADOLFO MIAJA DE LA MUELA, de la Facultad de Derecho.  
PROF. MIGUEL TARRADELL MATEU, de la Facultad de Filosofía y Letras y Secretario del Secretariado.

---

Dirección para canje y obtención de publicaciones: SECRETARIADO DE PUBLICACIONES, INTERCAMBIO CIENTÍFICO Y EXTENSIÓN UNIVERSITARIA.

Universidad de VALENCIA.

(España)

JOSÉ M. VIGUERA LOBO

LAS GIBBERELLINAS

ANALES DE LA UNIVERSIDAD DE VALENCIA

JOSÉ M.<sup>a</sup> VIGUERA LOBO

CATEDRÁTICO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS

# LAS GIBBERELLINAS

LECCION INAUGURAL DEL CURSO 1959-60



VOL. XXXIII - CURSO 1959-60  
CUADERNO I - CIENCIAS

EXCMO. Y MAGNÍFICO SR. RECTOR;  
EXCMOS. E ILMOS. SEÑORES;  
COMPAÑEROS DE CLAUSTRO;  
SEÑORAS Y SEÑORES;  
ESTUDIANTES:

## INTRODUCCIÓN

¡Nur immer zu! wir wollen es ergründen.  
In deinem Nichts hoff'ich das All zu finden.

(Goethe.—Fausto, 2.<sup>a</sup> parte.)

Por una estricta obligación académica, sobradamente conocida de todos, me ha correspondido el alto e inmerecido honor de hacer uso de la palabra en este tan solemne acto de apertura del nuevo curso académico 1959-1960. Bien hubiera sido mi deseo el poder ofrecer un trabajo de acuerdo con la tradición y prestigio de esta Universidad, que en su seno ha contado y cuenta en la actualidad con tan eminentes maestros. Es por ello que nunca, como en este momento, he anhelado tanto poseer junto a una brillante exposición y facilidad de dicción, originalidad en las ideas para poder cumplir de manera honrosa con el deber que me impone la obligación del turno. Espero, pues, suplir con vuestra benevolente y paciente atención la pobreza de mis cualidades, pues como decía don Álvaro Dors en ocasión similar a ésta "...hay en este rito académico, como en todo rito, una como suficiencia intrínseca que viene del servicio mismo y no de las cualidades personales de aquel a quien toca realizarlo".

No quiero pasar más adelante, aprovechando la ocasión que me brinda este solemne momento, sin dedicar la expresión de mi más rendido, al par que fervoroso, tributo de agradecimiento a los que más contribuyeron a mi formación. A mis padres, que se preocuparon de infundirme profundos y arraigados principios religiosos, junto con un gran sentido del deber y acendrado amor al trabajo, y al profesor doctor Lora Tamayo, mi Maestro, que con su orientación y formación científica, valiosas enseñanzas y ponderados consejos, que cuentan ya desde mis años mozos de estudiante en la Universidad Hispalense, supo estimularme y alentarme por el camino de la investigación y la docencia.

Finalmente, y cumpliendo con una costumbre ya tradicional, doy cuenta a continuación de los cambios habidos en nuestro Claustro durante el curso académico que acaba de terminar.

Por traslado han llegado a la Facultad de Medicina de esta Universidad, desde la de Sevilla, don Tomás Sala Sánchez y don Francisco Gomá Guarner, para cubrir, respectivamente, las cátedras de Pediatría y Puericultura, y segunda cátedra de Patología y Clínica Quirúrgicas, que vuelven a la Universidad de procedencia, de la que nunca han estado desvinculados.

También por concurso de méritos se incorpora a nuestra Facultad de Ciencias, procedente de la Universidad de La Laguna, don Maximino Rodríguez Vidal, nombrado para la segunda cátedra de Física General.

Asimismo, por concurso de traslado y procedente de la Universidad de Santiago de Compostela, llega a la Facultad de Filosofía don Juan Reglá Campistol, para ocupar la cátedra de Historia de España en las edades Moderna y Contemporánea, Historia General de España (Moderna y Contemporánea) e Historia de América y de la Colonización Española.

Tras brillantes oposiciones, y en plena juventud, se han incorporado a la Facultad de Ciencias don Ignacio Docavo Alberti, para cubrir la cátedra de Biología General, y don Lorenzo Ferrer, la de Matemáticas Generales. El señor Docavo, vinculado desde hace años a esta Facultad, en la que ya venía desempeñando la cátedra vacante por jubilación de don Francisco Beltrán Bigorra, y el señor Ferrer, que viene a ocupar una cátedra vacante durante muchos años y de cuya labor esperamos óptimos frutos.

Para las plazas de Profesores adjuntos, y en virtud de concurso-oposición, han sido designados los señores don Alberto Basterra Ibarra, adscrito a la cátedra de Oftalmología; don Francisco Tomás Valiente, a la de Historia del Derecho; don Vicente Simón Santonja, a la segunda cátedra de Derecho Civil, y don Jorge-Antonio Cardona Palacios, a la de Derecho Mercantil.

Por jubilación forzosa, al cumplir la edad reglamentaria, nos deja don Francisco Alcayde Vilar, titular que fue de la cátedra de Fundamentos de Filosofía e Historia de los Sistemas Filosóficos. Asimismo causa baja, por traslado a la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Valladolid, el también titular de la cátedra de Historia de España Moderna y Contemporánea, Historia de la Cultura Moderna y Contemporánea e Historia de América y de la Colonización Española. don Pablo Alvarez Rubiano

A petición propia se jubiló el Auxiliar numerario de la Facultad de

Ciencias, don Ernesto Caballero López-Bellido, el más antiguo de nuestros Profesores Auxiliares, tras una vida dedicada por entero a la labor docente.

Por último, también causó baja en nuestra Universidad don Manuel Díez de Velasco y Vallejo, Profesor adjunto de la Facultad de Derecho, por haber ganado, tras brillantísima oposición, la cátedra de Derecho Internacional Público y Privado de la Universidad de Granada. Aun cuando lamentando su pérdida, nos alegramos, por otro lado, por su ascenso en la docencia universitaria, en la que le deseamos toda clase de venturas.

El tema que tengo el honor de ofrecer a la consideración de este ilustre auditorio se refiere al estudio de unas sustancias por las que hace no mucho más de treinta años se venían interesando algunos fitopatólogos japoneses, y que tenían la sorprendente, a la vez que potente, acción de crecimiento sobre las plantas.

El primero en ponerlas de manifiesto fue el japonés Kurosawa hacia 1926 en Formosa, estudiando el "Bakanae", enfermedad del arroz manifestada por primera vez en el Japón en 1898. Observó que el agente patógeno era un hongo, "Gibberella fujikuroi", al cual se debía el que las semillas infectadas se desarrollaran mucho más que las sanas. Prosiguiendo sus estudios llegó a demostrar que infectando las semillas con un cultivo puro filtrado de este hongo, se producía en ellas el mismo crecimiento excesivo característico de la enfermedad. Supuso por ello que este aumento de crecimiento en las semillas infectadas tenía lugar por la existencia, en el caldo, de alguna sustancia soluble segregada por el hongo. En 1939, y como resultado del plan de trabajo en equipo de fitopatólogos, fisiólogos y microbiólogos, un grupo de investigadores de la Universidad de Tokio, aislaron una sustancia cristalina activa, a partir de cultivos filtrados, que llamaron "Gibberellina A", y que realmente no era una especie química, pues como se demostró más tarde constituía una mezcla de por lo menos dos o tres sustancias.

Hasta 1943 no se interesan los occidentales por estos trabajos. En efecto, por el mismo tiempo, y al parecer independientemente, el doctor Brian y colaboradores de la "Imperial Chemical Industry Ltd." inglesa, de una parte, y el doctor Stodola, con un grupo de investigadores en los Estados Unidos, de otra, se ocupan de este apasionante tema. El grupo inglés logra preparar, a partir de un cultivo de "G. fujikuroi", una sustancia de gran actividad, como promotora de crecimiento de las plantas, que tenía pro-

piedades parecidas a la Gibberellina A y a la que llamaron "Ácido gibberélico".

Por su parte, Stodola y colaboradores, en Estados Unidos, aislaron una mezcla de dos sustancias activas, a una de las cuales la llamaron Gibberellina X, que más tarde fue identificada como ácido gibberélico.

Las investigaciones llevadas a cabo con las gibberellinas, en relación con algunas de sus propiedades biológicas, sugieren una gran variedad de aplicaciones a la agricultura. Por otro lado, nada más que dos años de experiencia en el campo han proporcionado mucha luz sobre sus posibilidades. A los primeros informes, la mayor parte de las veces caprichosos y espectaculares, siguió una investigación seria de la acción de estas sustancias y su relación con la cosecha, sobre todo por lo que se refiere a su enfoque desde el punto de vista práctico y económico. Quizás los efectos de las gibberellinas sean menos espectaculares que los que la fantasía popular les asignaron en un principio, pero no por ello dejan de ser muy importantes, sobre todo por lo que respecta a la técnica y a la economía.

Las gibberellinas son un magnífico ejemplo de la extensión de los conocimientos bioquímicos, de sanidad y nutrición humana y animal, al ser aplicados a la bioquímica de las plantas. Este campo de investigación agrícola sigue un camino paralelo al que, con éxito, se llevó a cabo con los animales, es decir, suplir el medio ambiente con productos químicos que ayudan el proceso fisiológico normal proporcionando mejores rendimientos y calidades.

En este sentido se han conseguido significativos avances, con las gibberellinas, que tienen un efecto similar, en algunos aspectos, al de las vitaminas sobre muchas plantas. Estos nuevos productos químicos, en manos de bioquímicos, fitofisiólogos, agrónomos, etcétera, han de suministrar nuevos conocimientos y han de mejorar la producción agrícola, señalando, al mismo tiempo, el camino para progresar en el estudio de la farmacología agrícola.

Las gibberellinas permiten al hombre, en la actualidad, un control sobre las plantas que, por lo menos hasta el momento presente, no se había conseguido nunca, ya que complementan o suplementan las sustancias naturales que son capaces de provocar crecimiento.

Por último, es muy significativo el hecho que las gibberellinas no suministran energía ni inician tipos anormales de división celular, como así tampoco cambian la química de las plantas.

## LAS GIBBERELLINAS

“Una investigación científica afortunada convierte a un hombre en bienhechor de toda la especie humana y de todos los tiempos.”

(Priestley.—*Experiments and observations on the different kinds of air.*—1774.)

## I.—LA ENFERMEDAD "BAKANAE" DEL ARROZ Y EL HONGO CAUSANTE

El síntoma más característico de la enfermedad "Bakanae" es la aparición de plantas más altas y de tallo fino, marcadamente más crecidas que sus convecinas no afectadas; de aquí el nombre con el que generalmente se la conoce ("Bakanae", planta de semilla disparatada).

Esta enfermedad no es exclusiva de la isla de Formosa, ya que se conocen descripciones de ella en Japón, la India, Filipinas, China, Guayana Británica, Italia, Ceilán, etcétera.

Primeramente se identificó al agente causante de la enfermedad como un hongo imperfecto, "Fusarium heterosporum" Nees. Con posterioridad fue descubierto por Fujikuroi el estado perfecto al que se designó como "Lisea fujikuroi". Como quiera que se dudaba sobre la identificación primitiva del "Fusarium heterosporum" Nees, se sugirió que el que realmente se describía se correspondía con el portador del "akakabi", enfermedad que ocurre también en el arroz, pero exclusivamente durante la floración. Sin embargo, más tarde, se comprobó la identidad de ambos por inoculación y aislamiento posterior.

Observándose una gran similitud entre el "Lisea fujikuroi" y el "Gibberella moniliformis" Winel del maíz, se propuso, como designación más correcta, la de "Gibberella fujikuroi"; pero andando el tiempo, y no conforme con esta sugerencia, se examinan un centenar de cepas de hongos, procedentes todas de plantas de semillero afectadas de enfermedad "Bakanae", encontrando que 99 de ellas producían síntomas de crecimiento; por el contrario, de doce hongos identificados sin lugar a dudas como Gibberella, procedentes de distintas plantas de arroz, o bien producían inhibición o no producían efecto alguno. Se concluyó, de aquí, que el "Gibberella moniliformis" no debía ser el hongo causante de la enfermedad "Bakanae", y se defendió por ello la retención del nombre Lisea para el microorganismo responsable de ella. Todo esto vino a complicarse, cuan-

do se demostró que la propia estirpe "Bakanae" era capaz de causar también la enfermedad "akakabi", que previamente se había adscrito al "Fusarium heterosporum" (forma imperfecta del "Lisea fujikuroi"). Se resuelve definitivamente este problema al comprobar que cuando las semillas se infectaban por los hongos, resultaba el efecto "Bakanae", mientras que si la infección tenía lugar sobre la planta ya madura, durante el período de floración, se inducía a los síntomas de "akakabi" (aparición de manchas rojas en la cáscara del arroz debidas a los hongos), es decir, dos manifestaciones patológicas distintas de un mismo organismo, los microorganismos eran idénticos. Por ello, al revisar Wollenweber el género *Fusarium* sugirió para la forma perfecta el nombre de "*Gibberella fujikuroi*" (Saw.), mejor que "*Gibberella moniliformis*" Winel, que ya se había utilizado para designar al hongo que tiene su "habitat" en el maíz. A la forma imperfecta se le dió el nombre de "*F. moniliformis*", Sheld, que corresponde a la primera descripción del hongo en el maíz; su identidad con el "*F. heterosporum*" parecía estar basada en una descripción incompleta. De esta forma el hongo "Bakanae" se vinculó taxonómicamente a un microorganismo que, como ya se había demostrado anteriormente, no producía el efecto "Bakanae". Esta anomalía se debió a que ciertas estirpes de hongos "Bakanae" no producían los síntomas correspondientes a esta enfermedad.

Examinado el criterio morfológico se llega a la conclusión de que el hongo "Bakanae" es el mismo "*F. moniliformis*", que ya era conocido de mucho antes por atacar a otras muchas plantas. En efecto, utilizando estirpes de hongos aisladas de arroz, maíz y caña de azúcar, se obtuvo siempre sobrecrecimientos, tanto en maíz como en arroz, pero casi exclusivamente a partir de las estirpes aisladas del arroz y en muy contadas ocasiones de las aisladas de la caña de azúcar. Además, se demostró que una gran proporción de las plantas de arroz no afectadas por "Bakanae", ubicadas en campos infectados de esta enfermedad, contenían el hongo "Bakanae". A mayor abundamiento se pudo aislar el hongo del 97 % de plantas de arroz procedentes de semillas previamente infectadas, el 63 % de plantas del mismo cereal encanijadas y el 32 % de plantas aparentemente normales; de donde se infiere que la variación debe ocurrir en el campo.

