

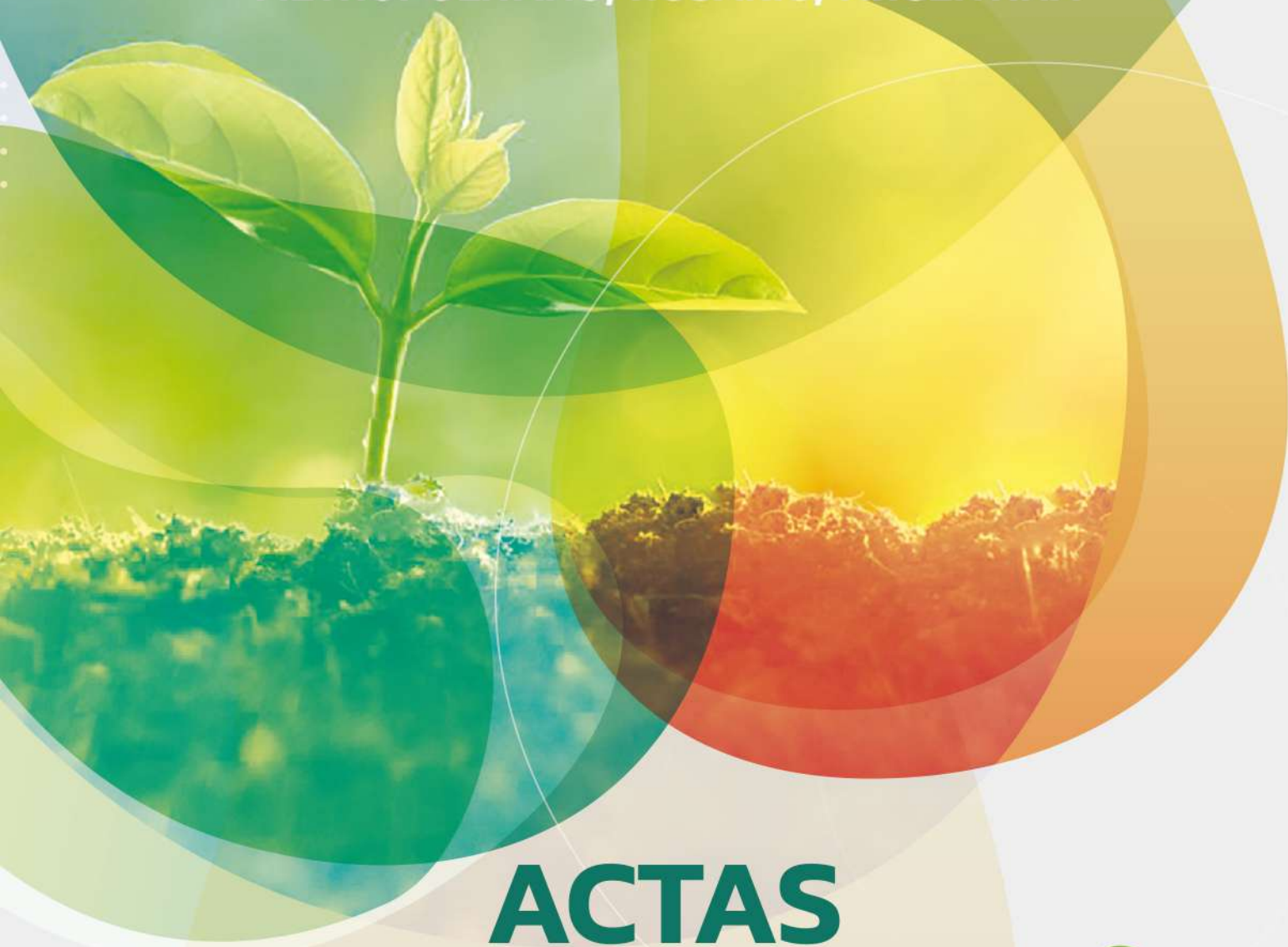


Simposio **Fertilidad 2023**

AL GRAN SUELO ARGENTINO ¡SALUD!

10 Y 11 DE MAYO 2023

METROPOLITANO, ROSARIO, ARGENTINA



ACTAS

www.fertilizar.org.ar



FERTILIZAR
ASOCIACION CIVIL

Aplicaciones y perspectivas del uso de Bioestimulantes y Biorreguladores en agricultura

Antonio Luiz Fancelli

Ing. Agr. MSc, Dr., Consultor y CEO dea Fancelli & Asociados – Consultoría Agronómica y ex-Profesor del Departamento de Producción Vegetal de la Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidad de São Paulo
fancelli@usp.br

Introducción

Independientemente de la tecnología empleada, el ambiente de producción al que se somete la planta constituye un condicionante preponderante del rendimiento y la productividad. La fotosíntesis, la respiración y la transpiración son funciones directas de la energía disponible en el ambiente, mientras que el crecimiento, desarrollo y translocación de los fotoasimilados dependen de la disponibilidad de agua y nutrientes, siendo sus efectos más intensos en condiciones de temperaturas óptimas y ausencia de restricción lumínica. Sin embargo, se enfatiza que todos estos procesos fundamentales en la vida vegetal están coordinados por acciones hormonales.

En este contexto, el uso de biorreguladores y/o bioestimulantes es de suma importancia para restablecer el equilibrio hormonal; para desencadenar acciones específicas; para la adaptación de las plantas a condiciones de estrés; fortalecer sus mecanismos de defensa y asegurar una relación equilibrada entre las fases vegetativa y reproductiva, que culmine en una mayor producción y sostenibilidad agrícola.

Definiciones y conceptos

Las **hormonas vegetales** son compuestos orgánicos, no nutrientes, derivados de síntesis endógena que, en

pequeñas cantidades (10^{-4} a 10^{-6} M), promueven, inhiben o modifican procesos morfológicos y fisiológicos en las plantas. Los reguladores más conocidos pertenecen a los grupos de Auxinas (AX), Giberelinas (GA), Citoquininas (CK), Etileno (ET), Ácido Abscísico (ABA), Brasinoesteroides (BR), Jasmonatos (JA) y Salicilatos (SA) (**Tabla 1**).

Los **biorreguladores**, sin embargo, son sustancias exógenas sintéticas o naturales que, cuando se aplican a las plantas, tienen acciones similares a las hormonas vegetales. Asimismo, los **Biorreguladores** o **Bioestimulantes** pueden estar asociados a dos o más grupos de sustancias hormonales exógenas o mezclados con sustancias de otra naturaleza como poliaminas, aminoácidos, proteínas, nutrientes, entre otros. También dentro de esta clase de productos se pueden encontrar y clasificar los **Bioactivadores**, que están compuestos por moléculas químicamente activas capaces de ejercer efectos similares a los de los biorreguladores (extractos vegetales, aldicarb, tiametoxam, imidacloprid, cianamida hidrogenada, triazoles específicos, estrobilurinas diversas y otros), al alterar o inducir la síntesis de hormonas endógenas y otros metabolitos activos que interfieren con el desarrollo y el metabolismo de las plantas.

Grupos	Endógeno	Sintético
Auxinas	Ácido Indolacético (AIA)	Ácido Indolbutírico (IBA), Ácido Naftaleno Acético (NAA) 2,4-D
Giberelinas	Ácido Giberélico (GA)	-
Citocininas	Zeatina	Cinetina Benziladenina (6-BA), Benzilaminopurina (BAP)
Retardadores	-	Chlormequat (CCC), Daminozide (SADH) Paclobutrazol (PBZ) Ácido 2,3,5-Triiodobenzoico (TIBA)
Inhibidores	Ácido Abscísico (ABA)	Hidrazida Maleica (MH)
Etileno	Etileno (C ₂ H ₄)	Ethephon

Tabla 1. Principales grupos de hormonas y reguladores vegetales.

Principales sustancias hormonales y sus principales acciones en la vida vegetal

Entre las principales sustancias hormonales utilizadas en la agricultura se destacan las **Auxinas**, **Citoquininas**, **Giberelinas**, **Ácido Abscísico** y **Etileno**.

Las **auxinas**, (del griego “auxein” que significa crecer), tienen como principal representante natural el Ácido Indol Acético (**AIA**), que tiene una amplia presencia en las plantas y se produce predominantemente en órganos con crecimiento activo, como las partes apicales de los meristemas de la parte aérea (ápice caulinar), en hojas jóvenes y en frutos en desarrollo. El **AIA** presenta el triptófano como precursor y el zinc como precursor del triptófano. El **AIA** presenta movimiento basípeto (desde el ápice hasta la base de la planta) y sus principales funciones están relacionadas con: a) Elongación celular en células jóvenes (desarrollo vegetal); b) División celular (sinergismo con citoquininas); c) Mantenimiento de la dominancia apical; d) Iniciación de raíces y crecimiento de raíces; e) Diferenciación y mantenimiento de tejidos vasculares (xilema y floema); f) Curación de heridas; g) Retraso de la senescencia de las hojas; h) Regulación del desarrollo de frutos; i) Reducción de la abscisión de estructuras

reproductivas; j) Partición de fotoasimilados y k) Inducción de movimientos vegetales (nastismos, tropismos y tigmotropismos).