Por otra parte, estas variaciones del *Fusarium* se han señalado por muchos observadores. Leonian demostró, por ejemplo, que durante el período de cultivo de una única espora está cambia constantemente de características. Es por lo que actualmente se sugieren nuevas revisiones

taxonómicas, máxime al comprobarse que el desarrollo normal del "F. moniliformis" requiere fluctuaciones óptimas de luz y temperatura.

En la actualidad, para el hongo "Bakanae" se reservan los nombres de "Fusarium moniliformis", en el estado imperfecto, y "Gibberella fujikuroi", en el estado perfecto: sin embargo, en esta última forma se ha encontrado en muy raras ocasiones.

El "F. moniliformis" se sabe que ataca a una gran variedad de huéspedes, entre los que cabe señalar, como más importantes: maíz, algodón, arroz y caña de azúcar. Se ha señalado su existencia en un insecto, en la lana, y hasta ha podido inocularse, experimentalmente, a un mamífero.

A pesar de todo lo que antecede, y debido a la gran variabilidad del microorganismo que nos ocupa, su identificación debe tratarse siempre con cierta reserva.

Precisamente el acuerdo en la identificación del organismo "Bakanae" deja sin explicar una cuestión muy importante. ¿Por qué si este hongo se encuentra tan difundido causa su efecto de crecimiento exclusivamente en la planta de arroz? Efectivamente no se sabe de ocurrencia natural de este anormal sobrecrecimiento en plantas distintas del arroz, aunque sí se han llevado a cabo infecciones para provocar este crecimiento en maíz, cebada, caña de azúcar, sorgo, mijo, trigo y avena; es más, se ha encontrado que el maíz responde mucho mejor que el arroz a contraer la enfermedad "Bakanae", con infección experimental, a condición de que el hongo proceda en ambos casos del arroz. A esta paradoja no se ha podido dar todavía una contestación categórica, aun cuando puedan ser de gran utilidad los siguientes indicios:

Es un hecho comprobado que estirpes activas mantenidas en cultivo artificial, pierden su facultad de inducir la enfermedad "Bakanae" después de pocos meses y ésta no puede ser restablecida ni aun por posterior inoculación en arroz y nuevo aislamiento. Sin embargo, la actividad a las estirpes inactivas vuelve cuando se hacen crecer en un medio de grano de arroz. Parece ser como si el grano de arroz supliera un factor de nutrición necesario para que el organismo vuelva a tener la facultad de inducir la enfermedad "Bakanae".

Existe una mayor evidencia de que la temperatura juegue un papel importante en la planta infectada. En efecto, son muchos los investigadores que han comprobado que la temperatura óptima para el crecimiento del hongo es de 27° C; sin embargo, la temperatura óptima de infección

es de alrededor de unos 30° C y la de inducción del efecto "Bakanae" fue establecido en 35° C. Aun cuando se ha demostrado que todas las cepas no tienen idéntica respuesta, por lo que a temperatura se refiere, se ve, sin embargo, que la óptima para la inducción "Bakanae" es de unos 5° C por encima de la óptima para el cultivo "in vitro" del hongo. De Haan encontró que el "F. moniliformis" a temperaturas superiores a 27° C causaba un significativo, aun cuando no muy fuerte, crecimiento en cebada y maíz; mientras que en el arroz y avena se pudieron encontrar algunos síntomas de "Bakanae", pero a temperaturas más altas. Posteriormente se ha señalado como temperatura óptima de crecimiento, en el arroz, maíz y trigo infectados, las de 31, 31 y 28° C respectivamente. En Ceilán se ha observado que la enfermedad "Bakanae", del arroz, se da más en la cosecha de verano y Baldacci, que encuentra los 35° C como óptimos para inducir "Bakanae" en el arroz, atribuye lo poco extendida que se encuentra esta enfermedad en Italia, a la temperatura generalmente baja que allí prevalece. Por último, se ha puesto de manifiesto que las variedades de arroz templado contraen la "Bakanae" menos frecuentemente que los de variedades tropicales. El efecto de temperatura, sin embargo, deja de explicar el por qué en maíz y caña de azúcar infectados naturalmente, no se ha señalado sobrecrecimiento ni una sola vez.

Otra variable a considerar es la humedad del suelo. Efectivamente, se señala que existe menos posibilidad de enfermedad en lechos bien húmedos, a pesar de que también se ha encontrado que el crecimiento máximo tiene lugar en el mismo nivel de agua, que, a su vez, es el óptimo para el crecimiento de la variedad de arroz empleada. De aquí se concluye que en un lecho seco las plantas, generalmente, no muestran sobrecrecimiento, mientras que en lecho húmedo aparecen síntomas inequívocos de enfermedad "Bakanae". Así pues, puede decirse como regla general, que existe un efecto de humedad del suelo, pero que puede alterarse por la variedad de arroz y quizás por la cepa del hongo; puede que el efecto "Bakanae" sea más pronunciado bajo condiciones óptimas de desarrollo de la variedad de arroz utilizada.

Borrow y col. comentando la rareza de inducción "Bakanae" por estirpes de "F. moniliformis", no aislados del arroz, citan como la única excepción los resultados de Nisikado. Esta pereza a la inducción "Bakanae" del "F. moniliformis", no aislado del arroz, viene confirmada por el gran número de experiencias llevadas a cabo por Leonian, el cual en el trans-

## L A S G I B B E R E L L I N A S

curso de todas ellas tan sólo llega a detectar una muy corta actividad del microorganismo antes aludido en el maíz. Todavía más: van Dillwign hace notar que cuando el "F. moniliformis" ataca a la caña de azúcar en la cabeza de los brotes, las yemas laterales no crecen, como debiera ocurrir, si se hubiese producido gibberellina.

Sin embargo, Edward detectó promoción de germinación de semillas en mazorcas de maíz infectadas, encontrando también que el "G. fujikuroi" induce al crecimiento del maíz, pero a temperaturas más altas. De todo ello se deduce que estos sobrecrecimientos deben producirse por una estirpe de Fusarium que no procede del arroz.

Se conocen otros muchos hongos que inducen al crecimiento de las plantas, lo que en la actualidad es de mucho interés. Baldacci y Brian compilan listas de hongos que causan efectos de crecimiento, relativamente específicos, en plantas, lo que suministraría un punto de partida para el ulterior examen de la acción de los metabolitos de los hongos.

### *Bibliografía*

- Baldacci: Intern. Bull. Plant. Protection, 20 (1-2), 1M-2M (1946).
- Borrow, Brian, Chester y otros: J. Sc. Food Agric., 6, 340 (1955).
- De Haan: Phytopathol. Z., 10, 235 (1937).
- Stoll: Phytopathol. Z., 22, 233 (1954).
- Stowe y Yamaki: Ann. Rev. of Plant. Physiol., 8, 181 (1957).

## II.—PRODUCCIÓN DE GIBBERELLINAS

Una vez demostrado por Kurosawa y colaboradores que la actividad "Bakanae" podía inducirse al infectar las semillas con un filtrado, libre de células, de cultivos puros de "G. fujikuroi", se centró la atención en obtener estos cultivos con la máxima actividad. Se encontró que aunque el crecimiento del hongo es óptimo con soluciones de glucosa 20 %, sin embargo, para que la producción del factor activo sea máxima, los caldos deben contener una cantidad de glucosa comprendida entre 0,1 y 0,2 %. Los estudios realizados del hongo demuestran que puede crecer en otras fuentes carbonadas, como celulosa y lana.

El primitivo método japonés de producción se basaba en cultivo superficial del "G. fujikuroi" en medio líquido. No se publicó la composición exacta de éste, pero parece ser que consistía en simples medios de glucosa y sales, o glicerina y sales, empleando cloruro amónico como fuente de nitrógeno. Los cultivos se incubaban de 30 a 45 días, a 25° C.

Recientemente se utilizan formulaciones de sales Czapek Dox, Raulin Thon o Raulin modificada y como fuente nitrogenada, sulfato amónico, asparraguina y peptona.

Dos factores de extraordinaria importancia, a tener en cuenta son, de una parte, la estirpe del hongo utilizado, y de otra la relación carbono-nitrógeno, en el caldo de cultivo. En efecto, el hongo "G. fujikuroi" produce varios metabolitos, todos ellos ácidos monobásicos y que originan crecimientos en las plantas. Se conocen con los nombres de Gibberellina A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> y ácido gibberélico. Este último se produce por varias cepas (con muy buen rendimiento con la número 917 de los laboratorios Akers) y utilizando el medio de cultivo de Borrow y colaboradores.

Los japoneses, por su parte, trabajan con cepas, diferentes a las señaladas anteriormente, y utilizan caldos de cultivo con alta relación nitrógeno-carbono; obtienen así una mezcla de Gibberellina A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub>.

Por último, Stodola y colaboradores, utilizando el mismo medio de

## LAS GIBBERELLINAS

cultivo que los japoneses y una cepa diferente (N. R. R. L. 2284), obtienen mezclas de donde puede aislarse posteriormente el ácido gibberélico y la Gibberellina A<sub>1</sub>.

Por lo que a elementos traza se refiere, es el boro el más importante, para el metabolismo del hongo, y en menor proporción el manganeso y cinc. Existe una patente de aplicación de la I. C. I. que especifica hierro, cobre, cinc, manganeso y tetraóxido de molibdeno.

Los metales pesados puede que jueguen el papel de inhibidores, ya que el empleo de tanques de acero, incluso de acero inoxidable, reduce siempre considerablemente la producción del factor fisiológicamente activo.

Aunque las vitaminas parecen no ser necesarias para el hongo, sin embargo, añadiendo al medio de cultivo extracto de embrión de arroz, se mejoran siempre las condiciones de crecimiento.

Naturalmente, que con todas las experiencias llevadas a cabo con los filtrados activos, era muy difícil hacer comparaciones de valor debido, fundamentalmente, a la gran diversidad de los bioensayos utilizados. Las semillas de distintas procedencias, los factores externos y la presencia de inhibidores de crecimiento en el caldo de cultivo, que quizás sea aquí lo más importante, pueden dar, en el mejor de los casos, resultados semicuantitativos.

De todas maneras y fundados en los trabajos llevados a cabo, en el campo, por el grupo de investigadores de Tokio, dirigidos por Yabuta, se puso a punto un bioensayo seguro, utilizando semillas de arroz del mismo origen y con diluciones apropiadas del caldo con el fin de reducir al mínimo los efectos de inhibición. De esta forma se pudieron estudiar: la influencia del pH, concentración de glucosa y glicerina, tiempo de duración del cultivo y estirpe de hongo a utilizar. Estos trabajos vinieron a confirmar los primeros informes referentes a que la sustancia activa se producía mucho mejor a bajas concentraciones de hidrocarbonados, comprendidas entre el 1 y el 3%. Otros informes aseguran que mejor que la glucosa va la glicerina en la proporción del 1,5%. Los filtrados más activos se consiguieron con un pH inicial de 3-4,4 siendo el más recomendado el de 3,4. En cuanto al tiempo, los mejores resultados se obtuvieron con 30-40 días de cultivo. Debe hacerse notar, sin embargo, que los investigadores británicos trabajan en la actualidad con caldos de cultivo que contienen concentraciones de hidrocarbonados más altas que las mencionadas y con un tiempo de cultivo que se aproxima a los 18 días.

Por lo que a temperatura se refiere los mejores rendimientos se obtienen entre los 25 y 28°.

No conocemos ningún estudio cuidadoso sobre el efecto de aireación en el crecimiento del "G. fujikuroi". Este hongo crece perfectamente en medio anaerobio y si bien la aireación aumenta, aunque débilmente, el crecimiento, sin embargo inhibe la producción de conidios. A pesar de todo ello se ha observado que la agitación reduce siempre el tiempo necesario para conseguir la máxima actividad biológica en los caldos de cultivo y más aún la aireación a presión.

En cuanto a los rendimientos de sustancias activas, en los caldos de cultivo, son muy diferentes, variando de 8 mgr. a 544 mgr. litro.

Probablemente estos rendimientos vienen influidos más por la duración del tiempo de cultivo, que por los métodos de aireación utilizados y a este respecto los investigadores británicos señalan que la mayor parte del material activo se produce después que ha tenido lugar el crecimiento del micelio. Por ello no es raro que los japoneses, en sus primeros trabajos, encontraran que aproximadamente el pH, nitrógeno (amoniaco) y la glicerina van decreciendo con el tiempo de manera inversamente proporcional a la formación del micelio, mientras que la máxima actividad biológica se alcanzaba siempre cuando ya había terminado el crecimiento del micelio. Aparentemente los rendimientos óptimos se obtienen cuando se detiene el crecimiento micelial por falta de nitrógeno y un exceso de hidrocarburos; sin embargo, los investigadores británicos opinan que el factor activo se produce metabólicamente y no como resultado de una autólisis.

El grupo investigador de la Universidad de Tokio aisló también un material inhibidor, de los caldos de cultivo, confirmando así las sugerencias de que se producían, al mismo tiempo, sustancia o sustancias que estimulan el crecimiento de las plantas y otra u otras que lo inhiben.

Una de estas últimas es la que se llamó ácido fusárico, que se identificó más tarde como el ácido 5-n-butilpicolínico. Se mostró como un potente inhibidor de crecimiento que era efectivo en algunas plantas a concentraciones hasta de 0.1 mgr. litro. Recientes estudios japoneses y suizos han demostrado que su efectividad parece radicar en sus propiedades de quelato.

Una vez aclarado el problema de inhibición del crecimiento, los investigadores japoneses revisan metódicamente las propiedades de las sustancias con inducción "Bakanae". Confirmaron que el mejor adsorbente para ellas

## LAS GIBBERELLINAS

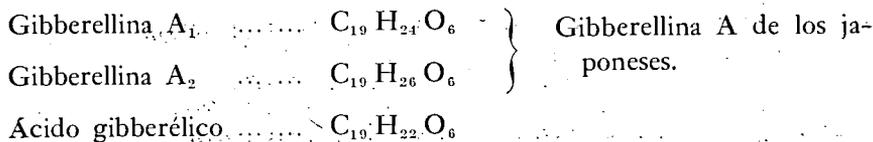
es el carbón de madera y que el factor activo, la gibberellina, se eluía mejor con metanol básico. Con estos hechos a la vista idearon el esquema general de separación que es el que viene utilizándose en la actualidad con ligeras modificaciones. El cultivo filtrado se trata con carbón activo y las sustancias adsorbidas se eluyen más tarde con alcohol amoniacal; el extracto metanólico se evapora y al residuo se añade disolución de bicarbonato, se extrae con éter, la capa acuosa se acidifica y se vuelve a extraer con éter que disuelve las gibberellinas. Los últimos pasos han tenido algunas modificaciones con el tiempo; así algunos trabajos incluyen precipitación con acetato de plomo, la utilización de acetatos de etilo o butilo en lugar de éter y como paso final se usa, con ventaja, la distribución en contracorriente.

### *Bibliografía*

- Borrow, Brian, Chester y otros: *J. Sc. Food Agric.*, 6, 340 (1955).
- Grove, Jeffs y Mulholland: *J. Chem. Soc.*, 1236 (1958).
- Stodola, Nelson y Spence: *Arch. Biochem.*, 56, 438 (1957).
- Stodola, Raper, Fennell y otros: *Arch. Biochem.*, 54, 240 (1955).
- Stowe y Yamaki: *Ann. Rev. of Plant. Physiol.*, 8, 181 (1957).

### III.—QUÍMICA DE LAS GIBBERELLINAS

*El ácido gibberélico y las gibberellinas A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub>.*—Ya hemos señalado en otra ocasión que según la estirpe de "G. fujikuroi" y la relación nitrógeno-carbono en los caldos de cultivo, pueden obtenerse tres sustancias distintas, ácidos monobásicos, que son capaces de originar crecimientos en las plantas, a saber:



de las cuales la mejor estudiada, sobre todo por lo que se refiere a los occidentales, es el ácido gibberélico; por ello le dedicaremos aquí la máxima atención, tratando con posterioridad de establecer relaciones entre él y las otras dos gibberellinas.

El ácido gibberélico es incoloro, cristalino, ópticamente activo  $[\alpha]_D^{19} = + 86^\circ$  y se descompone a 233-235° C. Los pesos moleculares y equivalentes conducen a la fórmula C<sub>19</sub>H<sub>22</sub>O<sub>6</sub>. No tiene carácter reductor, es inestable en medio alcalino y ácido mineral y se oxida rápidamente con permanganato en medio alcalino. Con ácido sulfúrico concentrado en frío da un color rojo vinoso, con fuerte fluorescencia azul, y no da coloración alguna con cloruro férrico.

De los seis oxígenos que contiene su molécula uno está formando parte de un OH secundario (que en la oxidación suministra la correspondiente cetona), el cual puede ponerse en evidencia con ácido nitrocromico y viene confirmado por el espectro infrarrojo y la formación de derivado monoacetilado.

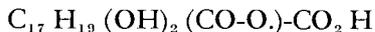
El segundo y tercer oxígenos están contenidos en un grupo carboxilo, como lo demuestra la formación de los esteres p-bromofenacilo y metílico.

Este último puede acetilarse, posteriormente, para dar el derivado correspondiente, al que por otra parte también puede llegarse acetilando primero y metilando después. El espectro I. R. del ácido gibberélico (nujol) no absorbe en la región que normalmente se asocia con el OH carboxílico de los ácidos en sólido (dímero); sin embargo, la banda en  $1736\text{ cm}^{-1}$  (dioxano) que también se observa, se asigna al grupo carboxílico alifático.

El ácido gibberélico y sus derivados se caracterizan por la aparición en su espectro I. R. de una banda de alta frecuencia en la región correspondiente a la agrupación C=O, demostrando con ello la presencia de una  $\gamma$ -lactona, hecho que viene confirmado por el consumo de un segundo equivalente de álcali al calentar el ácido con un ligero exceso de NaOH 0.1 N. Con ello vienen caracterizados los oxígenos 4° y 5° de la molécula.

El átomo de oxígeno que queda sin identificar debe ser muy poco reactivo y posiblemente se encuentre formando parte de un OH terciario, ya que el espectro I. R. del acetilgibberelato de metilo muestra una banda en los  $3500\text{ cm}^{-1}$  y como además este mismo compuesto, en oposición con varios productos de hidrólisis del ácido gibberélico, no presenta en la región U. V. ningún máximo en el intervalo 220-320 milimicras, debe interpretarse ello como que no contiene ningún anillo aromático.

Con todo lo dicho y en el supuesto de dos enlaces etilénicos el ácido gibberélico debe contener en su estructura 4 anillos alicíclicos y uno lactónico, por lo que en principio puede representarse:



La determinación de su estructura se funda en su comportamiento frente a los ácidos minerales y un posterior estudio de los productos obtenidos por hidrólisis.

Se ataca rápidamente por los ácidos minerales suministrando ácido alogibbérico o ácido gibbérico, según las condiciones de la experiencia. Con HCl a  $55-65^\circ\text{ C}$  da fundamentalmente  $\text{CO}_2$  y ácido alogibbérico, mientras que si esta reacción tiene lugar a ebullición el producto obtenido es casi exclusivamente ácido gibbérico. Pero a este mismo compuesto puede llegarse también en idéntico tratamiento del ácido alogibbérico, lo que significa, posiblemente, que durante este tratamiento a ebullición, con ácido mineral diluido, tenga lugar una isomerización de uno en otro.

Estudiando pues cada uno de estos productos de degradación tendremos mucha luz sobre el esqueleto y estructura del ácido gibberélico.

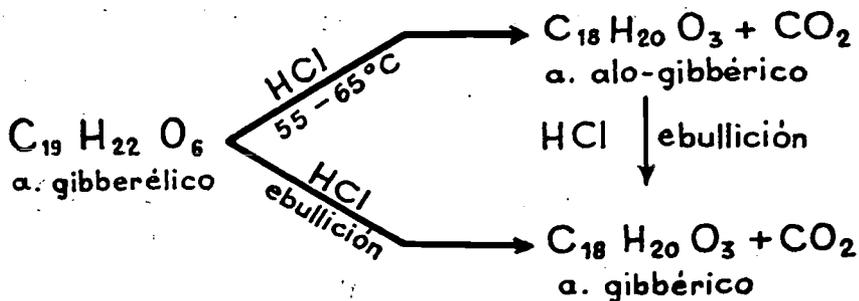


FIG. I

*Constitución del ácido gibbérico.*—El ácido gibbérico (VII) no se hidrogena, es decir, no contiene enlaces etilénicos. En cuanto a la explicación de la formación de este ácido a partir del alo-gibbérico, puede interpretarse como la isomerización de un alcohol terciario, no saturado, acetona.

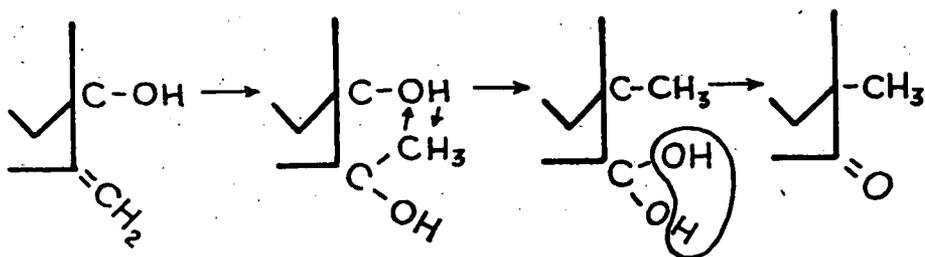


FIG. II

El espectro de absorción en U. V. del ácido gibbérico y sus derivados demuestra la existencia en su molécula de un anillo bencénico.

El ácido gibbérico forma una oxima, un ester monometílico neutro y un ester-oxima. Además el espectro infrarrojo (nujol) pone de manifiesto dos bandas (1717 y 1741  $\text{cm}^{-1}$ ) características de la agrupación  $\text{C}=\text{O}$ . Estas bandas fueron asignadas, la primera a un grupo carboxílico alifático y la última a un anillo cetónico pentagonal. Este espectro I. R. no muestra absorción característica de OH en 2500-2700  $\text{cm}^{-1}$ , aunque sí exhibe una banda de alta frecuencia de OH (3290  $\text{cm}^{-1}$ ). Sin embargo, se confirma en la molécula la presencia de un grupo carboxilo, en primer lugar, por la subida de frecuencia 1717  $\text{cm}^{-1}$ , de la banda correspondiente a  $\text{C}=\text{O}$  (sólido), a 1740  $\text{cm}^{-1}$  en disolución de dioxano y además, por la desviación

de la banda de OH a  $3525\text{ cm}^{-1}$  en disolución de  $\text{CCl}_4$ , y como quiera que los alcoholes en  $\text{CCl}_4$  muestran absorción OH a frecuencias más altas ( $3600\text{ cm}^{-1}$ ), esta última banda, de alta frecuencia, debe asignarse a un OH carboxílico monómero.

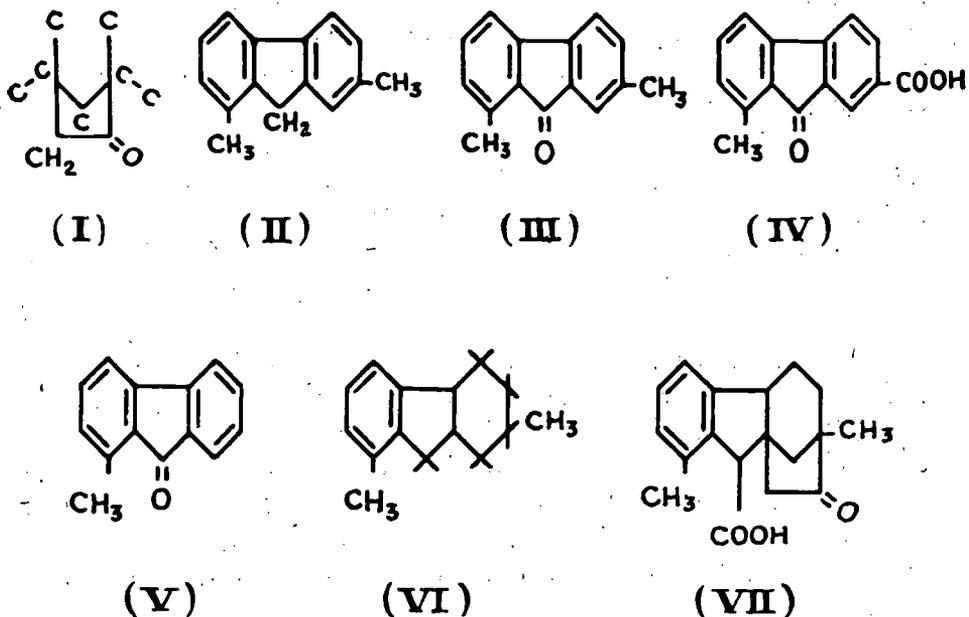
Por todo lo que antecede y los números de análisis y pesos moleculares se deduce que al ácido gibbérico debe corresponderle la fórmula estructural de un cetoácido tetracíclico con un anillo bencénico.

La oxidación del ácido gibbérico con dióxido de selenio da un ácido de color amarillo, con p. f. =  $189,5\text{-}191^\circ\text{ C}$  (ácido gibberdiónico), de fórmula  $\text{C}_{18}\text{H}_{18}\text{O}_4$ , que está en concordancia con los análisis, tanto del ácido libre como de su ester metílico, y de acuerdo con la hipótesis de que el ácido gibbérico contiene un anillo cetónico pentagonal, el ácido gibberdiónico (XIII;  $\text{R}=\text{CO}_2\text{H}$ ) debe ser el propio gibbérico, pero con un anillo  $\alpha$ -dicetónico pentagonal no enolizado, lo que viene confirmado porque el espectro de absorción I. R. no contiene las bandas correspondientes a OH ni  $\text{C}=\text{C}$ , pero sí y bien definidas las correspondientes a la agrupación  $\text{C}=\text{O}$ . Esto demuestra la existencia en el ácido gibbérico de la agrupación parcial (I).

Con  $\text{H}_2\text{O}_2$  alcalino se oxida el ácido gibberdiónico para dar  $\text{CO}_2$  y un ácido que se descompone a  $158^\circ\text{ C}$  cuyo análisis concuerda con la fórmula  $\text{C}_{18}\text{H}_{20}\text{O}_6 \cdot 1/2\text{ H}_2\text{O}$  y que contiene tres grupos carboxilos, ya que puede suministrar un triéster metílico neutro.

La degradación de este ácido tricarboxílico con selenio, conduce a gibbereno,  $\text{C}_{15}\text{H}_{14}$ , el cual por otra parte, también se obtiene en las mismas condiciones del ácido gibbérico. Ello quiere decir que durante la deshidrogenación con selenio no ha tenido lugar transposición alguna en el esqueleto original y sí la eliminación del puente metileno-carbonílico, por lo que se supone que el grupo metileno debía estar unido a átomo de C cuaternario.

El gibbereno, por degradación y síntesis se demostró que poseía la fórmula correspondiente a un 1-7-dimetilfluoreno (II), el cual si se oxida con permanganato potásico en acetona, suministra gibberenona (III) ( $\text{C}_{15}\text{H}_{12}\text{O}$ ) y con dicromato sódico en acético, una mezcla de gibberenona y un compuesto amarillo de carácter ácido monocarboxílico que más tarde (y por comparación con muestras puras obtenidas de reteno o por síntesis) se identificó como el ácido 1-metilfluorenona-7-carboxílico (IV), el cual

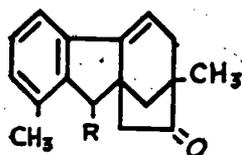


por posterior descarboxilación conduce finalmente a la 1-mentil-fluoreno-na (V).

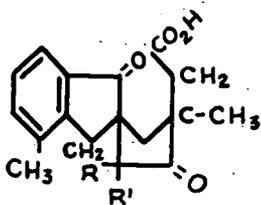
Se establece así la existencia, en la molécula del ácido gibbérico, del núcleo de 5-6-7-8-12-13-hexahidro-1-7-dimetilfluoreno (VI). La posición del puente metilen-carbonílico se determina por las siguientes reacciones: La oxidación a 0° del ácido gibbérico (VII), con solución de permanganato potásico en medio alcalino, da el ácido dehidrogibbérico,  $C_{18}H_{18}O_3$  (VIII;  $R=CO_2H$ ), en el cual se ha introducido un enlace etilénico, conjugado con el anillo aromático, como lo pone de manifiesto el espectro U. V. Este ácido, que en la reducción catalítica regenera el ácido gibbérico original, no se hidroliza en medio ácido ni alcalino, pero se degrada rápidamente con permanganato en medio alcalino, reacción que está de acuerdo con la estructura asignada al ácido dehidro-gibbérico (VIII;  $R=CO_2H$ ) y que debe ocurrir, probablemente, por oxidación del átomo de H terciario a hidroxilo y una posterior deshidratación.