Las **giberelinas** se encuentran en hojas jóvenes, yemas activas y en los entrenudos de los brotes. Sin embargo, las semillas y frutos en desarrollo también pueden mostrar altos niveles de estas hormonas, con la excepción de las semillas maduras. La síntesis de giberelinas activas, principalmente GA1, GA3 y GA4, son promovidas por factores ambientales, como las bajas temperaturas (frío) y los días largos. Las giberelinas también se pueden obtener de colonias de hongos específicos, como *Gibberella fujikuroi*. Actualmente, hay 136 giberelinas conocidas, pero la mayoría están inactivas. La **giberelina** se puede transportar a través del xilema y el floema, según su demanda. Sus principales funciones son: a) Aceleración de la germinación de semillas (producción de enzimas digestivas); b) Promoción de la expansión y crecimiento celular; c) Contribución a la división celular; d) Elongación del Tallo; e) Aumento en el número de entrenudos y diámetro del tallo; f) Aumento del tamaño del fruto; g) Reducción de abscisión de órganos reproductivos; g) Retrasar la degradación de la clorofila y h) Ayudar a romper la latencia de las yemas.

Las **citoquininas** se pueden encontrar en forma libre, y los meristemas apicales de las raíces son los sitios principales de síntesis de estas hormonas. Sin embargo, también se pueden encontrar en hojas jóvenes y en semillas en desarrollo. La **citoquinina**, al ser un compuesto nitrogenado, tiene como precursor la adenina o, más concretamente, nucleótidos e isopentenilpirofosfato o isopenteniltransferasa (IPT). Su transporte puede ocurrir vía xilema y floema. Sus principales funciones son: a) División y diferenciación celular (equilibrio con Auxina); b) Ruptura de la dominancia apical; c) Inducción del crecimiento de yemas axilares (ramificaciones o brotes laterales); d) Desarrollo y protección de cloroplastos; e) Síntesis de clorofila; f) Aumento de la actividad de las enzimas que incorporan CO₂; g) Establecimiento y aumento de drenes; h) Coordinación de la relación fuente-sumidero y i) Retraso de la senescencia de la hoja (aumento de la duración de la hoja).

El **ABA**, ácido abscísico, erróneamente asociado con la abscisión, está ampliamente distribuido en las plantas vasculares, encontrándose en todos los órganos y tejidos vivos, desde la cofia de la raíz hasta la yema apical de la parte aérea. El **AIA** se sintetiza en casi todas las células que poseen cloroplastos o amiloplastos y presenta como precursor un producto intermedio de la biosíntesis de las xantofilas, encontrándose en forma libre o conjugado con monosacáridos. El transporte de **ABA** puede ocurrir tanto a través del xilema como del floema; sin embargo, dicha hormona suele ser más abundante en el floema. Sus principales funciones son: a) Control de pérdidas de agua por parte de las plantas; b) Monitoreo de apertura y cierre de estomas; c) Control de Conductividad Hidráulica y Flujo Iónico de la planta; d) Desarrollo de semillas; e) Producción de Proteínas LEA (proteína protectora de embriones); f) Latencia de semillas; g) Crecimiento de raíces y brotes; h) Senescencia de hojas y i) Dormancia de yemas.

El **etileno** es una molécula simple, inflamable y fácilmente oxidable. El **etileno**, en su forma volátil, se libera del tejido que lo produce, difundiéndose por los espacios intercelulares, pudiendo sensibilizar rápidamente los diferentes órganos de la planta. El etileno puede ser producido por casi todos los tejidos de las plantas superiores (principalmente en las regiones meristemática y

nodal), dependiendo de la condición a la que se someta la planta. El precursor del etileno es la metionina y el ácido aminociclopropano carboxílico (ACC) que es regulado por otras hormonas (principalmente la citoquinina) y por condiciones de estrés. Sus principales funciones son: a) Epinastia de las Hojas; b) Ayuda en la germinación de semillas; c) Estimulación del florecimiento; d) Senescencia de Hojas y Flores; e) Abscisión de Hojas, Flores y Frutos y e) Maduración de Frutos (principalmente climatéricos).

Requisitos para una acción hormonal efectiva

La respuesta de la planta a las hormonas (reguladores del crecimiento) implica los siguientes requisitos:

- a. las hormonas deben estar presentes o llegar a las células objetivo, en el momento adecuado y en cantidades mínimas suficientes para una adecuada sensibilización;
- b. las hormonas deben ser efectivamente reconocidas y captadas por las diferentes estructuras vegetales especializadas o por grupos de células que responden a ellas (proteínas receptoras ubicadas en la membrana plasmática);
- c. Las señales deben ser identificadas, amplificadas e interpretadas (con la ayuda de señales secundarias) desencadenando la respuesta fisiológica efectiva al mensaje original emitido por la hormona (promoción, inhibición, expresión génica y/o alteraciones metabólicas).

Aun así, algunos investigadores reportan que las respuestas hormonales efectivas se ven favorecidas por el suministro adecuado de calcio, boro y fósforo presentes en las plantas, ya que constituyen importantes señales secundarias.

Cuidados y uso de biorreguladores en la agricultura

Aunque a menudo se discute la acción de las hormonas aisladas, no se pueden descuidar las interrelaciones entre estas sustancias, ya que en algunas situaciones es imprescindible combinar muchas señales para lograr sus efectos, como ocurre con la sinergia entre Auxina-Citoquinina y Giberelina-Auxina. Además, una hormona puede influir en la biosíntesis de otra, de modo que los

efectos producidos por una de ellas pueden, de hecho, ser modulados por otras. Como ejemplo, se puede mencionar el hecho de que altas dosis de auxina inducen la biosíntesis de etileno; que la giberelina puede inducir la síntesis de auxina y viceversa, así como la citoquinina puede reducir la producción de etileno por parte de la planta.

Tales hallazgos confirman la importancia de mantener el equilibrio hormonal, que puede verse alterado por intervenciones o mal uso. Por tanto, la probabilidad de aparición de problemas será menor cuando se utilicen productos relacionados con precursores hormonales o compuestos por dos o más biorreguladores debidamente balanceados, en cantidades adecuadas y en estados fenológicos específicos. Así, la aplicación individualizada de las sustancias hormonales requiere conocimiento y criterio redoblado, para evitar el desequilibrio y los efectos negativos derivados de su uso incorrecto.

En Brasil, los biorreguladores compuestos por sustancias hormonales sintéticas, precursores o extractos de algas, están siendo ampliamente utilizados en soja, maíz, trigo, algodón, caña de azúcar e innumerables cultivos de hortalizas y frutas, principalmente manzanas y uvas, resultando en efectos positivos y económicamente viables.

Por mencionar algunos ejemplos, el uso de biorreguladores con énfasis en la **citoquinina** ha resultado en una mejora significativa en la arquitectura de las plantas de soja, contribuyendo a un aumento en el número y rigidez de las ramas laterales (ruptura de la dominancia apical); para reducir la tasa de crecimiento de la planta (crecimiento armonioso) y para construir plantas más erguidas (mejor relación de equilibrio entre la raíz y la parte aérea). Estos efectos pueden favorecer el aprovechamiento de la luz por el tercio inferior de la canopia permitiendo el mantenimiento de un mayor número de vainas en la parte inferior de la planta, y también pueden promover el aumento de la vida útil de los nódulos y una mayor penetración de pesticidas en el cultivo en las etapas reproductivas finales, culminando en una mayor productividad. Por lo tanto, se recomienda el uso de dosis mayores de **Citoquininas** en las hojas,

preferentemente acompañadas de dosis menores de auxinas y giberelinas, en los estados fenológicos V5/V6 y R2/R3, asociado al aporte de magnesio foliar en cada aplicación.

Además, el uso de bioestimulantes o biorreguladores que contengan **citoquininas** puede resultar en la mayor tasa de llenado de granos en todos los cultivos de granos. Así, aplicados en cultivos de soja, entre los estadios R5.1 y R5.3, podrán asegurar una mayor duración del área foliar, una mayor vida útil de Rubisco y una mejora en la removilización de nutrientes de diferentes partes de la planta; además de contribuir al aumento de demanda de los destinos, generando ganancias significativas en la productividad, ya que, en esta etapa de la vida de la planta, la concentración de citoquinina natural es muy baja o nula.