La oxidación a 25° C con más permanganato potásico, proporciona un ácido bibásico,  $C_{17}H_{18}O_4$  (p. f. 255-256° C, descomposición), que posible-

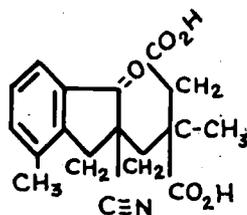
LAS GIBBERELLINAS



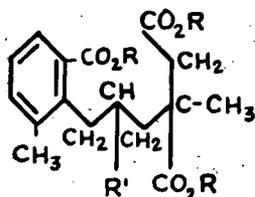
(VIII)



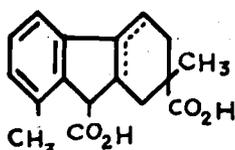
(IX)



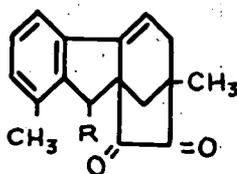
(X)



(XI)



(XII)



(XIII)

mente sea idéntico al descrito por los investigadores japoneses (245-247° C). Este ácido, lo mismo que el dehidro-gibbérico, contiene un enlace etilénico conjugado con el anillo aromático (U. V.), pero en él ya no existe el grupo cetónico en el anillo pentagonal (I. R.), por lo que debe tener la estructura (XII), que deriva de la (VIII; R = CO<sub>2</sub> H) por rotura del puente metilen-carbónico y descarboxilación del grupo carboxilo unido a carbono terciario y en posición β-γ con relación al enlace etilénico.

La oxidación a 100°, del ácido gibbérico, con exceso de permanganato alcalino, seguida de un tratamiento con permanganato neutro, conduce al ácido 1-2-3-benceno-tricarboxílico (XIV) (aislado en forma de ester trimetílico). A este mismo ácido puede llegarse oxidando el ácido gibbérico con manganesa en sulfúrico concentrado a ebullición, pero, los mejores resultados se consiguen a partir de los subproductos obtenidos en la oxidación permangánica a 0° del ácido gibbérico (para la obtención del dehidro-gibbérico), sometiénolos a la acción sucesiva de óxido crómico en acético a 100°, permanganato potásico en medio alcalino a 100° y permanganato potásico neutro a 20°.

La descarboxilación del ácido dehidrogibbérico con carbón-paladio o carbón sólo a 230° da una cetona neutra, gibberona (VIII; R=H). También puede prepararse esta misma cetona en la deshidrogenación directa del ácido gibbérico con selenio a 300°, pero en este último caso la gibberona viene acompañada de 1-7-dimetilfluoreno y tres sustancias más de naturaleza fenólica a las que, posiblemente, les corresponde estructuras de hidroxifluoreno. Los mejores rendimientos se obtienen en la calefacción a 210° del ácido gibbérico con carbón-paladio 30 %, llegándose a rendimientos hasta del 80 % en gibberona.

Sin embargo, en la deshidrogenación con carbón-paladio 30%, 220°, del ester metílico del ácido gibbérico, se retiene siempre el grupo  $-\text{COOCH}_3$ , obteniéndose del producto resultante ácido dehidrogibbérico. Precisamente este comportamiento nos servirá posteriormente para fijar la posición del grupo carboxilo.

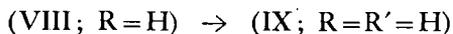
Estas experiencias demuestran que el carbón-paladio a 210-300° C tan sólo afecta a la descarboxilación del ácido gibbérico libre, pero deja intacto el puente metilen-carbonílico. Demostrando pues la constitución de la gibberona, tendremos determinada la constitución del ácido gibbérico a falta tan sólo de fijar en él la posición del grupo carboxilo.

*Constitución de la gibberona.*—Es una cetona ópticamente activa. De acuerdo con la estructura (VIII; R=H), el espectro I. R., en tetracloruro de carbono, pone de manifiesto la cetona saturada cíclica de 5 miembros (absorción característica del grupo carbonilo a  $1745\text{ cm}^{-1}$ ) y el U. V. que el enlace etilénico (puesto de manifiesto en la reducción catalítica), está conjugado con el anillo bencénico. La gibberona no se hidroliza en medio ácido ni alcalino. Con selenio a 360° C produce 1-7-dimetilfluoreno (II) y con dióxido de selenio en etanol a 140° C se oxida para dar gibberdiona (XIII; R=H), que no es más que una dicetona 1-2-cíclica de 5 miembros, que tiene casi idénticos espectros U. V., en etanol y NaOH, que el ácido gibberdiónico y la gibberona.

La gibberona, por oxidación con óxido crómico, produce un ceto-ácido monobásico  $\text{C}_{17}\text{H}_{18}\text{O}_4$  (IX; R=R'=H). La razón por la que a este ácido se le asigna esta estructura es la siguiente: Los 4 oxígenos están contenidos, dos en el carboxilo y otros dos en cada uno de los carbonilos; uno de los carbonilos forma parte de un anillo de 5 miembros (I. R. a  $1744\text{ cm}^{-1}$ ), mientras que el otro, estando conjugado con el núcleo aromático (espec-

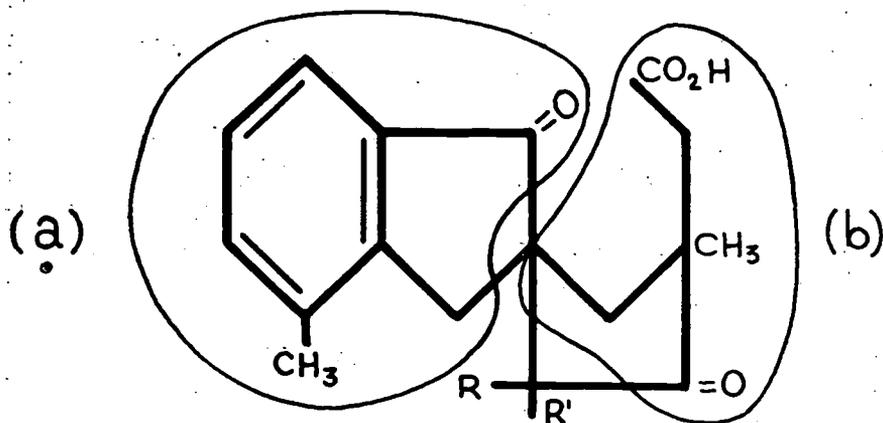
L A S. G I B B E R E L L I N A S

tro U. V.), está contenido en un sistema cíclico de indanona. Así puede explicarse la formación del ácido (IX; R=R'=H) a partir de la gibberona sin pérdida de carbono y con la adición de 3 oxígenos, suponiendo que la oxidación afecta a un enlace etilénico trisustituido para dar un cetoácido.

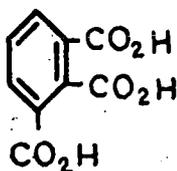


Este ácido (IX; R=R'=H), no se hidroliza con ácido mineral ni con álcali por lo que no debe tratarse de un  $\beta$ -cetoácido o una  $\beta$ -dicetona. No se altera en el tratamiento con permanganato neutro a temperatura ambiente, ni a 75° C con óxido crómico en acético; pero bajo estas condiciones sí se oxida, tanto el 2-metil como el 2-3-dimetil indano 1-ona, pero no el 2-2-dimetil indano 1-ona. Se infiere de ello que el cetoácido (IX; R=R'=H) es un 2-2-disustituido indano-1-ona, y como en él se mantiene la estructura parcial (I), originalmente presente en el ácido gibbérico, se deduce de ello que el anillo de 5 miembros debe estar unido a la posición 2 como se indica (IX; R=R'=H).

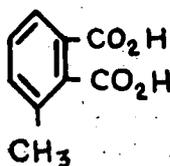
La oxidación del 2-2-dimetil indano-1 ona con permanganato potásico, en presencia de nitrato magnésico, produce 2-2-dimetil indano-1-3-diona. En las mismas condiciones se oxida el cetoácido (IX; R=R'=H) para dar una mezcla compleja de la cual puede separarse, de entre otros componentes: ácido 1-2-3-benceno tricarbóxico (XIV), ácido 3-metilftálico (XV) (en forma de anhídrido) y ácido  $\beta$ -metil-tricarballílico (XVI), que se explicaría así:



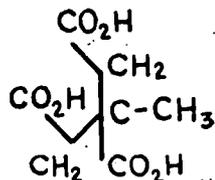
La rotura de la molécula XVII según (a) suministraría (XIV) o (XV) y según (b) (XVI).



(XIV)



(XV)



(XVI)

La presencia de estos tres compuestos entre los grupos de oxidación del cetoácido que nos ocupa, suministran una prueba de la constitución asignada.

Mientras que el ácido gibbérico no da más que un  $\alpha$ -monobromo derivado, el cetoácido (IX;  $R=R'=H$ ) conduce primero al  $\alpha$ -bromo y posteriormente, con exceso de bromo, al  $\alpha$ - $\alpha$ -dibromoderivado.

El monobromoderivado (IX;  $R=H$ ,  $R'=Br$ ) no separa  $BrH$ , en el tratamiento con colidina, confirmándose así la ausencia de  $H$  en la posición  $\alpha$  con relación al carbono que soporta el sustituyente  $Br$ .

En el tratamiento del cetoácido (IX;  $R=R'=H$ ) con nitrito de butilo y metilato sódico suministra el  $\alpha$ -hidroxi-imino compuesto (IX;  $RR' = N-OH$ ), del que más tarde y por tratamiento con cloruro de p-toluen-sulfonilo, se obtuvo el ácido tricarbóxico (XI;  $R=H$ ,  $R'=-CN$ ) con una agrupación  $-CN$  (banda en el I. R.  $2250\text{ cm}^{-1}$ ). Puesto que este último compuesto contiene 6 átomos de oxígeno que están presentes en los tres grupos carboxilos, las funciones cetónicas del compuesto de que se partió (cetoácido IX;  $R=R'=H$ ), han desaparecido en el transcurso de las reacciones, lo que se confirma por el espectro I. R. (ausencia de absorción debida a cetona cíclica saturada de 5 miembros) y del U. V. (el cual al mismo tiempo que es característico de un ácido benzoico sustituido, muestra la ausencia de núcleo de indanona).

El ácido ciano-tricarbóxico (XI;  $R=H$ ,  $R'=-CN$ ), se hidroliza en el tratamiento con sulfúrico 50 % para dar un ácido tetracarbóxico amorfo (XI;  $R=H$ ,  $R'=CO_2H$ ), el cual en la metilación con diazometano suministra 2 esteres metílicos (XI;  $R=Me$ ,  $R'=CO_2Me$ ). Estos esteres que

tienen distintos puntos de fusión y rotación óptica; deben ser diaestereoisómeros, que deben proceder de la racemización que tiene lugar durante la hidrólisis del nitrilo, del centro C (2).

Al poderse establecer por síntesis la estructura de estos esteres (XI;  $R=Me$ ,  $R'=CO_2 Me$ ), quedó establecida a su vez la del cetoácido (IX;  $R=R'=H$ ) y en consecuencia, la de la gibberona (VIII;  $R=H$ ). Se demuestra con ello que el puente metilen-carbonílico en el ácido gibbérico debe estar unido como en (VII) y solamente queda por probar la posición del grupo carboxilo.

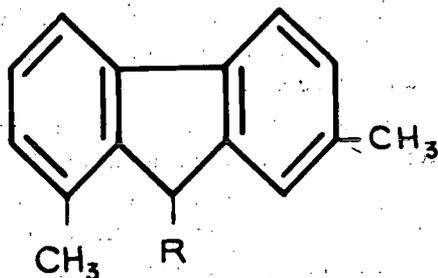
Se pensó, en un principio, que la localización del  $-COO H$ , en el ácido gibbérico, se podría llevar a cabo por transformación en grupo  $CH_2 OH$  que ya no se separaría tan fácilmente como el carboxilo. Sin embargo, todos los intentos llevados a cabo para reducir el  $-CO_2 H$  fueron inútiles.

Pero existe un método, que al mismo tiempo que elimina el puente metilen-carbonilo deja inalterado la agrupación  $COOH$ . La deshidrogenación del ácido gibberdiónico (XIII;  $R=CO_2 H$ ) con carbón-paladio 30 %, a  $220^\circ C$ , no suministra gibberdiona (ver pág. 30, obtención de gibberona), sino 1-7-dimetilfluoreno, en donde al mismo tiempo que se ha roto el puente metilen-carbonilo, se ha perdido el grupo carboxilo; bajo estas mismas condiciones, el gibberdionato de metilo (XIII;  $R=CO_2 CH_3$ ) conduce al ester metílico del ácido 1-7-dimetilfluoreno-carboxílico (XVIII;  $R=CO_2 CH_3$ ), en el cual el grupo ester no está en posición conjugada (en el espectro I. R. con tetracloruro de carbono aparece banda de  $C=O$  en  $1736\text{ cm}^{-1}$  y el espectro U. V. es similar al del 1-7-dimetilfluoreno) (II). Debe ser la posición 9 en donde se engarza el  $-COOH$ , ya que la hidrólisis alcalina del ester suministra, junto a una pequeña cantidad de 1-7-dimetilfluoreno, el ácido 1-7-dimetilfluoreno-carboxílico (XVIII;  $R=CO_2 H$ ).

Posteriormente se ha demostrado esta estructura por síntesis en el tratamiento del 9-litio-derivado del 1-7-dimetilfluoreno con  $CO_2$  sólido, el cual en la metilación con diazometano da un ester idéntico con el obtenido en la deshidrogenación del gibberdionato de metilo.

Todo ello establece la posición del sustituyente  $-COOH$  en el ácido gibbérico al cual por consiguiente debe corresponderle la estructura (VII).

*Constitución del ácido alo-gibbérico.*—Se trata de un hidroxiaácido no saturado de fórmula empírica  $C_{18}H_{20}O_3$ , que se obtiene del ácido gibberílico  $C_{19}H_{22}O_6$  en la hidrólisis suave con ácido mineral y que poste-



XVIII

riormente se isomeriza en condiciones más fuertes a ácido gibbérico, cuya estructura (VII) ya hemos demostrado anteriormente.

El alo-gibbérico (XIX) es un ácido monocarboxílico tetracíclico que contiene un OH alcohólico, un anillo bencénico y un enlace etilénico no conjugado con él (espectro U. V.). En la ozonolisis, tanto el ácido como su ester metílico suministran formaldehído y cetonas que contienen un átomo de carbono menos que los productos de que se partió; mientras que el ácido dihidrogibbérico (XX), en el mismo tratamiento se recupera inalterado. Esto demuestra la presencia en el ácido alo-gibbérico de un grupo terminal metileno, lo que se confirma por el espectro I. R. del alo-gibberato de metilo, en donde aparece la banda característica de  $=CH_2$  a los  $890\text{ cm}^{-1}$ .

El tratamiento de (XIX) con ozono da una mezcla de productos de entre los cuales pueden identificarse: un cetol monobásico (XXII) junto con un cetoácido bibásico (XXV), los cuales en la metilación directa, con diazometano, suministran los esteres metílico (XXIII, XXIV y XXVI).

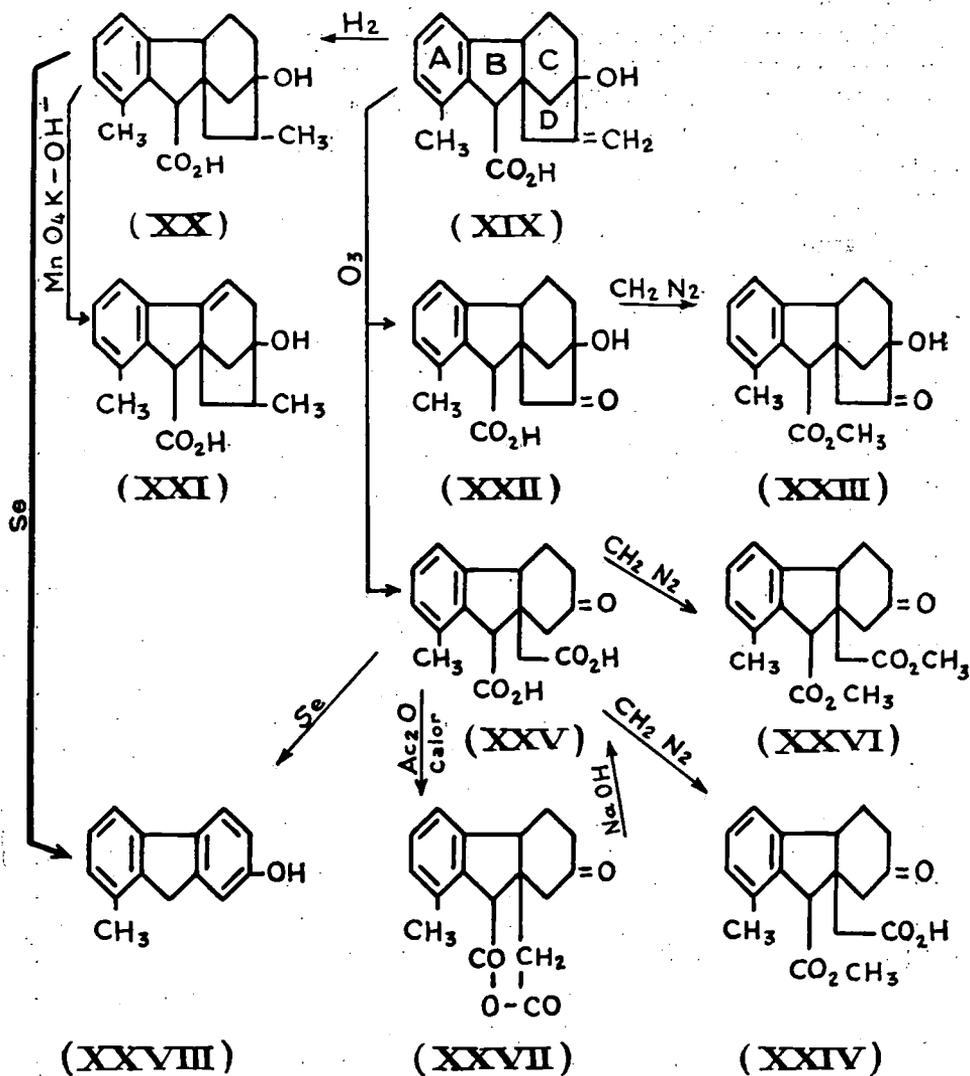
La hidrogenación de (XIX) conduce al ácido dihidro-alo-gibbérico (XX), que por posterior oxidación con permanganato potásico en medio alcalino, no se afecta el OH sino que da lugar a un dehidro-derivado (XXI), en donde se introduce un enlace etilénico conjugado con el benceno, en reacción similar a la oxidación de ácido gibbérico (VII) a dehidro-gibbérico (VIII;  $R=CO_2H$ ).

El cetoácido bibásico (XXV) puede suministrar, aún cuando con dificultad, un anhídrido de ácido (XXVII) del que puede separarse, por posterior hidrólisis suave, el ácido original.

La obtención y estudio de estos compuestos junto con el fluorenol (XXVIII) obtenido en la deshidrogenación del cetoácido (XXV) nos sumi-

LAS GIBBERELLINAS

nistran el material suficiente para fijar la estructura del ácido alo-gibberé-lico. En efecto:



Tanto el cetol (XXII) como su ester metílico (XXIII) tienen propiedades reductoras y se descomponen con bismutato sódico, por lo que deben ser

$\alpha$ -cetoles; pero además son estables frente al óxido de bismuto en acético, de donde se concluye que el OH debe ser terciario. (Refuerza esta idea su gran dificultad a acetilarse.)

El espectro I. R. de los cetoles, en solución, muestra una banda de alta frecuencia a  $1750\text{ cm}^{-1}$ , banda que no aparece en la 2-4-dinitrofenil hidrazona del cetol (XXIII), por lo que se ha asignado a un carbonilo de un anillo de cinco miembros saturados y la razón de la subida de la frecuencia (de 1745 en la gibberona a 1750) debe encontrarse en la presencia de un hidróxilo adyacente.

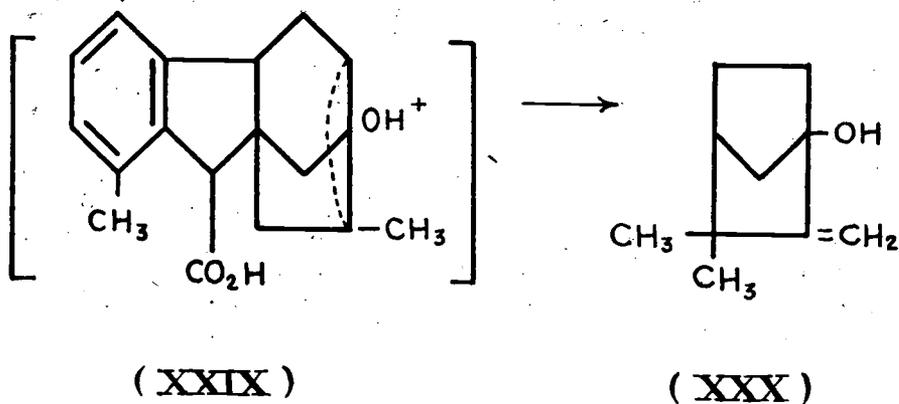
El grupo hidroxilo terciario debe estar situado en un anillo saturado de seis miembros, ya que el cetol (XXII) se oxida al cetoácido-bibásico (XXV) sin perder ningún átomo de carbono. Esto se confirma porque el espectro I. R. del ester dimetilico (XXVI) indica la existencia de un  $\text{C}=\text{O}$  en anillo saturado de seis miembros. (Las bandas se extienden de 1712 en la ciclohexanona a 1739 en el ester estudiado.)

La posición exacta del OH terciario se establece por deshidrogenación con selenio del ácido bibásico (XXV) y del ácido dihidro-alo-gibbérico y de aquí puede deducirse el punto de unión del anillo de cinco miembros en el esqueleto de exahidrofluoreno de los cetoles y del ácido alo-gibbérico. En efecto, mientras que tanto el ácido alo-gibbérico como el gibbérico suministran fundamentalmente 1-7-dimetil-fluoreno (gibbereno), el ácido dihidro-alo-gibbérico (XX) y el cetoácido (XXV) dan como componente principal un fluorenol, cuya estructura fue posteriormente puesta de manifiesto por síntesis, viéndose que correspondía a un 1-hidroxi-7-metil-fluoreno (XXVIII). En esta última deshidrogenación se eliminan todos los sustituyentes periféricos (los no pertenecientes al esqueleto) menos el grupo metilo unido al anillo aromático, de donde se infiere que el segundo punto de unión del anillo de cinco miembros en el cetol y en el ácido alo-gibbérico no puede ser más que, como se indica en (XXI) y (XIX) respectivamente. Por otra parte, el grupo carboxilo en el ácido alo-gibbérico (XIX) debe ocupar la misma posición que en el ácido gibbérico (VII), ya que el metil-alo-gibberato de metilo, cuando se hierve con HCl diluido se transforma en gibberato de metilo y como además el espectro I. R. de (XXVII) demuestra la existencia de anillo de 6 miembros, la única posibilidad de estructura para dicho anhídrido es la (XXVII).

Todos estos hechos establecen de una manera clara la estructura (XIX) del ácido alo-gibbérico. La isomerización de éste a gibbérico, ya hemos

LAS GIBBERELLINAS

dicho anteriormente, que puede explicarse por una transformación Wagner-Meerwein pasando por el catión intermedio (XXIX), de la misma forma que el l-hidroxicanfeno da alcanfor (XXX).

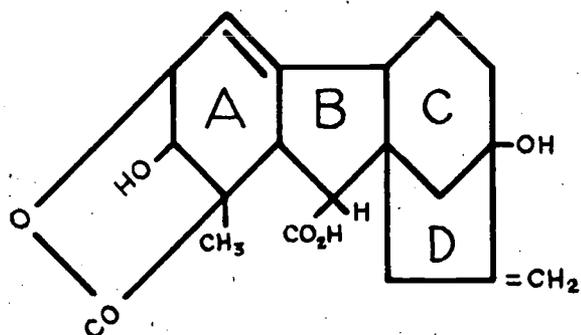


*Constitución del ácido gibberélico.*—Como hemos tenido ocasión de decir anteriormente, es un ácido dihidroxilactónico, tetracíclico de fórmula empírica C<sub>19</sub>H<sub>22</sub>O<sub>6</sub>, que tiene la misma estructura de anillos B, C y D que el ácido alo-gibbérico y que lleva sobre el anillo A: un grupo metilo, un anillo saturado de  $\gamma$ -lactona (espectro I. R.), un grupo hidroxilo secundario y un doble enlace.

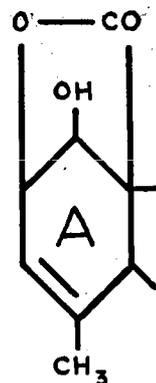
Estos hechos y los puestos de manifiesto con anterioridad, hacen pensar que la transformación del ácido gibberélico en alo-gibbérico tenga lugar, exclusivamente, por aromatización del anillo A, al que debe estar unido el anillo lactónico de 5 miembros, el OH secundario y un enlace etilénico.

Fundándose en lo hasta aquí expuesto un grupo de investigadores de la I. C. I. inglesa propusieron para el ácido gibberélico las estructuras (XXXI) a (XXXV).

Ahora bien, el anillo lactónico del ácido gibberélico se abre fácilmente, mediante una hidrólisis alcalina suave, para dar un ácido bibásico que por metilación suministra el correspondiente dimetilester C<sub>21</sub>H<sub>28</sub>O<sub>7</sub>. Este último compuesto tiene propiedades tanto de  $\alpha$ -glicol como las de las sustancias que contienen restos de alcohol alílico, ya que puede oxidarse tanto por peryodato, a un compuesto C<sub>21</sub>H<sub>26</sub>O<sub>7</sub>, como por bióxido de manga-



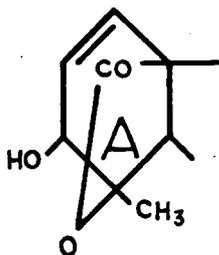
(XXXI)



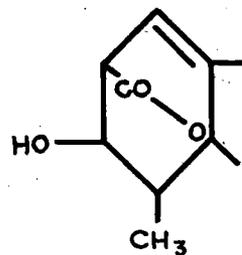
(XXXII)



(XXXIII)



(XXXIV)



(XXXV)

neso, a una cetona no saturada en  $\alpha$ - $\beta$ . Esta agrupación glicol no saturada solamente tiene cabida en el anillo A en una de estas dos estructuras (XXXI) y (XXXII), ya que el gibberelato de metilo es estable al peryodato y al bióxido de manganeso.

LAS GIBBERELLINAS

El espectro de resonancia magnética nuclear del gibberelato de metilo y sus derivados, sin embargo, está más de acuerdo con la fórmula (XXXI). Por otra parte, la deshidrogenación de un derivado del ácido gibberélico, en el que el grupo OH del anillo A se ha oxidado previamente a cetona, conduce a 2-hidroxi-1-7-dimetil-fluoreno idéntico a un modelo obtenido por síntesis, confirmándose así para el ácido gibberélico la estructura (XXXI).

Los investigadores japoneses no están de acuerdo con esta última fórmula, propuesta para el ácido gibberélico, al encontrar que los productos de reducción, con hidruro de aluminio y litio, de los esteres metílicos del ácido gibberélico y la gibberellina A<sub>1</sub>, no se oxidan con peryodato, deduciendo de ello que en estos productos no deben existir funciones vecinales con oxígeno en el anillo A. Pero Cross encuentra que el hidroxilo secundario del anillo A sufre, en medio alcalino, una rápida epimerización conduciendo a un isómero que encuentra su configuración más estable en la forma ecuatorial. Por abrirse el anillo lactona, del ácido gibberélico, con álcali diluido, tanto el producto formado como su dimetilester, serán 1-2-diol. Quizás lo que ocurra en la reducción, con hidruro de aluminio y litio, de los esteres metílicos del ácido gibberélico y gibberellina A, sea la formación de trans 1-2 dioles en la forma diaxial que son estables al peryodato. Cross encontró que la primera reducción da un éter cíclico C<sub>19</sub>H<sub>26</sub>O<sub>4</sub> y la última un compuesto C<sub>19</sub>H<sub>30</sub>O<sub>5</sub>, que posiblemente sea o un éter cíclico hidratado o un pentol. Tanto uno como otro son estables al peryodato. Se concluye, por consiguiente, que la (XXXI) es la estructura correspondiente al ácido gibberélico.

*Relaciones entre las gibberellinas y el ácido gibberélico.*—Ya hemos señalado, anteriormente, que el hongo *Gibberella fujikuroi* puede dar lugar a varios compuestos ácidos monobásicos, que determinan crecimiento en las plantas, y que han recibido los nombres de Gibberellina A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub> o ácido gibberélico. Estos tres compuestos se diferencian exclusivamente en su contenido en hidrógeno:

Acido gibberélico ... ..	C <sub>19</sub> H <sub>22</sub> O <sub>6</sub>
Gibberellina A <sub>1</sub> ... ..	C <sub>19</sub> H <sub>24</sub> O <sub>6</sub>
Gibberellina A <sub>2</sub> ... ..	C <sub>19</sub> H <sub>26</sub> O <sub>6</sub>

Como ya hemos demostrado que el ácido gibberélico contiene dos dobles enlaces, esto hizo suponer a los japoneses primero y a los investigadores de I. C. I., más tarde, que las gibberellinas  $A_1$  y  $A_2$  eran realmente hidroderivados del primero; la  $A_1$ , con un solo doble enlace y la  $A_2$  saturada, es decir, sin ninguno. Por lo que a la Gibberellina  $A_1$  se refiere, se ha confirmado plenamente este aserto, por los ingleses, al demostrar que por reducción catalítica con carbón-paladio, del gibberelato de metilo por absorción de 1 mol de H, obtienen una mezcla de dihidroesteres, uno de los cuales, el  $\alpha$ , fue idéntico al ester metílico de la gibberellina  $A_1$ .

La posición exacta del OH secundario del anillo A, en la gibberellina  $A_1$  y por tanto en su dehidroderivado el ácido gibberélico, la han fijado en la posición 2 un grupo de investigadores japoneses, al obtener, como producto final de una serie de reacciones (ozonolisis, reducción de Clemmensen, oxidación con óxido de cromo y deshidrogenación con selenio) el 1-metil-2-hidroxifluoreno.

Las relaciones entre la gibberellina  $A_2$  de una parte y la  $A_1$  y ácido gibberélico de otra, no se conocen con seguridad.

#### *Bibliografía*

- Brian y Grove: *Endeavour*, 16, 161 (1957).  
Brian, Grove, Hemming, Mulholland y Radley: *Plant Physiol.*, 33, 329 (1958).  
B. E. Cross: *J. Chem. Soc.*, 4670 (1954).  
B. E. Cross: *Chem. and Ind.*, 183 (1959).  
Cross, Grove, Mac Millan y Mulholland: *Chem. and Ind.*, 954 (1956).  
Cross, Grove, Mac Millan y Mulholland: *J. Chem. Soc.*, 2520 (1958).  
Grove, Jeffs y Mulholland: *J. Chem. Soc.*, 1236 (1958).  
A. W. Johnson: *Science Progress*, 46, 501 (1958).  
Morrison y Mulholland: *J. Chem. Soc.*, 2536 (1958).  
Mulholland: *J. Chem. Soc.*, 2693 (1958).  
Mulholland y Ward: *J. Chem. Soc.*, 4676 (1954).  
Mulholland y Ward: *J. Chem. Soc.*, 2415 (1956).  
Rigby: *J. Chem. Soc.*, 1907 (1950).  
Rigby: *J. Chem. Soc.*, 793 (1951).

#### IV.—*DETERMINACIONES ANALITICAS DE LAS GIBBERELLINAS*

Prácticamente los ensayos químicos de las gibberellinas, tanto cuali como cuantitativos, están en proceso de desarrollo y pueden dividirse:

- a) Método polarográfico para gibberellinas y derivados.
- b) Métodos cromatográficos de papel.
- c) Método fluorométrico, y
- d) Bioensayos.

De ellos, los dos primeros, que por su índole química debieran estar menos expuestos a errores, sin embargo, ninguno separa a las gibberellinas unas de otras y por otra parte, en el caso concreto de la cromatografía, no se ha encontrado todavía un reactivo satisfactorio para revelar las manchas, aun cuando suelen utilizarse los indicadores ácido-base.

El método fluorométrico, que en principio parece irreprochable; adolece, sin embargo, de falta de exactitud; ya que determina conjuntamente ácido gibberélico y gibberelénico, producto este último de escasa o nula actividad biológica. (Téngase en cuenta que el ácido gibberelénico acompaña siempre al gibberélico cristalizado en proporción no menor del 4 %; en concentraciones que suelen superar el 10 % en los caldos procedentes de fermentaciones comerciales y aún en proporción mayor en los líquidos madres que se obtienen durante la purificación del ácido gibberélico.) El procedimiento está fundado en la transformación del ácido gibberélico en fluorógeno por la acción del ácido sulfúrico 85 % y posteriores medidas fluorométricas.

En la actualidad quizás el único camino de determinación cuantitativa del ácido gibberélico y gibberellinas en general (por lo menos en cuanto a su acción fisiológica se refiere, que en definitiva es la que les da valor), sea por bioensayo.

El fundamento de este bioensayo se basa en la respuesta de crecimiento producida en plántulas de un determinado mutante de maíz enano ("do-

warf-1"), que se escogió precisamente por su especificidad y sensibilidad a las gibberellinas. Puede detectarse, bajo condiciones ideales, la respuesta al crecimiento que producen 0,0001 microgramos de ácido gibberélico.

*Bibliografía*

- Kavanagh y Kuzel: *Agric. and Food Chem.*, 6 459 (1958).  
Mitchell: *J. A. O. A. C.*, 41, 182 (1958).  
M. Radley: *Nature*, 178, 1070 (1956).  
Stowe y Yamaki: *Ann. Rev. of Plant Physiol.*, 8, 181 (1957).  
Ch. West: *J. Chem. Ed.*, 35, 42 (1958).  
West y Phinney: *Plant Physiol.*, 31, sup. XX (1956).

## V.—ACCIÓN FISIOLÓGICA DE LAS GIBBERELLINAS

La forma en que se aplican las gibberellinas a las plantas carece de importancia, toda vez que se obtienen reacciones idénticas: cuando se rocía con ellas el vástago en su totalidad, se aplican a cualquiera de las hojas en forma de microgota en agua o alcohol, o se tratan con ellas las raíces, bien poniendo las gibberellinas en el suelo o en la solución de cultivo.

Los efectos fisiológicos de las gibberellinas han de considerarse:

a) En plantas cuyo crecimiento vegetativo no exige condiciones específicas para su normal crecimiento y desarrollo.

b) En plantas cuyo desarrollo normal solo tiene lugar cuando se exponen a determinados estímulos y en condiciones apropiadas, durante su ciclo vital.

### EFFECTOS FISIOLÓGICOS DE LAS GIBBERELLINAS EN PLANTAS DEL TIPO a)

*Alargamiento del tallo, división celular e inversión del enanismo.*—Parece ser que el mayor alargamiento del tallo, en las plantas tratadas con gibberellinas, se debe casi exclusivamente al alargamiento de las células sin que existan claras pruebas de una mayor multiplicación celular, aun cuando algunos autores se inclinen a pensar que en ciertos casos pueda tener lugar un aumento de las mitosis.

El crecimiento de las variedades enanas de guisantes de huerta ("Pisum sativum"), se estimula grandemente con ácido gibberélico, llegando a aumentar la longitud de los pecíolos de las hojas y los internudos del tallo, en un 200 a 400 %, sin que el número total de éstos sufra variación alguna.

El guisante de olor ("Lathyrus odoratus"), sin embargo, se comporta frente al tratamiento con ácido gibberélico de una manera diferente, en ciertos aspectos. Es una especie extraordinariamente enana, con tendencia

al achaparramiento y con hojas menores que los guisantes trepadores más corrientes. En su primer crecimiento, cuando el eje principal alcanza unos 15 cm de altura, se interrumpe normalmente el desarrollo de este eje y algunas de las yemas laterales se convierten en ramas que pueden alcanzar la misma longitud que el eje principal, originándose de esta forma la tendencia a formar matas. En el tratamiento con ácido gibberélico, esta tendencia de la planta se altera hasta tal punto que el tratamiento de plántulas de 3 cm de altura originó, a las 3 semanas, plantas con 42 cm, mientras que los controles sin tratar tan solo tenían 7 cm. Pero al llegar a este punto las ramas laterales se desarrollaron rápidamente en las plantas no tratadas; y con menor rapidez en las tratadas. A las 7 semanas, las plantas no tratadas han desarrollado 6 ramas laterales, todas ellas de una longitud aproximadamente igual, y con igual número de internudos que el eje principal, mientras que el crecimiento de las plantas tratadas había tenido lugar fundamentalmente en el eje central o principal, que era unas 10 veces más alto que el de las plantas sin tratar. El número total de los internudos formados no varía.

Es cierto que la mayor parte de las plantas tratadas con gibberellinas responden con diferente intensidad en el sentido de aumentar el crecimiento de los vástagos; sin embargo, se ha comprobado que la respuesta de las plantas enanas es superior a la de las normales. Estas plantas enanas, genética y fisiológicamente, pierden su hábito de enanismo y se muestran como plantas normales. La inversión del hábito del enanismo es solo fenotípica, ya que las semillas de las plantas tratadas germinan normalmente y se mantienen enanas. Se supone que el enanismo es debido a que, en las mutaciones genéticas correspondientes, falta la producción de alguna hormona de la planta, que es la promotora del crecimiento normal. Con las gibberellinas desaparece el enanismo porque éstas suplen a la mencionada hormona.

En plantas de porte normal y como resultado de la aplicación de gibberellina se ha conseguido también el crecimiento en longitud del tallo. Los primeros investigadores japoneses señalan este crecimiento en cebada, trigo sarraceno, pepino y arroz.

En otras plantas como tomates, trigo, lechuga y repollos, se obtiene idéntica respuesta, con aumento de la longitud del tallo que, en algunas ocasiones, llega hasta un 50%.

Otro hecho puesto de manifiesto, por lo que a crecimiento del tallo

se refiere, es que para obtener una respuesta similar es necesario la aplicación de dosis más elevadas a las plantas adultas que a las jóvenes.

*Crecimiento de la raíz.*—Aun cuando en la planta de arroz, afectada por la enfermedad "Bakanae", se aumenta la formación de raíces adventicias, en ninguna circunstancia conocida se estimula por las gibberellinas el crecimiento, peso y número de las raíces normales; es más, las concentraciones de gibberellinas relativamente altas pueden inhibir ligeramente el crecimiento de la raíz. Este hecho, tan sorprendente, induce a pensar que, contrariamente a lo hasta aquí supuesto, la regulación del crecimiento del vástago y de las raíces es completamente diferente en algunos aspectos. No se conoce más que una excepción, la judía Azuki, en la que sí tiene lugar el crecimiento de la raíz.

El efecto más característico de la aplicación de las gibberellinas, cuando se estimula el crecimiento del tallo e inhibe el de la raíz, es que causa un marcado cambio en la relación de peso de tallo a peso de raíz, lo que se pone de manifiesto en las plantas de arroz enfermas de "Bakanae". Esto puede indicar una nueva redistribución del material de la planta entre la raíz y el tallo.

*Aumento de la superficie de la hoja.*—Está fuera de toda duda que las hojas de las plantas de arroz, que han contraído la enfermedad "Bakanae", aumentan su área total y este mismo efecto puede conseguirse en plantas sanas al tratarlas con gibberellinas, aun cuando no es tan claro en el caso de otras plantas como el de una variedad de tomate y tres de pepinos, sujetas a experiencia, en donde se inhibe el aumento de superficie de la hoja.

En el tratamiento con gibberellinas se aumenta también el número de hojas como se ha puesto de manifiesto en experiencias realizadas sobre pepino, tabaco y té, así como el de los frondes en las arquegoniadas y sin que exista alteración en la calidad, por lo que a las hojas del té se refiere, y sí una disminución de nicotina en la hoja, por lo que respecta al tabaco.

*Acción sobre el letargo apical.*—Ya hemos visto anteriormente que las gibberellinas refuerzan la dominancia del crecimiento de las yemas apicales sobre el de las laterales en matas de plantas enanas, pudiendo vitalizar el crecimiento, en mayor proporción, en el sentido del eje principal del

tallo. Se conoce, sin embargo, el caso de rosas que normalmente tienen un único pedúnculo, y que después del tratamiento con gibberellinas aparece un gran número de ellos.

*Inducción a la floración.*—En las primeras descripciones de la enfermedad "Bakanae" del arroz, se señaló que las plantas infectadas, que llegaban a alcanzar la edad adulta, florecían y fructificaban mucho antes que las sanas. Sin embargo, los japoneses no hicieron ningún estudio completo de la acción de la gibberellinas sobre la floración, ya que los únicos tests conocidos son los llevados a cabo por un grupo de la Universidad de Tokio sobre inflorescencias de tabaco, encontrando un crecimiento más rápido en su longitud, pero no se preocuparon para nada del aumento o disminución del número de flores o frutos.

Son muchas las experiencias realizadas con gibberellinas en donde se ha confirmado una marcada acción de ellas sobre la floración. De entre estas experiencias pueden citarse, como más representativas, las llevadas a cabo sobre variedades tempranas de habas, tomates y lechugas; sin embargo, se pudo constatar también que en las variedades medias o tardías el tratamiento con gibberellinas no hace variar el período de floración de una manera significativa.

*Acción sobre la fructificación.*—La pulverización del fruto en desarrollo, con soluciones de gibberellinas, no produce incremento alguno en el tamaño; pero el tratamiento de la planta, concretamente en la lechuga, acelera la aparición de las semillas hasta en 31 días antes que en los controles. La repetida pulverización de las flores con gibberellinas produce en el tomate un incremento en el número normal de frutos partenocárpicos en los que se ha visto que contienen, en la mayoría de las veces, un número menor de semillas.

*Efecto de las gibberellinas sobre la absorción del agua y respiración de las plantas.*—Se ha encontrado que las gibberellinas producen un incremento en la absorción de agua por el tallo del guisante. La extensión de este incremento parece depender del pH, presentando su máximo a pH = 7, en el cual el incremento de absorción de agua aumenta sobre el control en un 60 %.

La respiración, teniendo como control la absorción del oxígeno, también se incrementa como resultado del tratamiento con gibberellinas. En las

hojas y tallos de las plantas de judías jóvenes tratadas con 10 microgramos de ácido gibberélico, se incrementa la actividad fosfatásica, y por el contrario disminuye la actividad  $\beta$  amilásica. En las raíces el proceso fue inverso, una disminución de la actividad fosfatásica al mismo tiempo que un aumento de la  $\beta$  amilásica.

EFFECTOS FISIOLÓGICOS DE LAS GIBBERELLINAS EN PLANTAS DEL TIPO b)

*Acción de las gibberellinas sobre plantas bienales.*—Existen gran número de plantas, que pueden describirse como “bienales que necesitan frío”, entre las que se incluyen varias de utilización doméstica, como algunas especies de col, zanahoria, nabos y remolacha azucarera. Al comenzar la temporada de crecimiento, en su “habitat” natural, estas plantas forman una roseta de hojas en su base y el tallo axial crece muy poco. Al segundo año de crecimiento, se desarrolla un tallo alargado del que nacen las flores. A menos que se expongan previamente las plantas durante un corto período a una baja temperatura, que puede variar de especie a especie, no se producen tallos ni flores. Este estímulo es normalmente una consecuencia de las condiciones invernales; pero si se aplican de modo artificial, aparece inmediatamente el tallo axial, aún en el primer año de crecimiento. El crecimiento del tallo y la producción de flores está condicionado a menudo, por la duración del día.

El beleño común (“*Hyoscyamus niger*”), es una planta bienal y como tal tiene forma de roseta al final de la primera estación de crecimiento; y para que tenga lugar el desarrollo de un tallo con flores, en la estación secundaria, se requiere frío y precisa de días largos.

*Crecimiento del tallo.*—Sin embargo, se ha encontrado que para el crecimiento de los tallos pueden eliminarse ambas condiciones por tratamiento de las plantas con gibberellinas. Con todo, el efecto de éstas era más marcado en las plantas que se exponían a una larga iluminación solar, que en las que sufrían la iluminación de días cortos. En estas las dosis de 60 microgramos apenas producían efecto; pero estimulaban claramente la extensión del tallo en las plantas bajo el sistema de días largos. Dosis mayores estimulaban la elongación del tallo aún en las plantas que crecían con iluminación de días cortos. Así que dosis relativamente pequeñas de gibbe-

rellinas parecen reemplazar por completo el estímulo de las temperaturas bajas; pero se requieren dosis mucho mayores para reemplazar las exigencias de larga iluminación para producir la extensión normal del tallo. A los mismos resultados se ha llegado con determinadas variedades de zanahoria, perejil, nabo y centeno de invierno.

*Floración.*—Por otra parte, estas plantas tratadas con gibberellinas en días largos florecían normalmente; las que crecían en días cortos no llegaban a florecer a pesar de la producción del tallo. De manera que entre las condiciones normalmente necesarias para la inducción de la flor, las gibberellinas reemplazan el tratamiento en frío.

Con respecto a la sustitución del día largo, requerido para la floración, se ha encontrado en el "*Samolus parviflorus*" que aplicaciones de gibberellinas llevan consigo rápidas respuestas por lo que se refiere a la floración, siendo el efecto igual que el que aparece después de la exposición a los días largos. Lo mismo ocurre en el "*Bryophyllum*" y la "*Lapsana*", en las cuales las gibberellinas pueden sustituir el requerimiento fotoperiódico necesario para la floración.

*Cese del letargo de semillas y tubérculos.*—Las gibberellinas provocan la floración de tubérculos inactivos de la patata y la germinación de las semillas inactivas de la lechuga, que normalmente no germinan si no se las expone a la luz roja.

*Las gibberellinas como sustituyentes del requerimiento fotoperiódico de las plantas.*—El efecto de las gibberelinas sobre determinadas plantas leñosas, que no parecen necesitar de bajas temperaturas, pero que sí requieren de días largos para continuar su crecimiento vegetativo, es bastante marcado, sobre todo, por lo que se refiere a la "*Camellia japónica*" (var. Finlandia), ya que plantas con 22 años tratadas con ácido gibberélico continuaron su crecimiento mucho más rápidamente que los correspondientes controles sujetos a las mismas condiciones de fotoperiodismo y temperatura. Sin embargo, todas las plantas sometidas a días largos "movieron" cuatro o seis semanas antes que las expuestas a días cortos y alta temperatura. Las plantas tratadas con ácido gibberélico y expuestas a días cortos y baja temperatura, también "movieron", mientras que los controles bajo estas condiciones, de longitud del día y temperatura, permanecían en estado latente.

## LAS GIBBERELINAS

Por otra parte, esta acción de las gibberelinas como sustituyentes de la necesidad del requerimiento fotoperiódico, se ha puesto de manifiesto en un gran número de plantas, entre las que merecen destacarse el haya, que permanece en estado latente bajo condiciones de días cortos y que puede reanudar su crecimiento por tratamiento con ácido gibberélico.

*Eliminación, por las gibberelinas, de la inhibición del crecimiento inducido por la luz.*—La exposición a la luz roja de las plántulas de guisantes de Alaska (var. gigante) inhibe el crecimiento de las mismas. Sin embargo, el tratamiento con ácido gibberélico elimina esta inhibición, hasta el punto que el crecimiento se hace igual que el de las plantas que crecen en la oscuridad.

\* \* \*

Además de las acciones señaladas las gibberelinas parecen influir en muchos procesos fisiológicos, pero hasta el presente las experiencias llevadas a cabo no son suficientes para poder asegurar que algunos de estos efectos sean generales o si constituyen meras anomalías individuales.

### *Bibliografía*

- P. W. Brian: Chem. and Ind., 183 (1959).
- Brian y Grove: Endeavour, 16, 161 (1957).
- Brian, Grove y otros: Plant Physiol., 33, 329 (1958).
- Paleg y Aspinall: Nature, 181, 1743 (1958).
- J. M. Merritt: Agric. and Food Chem., 6, 184 (1958).
- Stiles: Science Progress, 46, 322 (1958).
- Stowe y Yamaki: Ann. Rev. Plant Physiol., 8, 181 (1957).
- Ch. West: J. Chem. Ed., 35, 42 (1958).
- Agric. and Food Chem., 5, 723 (1957).
- Agric. and Food Chem., 4, 907 (1956).

## VI.—COMPARACIÓN DE LAS ACCIONES FISIOLÓGICAS DE LAS AUXINAS Y GIBBERÉLINAS

Aunque las gibberellinas promueven la elongación de la célula, como las auxinas, sin embargo parece que difieren de ellas. Al objeto de comprobarlo se han comparado, en un determinado número de procesos, los efectos producidos por el ácido indol-acético y el ácido gibberélico. Las dos sustancias incrementan la extensión del crecimiento de las secciones del coleoptilo del trigo y secciones del tallo del guisante; pero mientras que la extensión producida por el ácido gibberélico es independiente de la concentración, cuando se emplea el ácido indolacético ocurre que a medida que aumenta la concentración se produce un incremento en la extensión y además esta extensión es superior a la producida por el ácido gibberélico.

Otra diferencia observada entre estas dos sustancias es la relativa al efecto de absorción de agua a través del tejido del tubérculo de patata. Esta absorción se acentúa con la auxina, pero no cuando se emplean gibberellinas.

La acción de la auxina y el ácido gibberélico sobre el crecimiento de las raíces del berro, el corte de los pecíolos del "Coleus", la aparición de brotes laterales después de la aplicación de la sustancia al extremo del tallo decapitado y el efecto estimulante sobre la aparición de la raíz, muestra otra diferencia entre los compuestos que nos ocupan, ya que las gibberellinas no inhiben el crecimiento de las raíces del berro ni retardan el corte de los pecíolos del "Coleus", estimulan más bien que inhiben la formación de brotes laterales e inhiben mejor que estimulan la aparición de las raíces. Además su acción sobre el crecimiento de las hojas o el enanismo, no guarda paralelismo con la de las auxinas y son más potentes que ellas en la inducción a la partenocarpia.

Aun cuando a primera vista estas acciones de las auxinas y gibberellinas parecen ser distintas completamente, sin embargo, se ha demostrado que

## LAS GIBBERELLINAS

puede existir una correlación entre ambas, por lo que se refiere a su modo de acción sobre las plantas. En efecto, la extensión de las secciones del coleoptilo del trigo y tallo del guisante, provocado por la acción del ácido gibberélico, es bastante débil si se compara con la que tiene lugar por la acción del ácido indolacético; pero en el caso del guisante enano "Meteor" se ha comprobado que cuando las secciones del tallo se someten a la acción del ácido indolacético a una concentración tal (10 microgramos por c. c.) que produzca el máximo de extensión, éste se incrementaba siempre por posterior tratamiento de la planta con ácido gibberélico. Concentraciones de ácido gibberélico de 0,01 microgramo por c. c., ya producen una pequeña extensión que se aumenta, próximamente al máximo obtenido anteriormente en el tratamiento mixto, al llegar a concentraciones de 0.1 microgramos/c. c.

Estas observaciones hicieron pensar en la existencia de algunas interdependencias o sinergismo entre las acciones producidas por las auxinas y las gibberellinas, aun cuando sus efectos individuales sean independientes. Sin embargo, deben señalarse sensibles diferencias y quizás la más marcada entre auxinas y gibberellinas sea la evidente indiferencia a la luz en la acción de las gibberellinas.

### *Bibliografía*

- Brian y Growe: *Endeavour*, 16, 161 (1957).  
W. Stiles: *Science Progress*, 46, 322 (1958).  
Stowe y Yamaki: *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 8, 181 (1957).  
*Agríc. and Food Chem.*, 4, 907 (1956).

## VII.—OCURRENCIA NATURAL DE LAS GIBBERELLINAS COMO HORMONAS EN LAS PLANTAS

Las acciones fisiológicas de las gibberellinas señaladas hasta aquí, y que tienen lugar sobre las plantas, no constituyen procesos fisiológicos relacionados entre sí de manera clara, pero sí que puede asegurarse que, en algunas especies de plantas, las gibberellinas son estimulantes de todos ellos. Es curioso que productos metabólicos de un hongo intervengan de una manera tan decisiva en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Tampoco deja de ser chocante que ninguno de sus efectos constituyan anomalías, ya que pueden inducirse, la mayoría de ellos, por condiciones apropiadas de luz y temperatura en el ambiente de la planta.

Que las gibberellinas deben corresponder en su acción a compuestos de ocurrencia natural en las plantas, puede demostrarse:

a) *Por pruebas bioquímicas.*—Existe evidencia directa de la existencia en las plantas de sustancias similares a las gibberellinas, al demostrarse que los extractos etéreos de semillas de habas enanas sin madurar contenían sustancia o sustancias capaces de estimular en las plántulas de habas enanas el crecimiento de los internudos, aumento en la velocidad de expansión de la hoja y el tamaño final de ella, causar una floración temprana, actuar mejor sobre plantas jóvenes, etc., efectos todos que superan con mucho el que seguiría al tratamiento con auxina. Significativamente, las semillas de habas enanas solamente producen estas sustancias durante muy pocos días, obteniéndose el máximo rendimiento en ellas unos 7 días después de la polinización.

Posteriormente se han obtenido extractos etéreos de material activo, capaz de promover el crecimiento de mutantes de maíz enano, guisante enano y otras muchas plantas. El extracto más activo resultó ser el de semilla de *Elaterio* ("Cucumber wild"). Por todo lo antedicho puede suponerse que, por lo menos en las plantas mencionadas, tiene lugar la produc-

ción de gibberellinas. En apoyo de ello pueden servir las experiencias realizadas sobre plántulas de guisantes a las que se aplicaban gibberellinas en el extremo de la plántula decapitada, lo que provoca una respuesta al crecimiento que es aproximadamente la misma que el de los controles intactos.

Substancias similares, con facultad de promover crecimiento en las plantas, también se han hallado en los tallos de guisantes enanos y gigantes. No se sabe todavía si existen más en el vástago del segundo que en el del primero, pero si así se confirmara se corroboraría fuertemente la interpretación del enanismo como incapacidad para sintetizar suficientemente una hormona tipo ácido gibberélico.

b) *Por pruebas genéticas.*—El “*Lathyrus odoratus*” es una especie enana que proviene originariamente de un guisante de olor de la especie normal trepadora, por mutación recesiva de un solo gene. Tiene hojas menores, internudos más cortos y mayor tendencia a la ramificación que la especie trepadora. El tratamiento con gibberellinas altera la forma del crecimiento de manera que se aproxima a la del trepador; pero no influye en modo alguno en éste. Las variedades enanas de guisante de huerta muestran las mismas tendencias que los guisantes gigantes al tratarlos con gibberellinas; pero a los gigantes les afecta poco el tratamiento. En este caso nos encontramos también con que la planta enana es recesiva de la gigante, diferenciándose en un solo gene. Algunas mutaciones enanas del maíz, recesivas por un solo gene, adquieren las tendencias normales de la especie gigante después de haberlas tratado con gibberellinas, sin que las especies gigantes sean afectadas. En todos estos casos (y podrían citarse algunos más), la variedad enana recesiva tiende a alcanzar el tamaño de las variedades gigantes, de las que provenían originariamente por mutación, al tratarla con gibberellinas. Tales ejemplos son perfectamente conocidos en la genética microbiana. Así, las esporas del moho *Neurospora*, en un simple medio de glucosa y sales, al ser tratadas con rayos X originan algunas colonias mutantes que ya no crecen normalmente en un medio de glucosa y sales, sino que necesitan además aneurina (vitamina B<sub>1</sub>). Tales estirpes, son recesivas al tipo primitivo, diferenciándose de él en un solo gene. Bioquímicamente, se diferencian del tipo primitivo en que, al contrario de éste, son incapaces de sintetizar la aneurina en cantidad suficiente para mantener un crecimiento normal. Por analogía puede explicarse de modo ra-

zponible la reacción diferencial que presenta las variedades enanas y gigantes de las plantas ante las gibberellinas, aceptando que las enanas han perdido el poder de sintetizar alguna sustancia de carácter hormonal, que puede ser reemplazada por las gibberellinas.

*Bibliografía*

- Brian y Grove: Endeavour, 16, 161 (1957).  
W. Stiles: Science Progress, 46, 322 (1958).  
West, Ch.: J. Chem. Ed., 35, 42 (1958).  
Agric. and Food Chem., 4, 907 (1956).

### VIII.—TOXICIDAD DE LAS GIBBERELLINAS

Hasta el momento no puede asegurarse que las gibberellinas produzcan reacciones patológicas desfavorables en los animales.

La dosis LD<sub>50</sub> por vía oral en ratones alcanza la cifra de 25 gr/Kg. La intravenosa está alrededor de los 6,3 gr/Kg. Los ensayos con ratas albinas han demostrado que las fallecidas con el tratamiento presentan signos histomorfológicos de toxicidad.

En la actualidad se ensaya la toxicidad crónica. En ensayos previos realizados por Merk se ha puesto de manifiesto que una dieta durante 5 semanas que contenga 5% de ácido gibbélico, suministrada a ratas, no modifica ni el consumo de alimentos ni el peso de los animales; tampoco tiene lugar cambio alguno hematológico ni histomorfológico.

#### *Bibliografía*

- Brian y Grove: Chem. and Ind., 183 (1959).  
Agric. and Food Chem., 5 723 (1957).

## IX.—APLICACIONES DE LAS GIBBERELLINAS EN PRODUCCIONES AGRICOLAS ESPECIFICAS

*Pastos.*—La aplicación de 8 a 25 gr de gibberellina por Ha, en tiempo oportuno, interrumpe el letargo del “Bermuda grass”, “Blue grass” y otros varios tipos de hierba forrajera. Este efecto es de gran utilidad ya que acelera el activo crecimiento en la primavera y vence el letargo invernal. La utilización ideal sería la aplicación conjunta del fertilizante con la cantidad suficiente de gibberellinas, consiguiéndose así, al mismo tiempo que el cese del letargo, un rápido y vigoroso crecimiento del pasto.

La pulverización con gibberellinas de los rastrojos de alfalfa lleva consigo también un rápido crecimiento.

*Flores de cultivo.*—El ácido gibberélico da buenos resultados en la aceleración de la floración de plantas cuyas flores tienen aplicación comercial, entre las que puede citarse: petunias, pensamientos, digital, campanillas de Canterbury, margaritas, violetas de África, etc. El tratamiento comprende repetidas pulverizaciones a intervalos semanales con líquidos de concentraciones de gibberellinas que varían de 10 a 100 p. p. m. y durante los meses de primavera y verano.

*Uvas.*—Uno de los efectos más marcados de las gibberellinas es aumentar el tamaño de las uvas sin semillas y el número de granos en cada racimo, al mismo tiempo que tiene lugar un alargamiento de este último (el efecto se conseguía anteriormente por el proceso “Girdling”, tarea manual costosísima, que lleva consigo el recortar la corteza de la vid). Estos efectos tienen lugar con pequeñas aplicaciones durante, o poco después, del período de floración:

Para el caso de la variedad “Thompson” sin semillas, se suelen utilizar de 2 a 4 gr y para las “Black Corinth” de 1 a 2 gr por 100 litros de agua.

Señalemos el hecho curioso de que en general las uvas tratadas se de-

fienden mucho mejor de las enfermedades e insectos, así como que las uvas de variedad "Concord" responden al tratamiento con un aumento de rendimiento.

*Piña americana.*—En Puerto Rico se han utilizado las gibberellinas en experiencias que pretendían acelerar y reforzar el cultivo de la piña. Para ello los tallos jóvenes se desfolian, se cortan en secciones longitudinales de una cuarta parte, se tratan con gibberellinas y se plantan, consiguiéndose así aumentar el poder de desarrollo de estas secciones cuarteadas. También se aplican las gibberellinas para acelerar el crecimiento de las plantas jóvenes que se forman de estos retoños. Las soluciones de gibberellinas utilizadas en estos tratamientos contienen de 10 a 300 p. p. m.

*Caña de azúcar.*—Responde con un alargamiento del tallo al tratamiento de gibberellinas, como lo han puesto de manifiesto experiencias realizadas en los Estados Unidos. Otra acción de las gibberellinas sobre la caña de azúcar es una maduración más temprana. No conocemos datos sobre aceleración de la floración, rendimiento en azúcar, etc., aun cuando nos consta que se realizan pruebas en este sentido. Las proporciones en que se utilizan las gibberellinas en solución varían entre 10 y 100 p. p. m.

*Tabaco.*—Los trabajos japoneses sobre este cultivo, indican que en muchas variantes se incrementa el rendimiento de las hojas con la inyección, en el tallo de las plántulas, de dos mgr de ácido gibberélico disueltos en 0,2 c. c. de agua, aumentándose considerablemente la altura de la planta. Aun cuando las experiencias continúan, se sugiere, a la vista de los resultados obtenidos hasta el momento presente, el siguiente tratamiento:

a) Sumergir la semilla en una solución acuosa de ácido gibberélico de una concentración que puede variar de 10 a 500 p. p. m. durante 6 a 24 horas.

b) Tratar los tallos jóvenes, después del trasplante, con cantidades de ácido gibberélico que pueden variar de 1 a 1000 microgramos por planta disueltos en un volumen de agua de 2 a 5 c. c. y que se aplica en forma de dispersión.

c) Tratar las plantas cuando tienen de 1 a 2 semanas.

*Patatas.*—Las gibberellinas avivan la germinación de las semillas de patata resultando con ello una salida más uniforme y un aumento en el rendimiento que muy bien puede evaluarse en un 30 %. Este efecto es particularmente útil durante el tiempo frío y húmedo, que frecuentemente interfiere con la germinación y salida del tallo.

Se recomienda a los cultivadores plantar en un tiempo en que no se prevean heladas y después aplicar las gibberellinas para obtener un pronto crecimiento.

La aplicación de las gibberellinas puede realizarse junto con la práctica corriente de sumergir las patatas en disoluciones apropiadas para evitar enfermedades antes de la plantación o mediante inmersión aparte. Un gramo de gibberelato potásico técnico es suficiente para el tratamiento de unas 10 Tm de patatas. No existen problemas de residuos, ya que la cantidad utilizada es muy pequeña y no persiste en la planta.

*Tomates en Texas.*—Los rayos ultravioletas del sol, característicos de los días claros de verano, inhiben muchas veces el crecimiento de los tomates en Texas. Se forman los frutos, pero no llegan a adquirir su tamaño normal. Mediante pulverizaciones semanales con soluciones de gibberellinas, en proporción de 10 gr por Ha., el fruto llega a alcanzar el tamaño comercial. Todavía se consiguen mejores resultados con aplicaciones de soluciones de gibberellinas que contengan una pequeña cantidad de ácido p-cloro-fenoxiacético.

*Apio en los Estados Unidos.*—Las gibberellinas aplicadas en los Estados del Norte tres semanas antes de la recolección, en la proporción de 7,5 gr por Ha., producen del 10 al 12 % más de canastas de apios por Ha. sin menoscabo en la calidad, de esta mayor producción. Sin embargo, cuando se aplican en las áreas de crecimiento del Sur el efecto producido es exclusivamente una planta más alta. Otro de los efectos de las gibberellinas sobre los apios es acelerar la maduración, con lo que se consiguen cosechas precoces.

*Espinacas en tiempo frío.*—Las plantas de espinaca responden al tratamiento con gibberellinas con una gran rapidez de crecimiento después de los cortes iniciales. Parece como si se liberara a las plantas de los efectos inhibidores de crecimiento debido al tiempo adverso. El tratamiento en la

proporción de 15 gr por Ha. permite a los cultivadores varios cortes de la planta.

*Algodón.*—Las investigaciones llevadas a cabo, sobre esta planta, demuestran que la mayor rapidez que se produce en la germinación de las semillas de algodón, tratadas con gibberellinas, se debe en realidad a un desarrollo más rápido del embrión, mostrando todas las variedades el mismo tipo de respuesta. El efecto es más acusado cuando las plantaciones, en época temprana, encuentran un tiempo frío y húmedo; en estas condiciones el tratamiento con gibberellinas reduce los daños de las plántulas. La cantidad de 2 a 4 gr de gibberellina por 100 Kg de semillas, permite un mayor rendimiento de las semillas utilizadas.

Otro de los beneficios que se consiguen con la gibberellina es que al crecer los tallos de la planta de algodón más rápidamente, durante las primeras semanas, facilita el trabajo de la tierra, obteniendo con ello un mejor acceso de la humedad y los fertilizantes a la planta.

Por lo que a rendimiento se refiere, las investigaciones realizadas demuestran que las variedades Acala 4-42, Paymaster Stormrider y Deltapine-15, producen más cápsulas e incluso nuevos copos después del corte normal, cuando se aplican las gibberellinas en la proporción de 2,5 a 15 gr por Ha. Otro efecto general de tales aplicaciones es el incremento en el grueso y longitud de la fibra, pudiendo esta última llegar a incrementarse de 0,1 a 0,6 cm.

*Otras plantas productoras de fibras.*—Tales como el lino, cáñamo y yute, han sido objeto de experiencias con gibberellinas, siendo las pruebas realizadas del tipo siguiente:

- a) La semilla se sumerge en solución acuosa de gibberellina a concentración de 1 a 500 p. p. m. durante 6 a 24 horas.
- b) Los retoños jóvenes se rocían con soluciones acuosas que contienen de 10 a 500 p. p. m.
- c) Tratamiento de las plantas, a la edad de 2 a 3 meses, con soluciones acuosas de la misma concentración que con el apartado b).

*Soja.*—El tratamiento de las semillas de soja, con las gibberellinas, se

traduce en una más rápida germinación, lo que ayuda en gran manera al agricultor al facilitar la extirpación de las malas hierbas. Por otro lado, la planta obtenida resulta con un tallo más largo, lo que da lugar a un mayor rendimiento al disminuir las pérdidas en la recolección.

*Guisantes y judías.*—Las semillas de estas plantas germinan tres veces más rápidamente cuando se tratan con 0,50 a 1,50 gr de gibberellinas en solución acuosa por 100 Kg de semillas. El tratamiento debe hacerse en tiempo frío. El crecimiento de la plántula es mucho más rápido y algunas experiencias han demostrado que se mejoran tanto el rendimiento como la calidad.

*Caucho.*—No están completos todavía los trabajos experimentales sobre la acción de las gibberellinas en el caucho, pero se sabe lo suficiente para poder asegurar que el ácido gibberélico tiene acción sobre los retoños jóvenes para aumentar la producción del látex.

*Cebada.*—En 1940 demostraron los japoneses que en los caldos de cultivo del "G. fujikuroi" existía una sustancia que utilizada durante la germinación de la cebada (en forma de concentrado de los caldos), aumentaba la actividad amilásica durante la formación de la malta. Todavía se obtuvieron mejores resultados por la I. C. I. al utilizar ácido gibberélico puro.

La A. B. Stockholms Brygerier describe un nuevo proceso de germinación de cebada en el que se utiliza ácido gibberélico, disuelto en el agua empleada, dando como resultado una germinación más rápida y malta con más extracto y mayor actividad diastásica, proteolítica y celulolítica. La turbidez de la cerveza nueva, preparada a partir de esta malta, es mucho más fija que la corriente. La cantidad de ácido gibberélico óptima resultó ser de 2-3 mgr/Kg de cebada.

*Agrios.*—a) *Clementinas.*—Sabida es la autoincompatibilidad o incapacidad del polen de las Clementinas para fecundar los ovarios, lo que quizás sea el motivo de las irregularidades que se observan en el cuajado del fruto. Para corregirlas se han ensayado, sin éxito, reguladores de crecimiento (2,4-D y NAA); sin embargo, las nuevas experiencias llevadas a cabo con gibberellinas son bastante prometedoras e indican una posibilidad de mejorar la fructificación sin que resulten afectadas las buenas características del fruto.

b) *Limás*.—Las experiencias realizadas sobre estos frutos demostraron que los tratamientos con soluciones alcohólicas de concentraciones que variaban de 100 a 1.000 p. p. m. impedían, o por lo menos reducían significativamente, la caída del fruto sin afectar la calidad, tamaño y composición del jugo.

c) *Limonos*.—El tratamiento en California de las flores de limonero con soluciones alcohólicas de concentración 1.000 p. p. m., dio por resultado un mejor cuajado del fruto, ya que el número de los que se obtuvo de las flores tratadas fue indudablemente mayor que en las no tratadas.

d) *Naranja Navel*.—Las irregularidades observadas en el cuajado del fruto de la variedad "Washington Navel", en California, hizo que se ensayara la aplicación de sustancias reguladoras de crecimiento para mejorar este cuajado, sin que se obtuvieran resultados favorables.

En 1957 se comenzó a experimentar con gibberellinas, por aplicaciones con soluciones acuosas de sal potásica de ácido gibberélico, a concentraciones de 1.000 p. p. m., y por pulverización de las flores. Se hicieron tres tratamientos, el primero de los cuales tuvo lugar en el período final de floración (3 de mayo), con un volumen de líquido de aproximadamente unos 3'5 litros por árbol.

En la recolección (10 de diciembre) se observó que el número de frutos por rama, de los sometidos al tratamiento, fue prácticamente el doble que en la de los testigos, no encontrando diferencia en cuanto a tamaño de fruto, cantidad y calidad del jugo, etcétera.

*Posible aplicación a la "Sanguina" española*.—De la importancia que actualmente tiene el cultivo de los naranjos de sangre son índice los datos siguientes, suministrados por el Sindicato Nacional de Frutos y Productos Hortícolas: La cosecha de agrios de 1958-59 se estima rendirá 1.520.000 Tm., de las cuales corresponden a las sanguinas 557.000 Tm., es decir, un 37 % del total. Esta enorme importancia de las "Sanguinas", en la producción naranjera española, reclama especial atención hacia ellas, *ya que haciendo aumentar tan sólo un 2 % la cosecha, evitando la caída del fruto, ello produciría un ingreso en la cuenta de los cosecheros de más de 55 millones de pesetas.*

Una posible fórmula para evitar la caída del fruto, en las "Sanguinas", especialmente la "doble fina", con su poca adherencia del fruto al pe-

dúnculo, sería el tratamiento con gibberellinas en condiciones adecuadas, que evitase la caída de la fruta que nos ocupa, en la época primaveral y, sobre todo, en la próxima a la recolección.

\* \* \*

Se continúan los trabajos con tomates, pimientos, perejil, espárragos, espinacas, lechugas y similares. Los nuevos conocimientos, lógicamente, desarrollan nuevas formulaciones que permiten extender el número de las cosechas que pueden incluirse dentro de las que responden al tratamiento de las gibberellinas.

Una de las orientaciones actuales de mayor interés consiste en el tratamiento de ciertas semillas al objeto de conseguir en ellas una mayor vitalidad que les permita su utilización directa sin un trasplante posterior, como se realiza en la actualidad. Además, la adición de gibberellinas al agua de riego, en los casos en que subsista el trasplante, conseguirá probablemente un rápido crecimiento de la planta. Otra posibilidad sería adicionar las gibberellinas al suelo en el momento de la siembra, o quizás más tarde cuando la planta haya crecido, agregando en este caso las gibberellinas bien directamente sobre ellas o bien sobre el suelo.

Una vez las plantas en pleno crecimiento tienen menos necesidad de estimulantes, pero las aplicaciones bien realizadas, mediante adecuadas formulaciones de gibberellinas, pueden mejorar el rendimiento o la calidad de la cosecha, o ambos a la vez.

La investigación en el campo general de las gibberellinas estudia también la posibilidad de aplicación en mezcla con algunas auxinas, que tendrían efectos más amplios. También se van venciendo las respuestas variables de los diferentes tipos de plantas por formulaciones especiales. Parece ser que todas estas promesas potenciales de las gibberellinas extenderán el actual trabajo de investigación, en un futuro no lejano, con un beneficio real para la agricultura.

#### *Bibliografía*

- Acerete: Oranges, No. 14, 47 (1958).
- Acerete: Annona, 4, 19 (1959).
- P. W. Brian: Chem. and Ind., 183 (1959).
- Brian y Grove: Endeavour, 16, 161 (1957).
- Chonard: Comp. Rend., 245, 2520 (1957).

## LAS GIBBERELLINAS

- J. M. Merritt: *Agric. and Food Chem.*, 6, 184 (1958).  
E. O. Morris: *Chem. and Ind.*, 97 (1958).  
W. Stiles: *Science Progress*, 46, 322 (1958).  
Stowe y Yamaki: *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 8, 181 (1957).  
Waring: *Nature*, 181, 1744 (1958).  
Ch. West: *J. Chem. Ed.*, 35, 42 (1958).  
*Agric. and Food Chem.*, 4, 907 (1956).  
*Agric. and Food Chem.*, 5, 723 (1957).

# INDICE

	<u>Pág.</u>
INTRODUCCIÓN .....	9
I.—LA ENFERMEDAD "BAKANAE" DEL ARROZ Y EL HONGO CAUSANTE .....	15
II.—PRODUCCIÓN DE GIBBERELLINAS .....	20
III.—QUÍMICA DE LAS GIBBERELLINAS .....	24
IV.—DETERMINACIONES ANALÍTICAS DE LAS GIBBERELLINAS .....	41
V.—ACCIÓN FISIOLÓGICA DE LAS GIBBERELLINAS .....	43
VI.—COMPARACIÓN DE LAS ACCIONES FISIOLÓGICAS DE LAS AUXINAS Y GIBBERELLINAS.	50
VII.—OCURRENCIA NATURAL DE LAS GIBBERELLINAS COMO HORMONAS EN LAS PLANTAS .....	52
VIII.—TOXICIDAD DE LAS GIBBERELLINAS .....	55
IX.—APLICACIONES DE LAS GIBBERELLINAS EN PRODUCCIONES AGRÍCOLAS ESPE- CÍFICAS .....	56
ÍNDICE .....	65

IMPRESO EN TIPOGRAFÍA MODERNA  
VALENCIA