Aun así, en Brasil, debido al cultivo de extensas áreas de soja, principalmente en el estado de Mato Grosso, predomina la fertilización al voleo (P, N y K), con el objetivo de aumentar el rendimiento operacional, lo que puede perjudicar el desarrollo inicial de las raíces. Así, con el objetivo de mitigar el problema mencionado, se ha utilizado la aplicación foliar de productos con mayor concentración de Auxinas, preferentemente asociadas a fósforo y nitrógeno, en los estados fenológicos iniciales (hasta V4), cuya recomendación ha contribuido al restablecimiento del rápido estímulo del crecimiento de las raíces

En poroto (feijão), numerosos trabajos demuestran que el uso de bioestimulantes o biorreguladores, en el tratamiento de semillas y brotes, redundan en múltiples beneficios para esta especie, que se caracteriza por una alta sensibilidad al estrés. Por lo tanto, el uso de productos que contienen auxina, citoquinina y giberelina, en el tratamiento de semillas, proporcionó mayor velocidad de emergencia, menor tasa de plántulas anormales, mayor velocidad en el crecimiento de las raíces, así como mayor tolerancia a los hongos del suelo, principalmente del género *Fusarium*. Asimismo, el uso de bioestimulantes, vía foliar, en las etapas reproductivas iniciales (botones florales), contribuyó a una mayor tolerancia a la sequía, mayor tasa de ramificación, menor tasa de aborto de flores y vainas y mayor densidad de grano.

Con respecto a la caña de azúcar, el uso de biorreguladores, ahora con énfasis en la **Giberelina**, ha contribuido a aumentar la productividad del cultivo y también a la producción de azúcar (sacarosa), debido a la acción de estas hormonas en el largo de entrenudos y diámetro del tallo, aumentando la capacidad cúbica de almacenamiento de fotoasimilados de la planta. En este contexto, este efecto también puede ser beneficioso para el cultivo de maíz, asegurando un mejor desarrollo del tallo, lo que puede favorecer la acumulación de una mayor cantidad de reservas para ser utilizadas por la planta, en situaciones de emergencia, como la relacionada con la baja disponibilidad de agua al final del ciclo del cultivo (baja tasa fotosintética), durante la etapa de llenado del grano.

En el cultivo de uva de mesa y uva fina, el color y el tamaño del fruto son factores importantes que influyen en el valor comercial del producto. Así, algunos genotipos, cuando se cultivan en regiones o en épocas calurosas, pueden presentar deficiencia en su coloración. Actualmente, se reconoce que el color de las uvas está relacionado, notablemente, con los pigmentos presentes en los hollejos, llamados antocianinas, y que su acumulación está controlada, al menos en parte, por el regulador vegetal **Ácido Abscísico** (ABA). Por lo tanto, la aplicación de productos que contengan concentraciones adecuadas de **Ácido Abscísico** (ABA) puede cumplir este objetivo, especialmente cuando se asocia con selenio. Por otro lado, el uso de productos con **Giberelinas**, principalmente GA3, son ampliamente utilizados en cultivos de uva sin semilla (frutos partenocárpicos) y contribuyen significativamente al aumento del tamaño y masa de las bayas, asegurando la obtención de racimos en estándares comerciales.

Finalmente, no hay que olvidar que las plantas pueden recibir ayuda de microorganismos específicos añadidos al sistema o presentes de forma natural en ambientes no perturbados o equilibrados. Tal microbioma puede poner a disposición diferentes tipos de metabolitos a lo largo del ciclo, incluidas sustancias hormonales como auxinas, citoquininas, giberelinas, estrigolactonas, jasmonatos y esteroides, entre otros, que pueden favorecer la vida vegetal.

Consideraciones finales

La esencia del proceso de producción agrícola se reduce a la obtención de la máxima tasa neta de fotosíntesis, que depende de las condiciones de estrés a las que se ve sometida la planta. Por lo tanto, todas las posibles estrategias involucradas en la mitigación de los efectos de las condiciones adversas deben implementarse de manera conjunta, con responsabilidad y conocimiento.

Por tanto, en este contexto, el uso racional y juicioso de nutrientes especiales (calcio, magnesio, cobalto, selenio y níquel), aditivos fisiológicos (antioxidantes no enzimáticos, poliaminas y aminoácidos específicos) y bioestimulantes o biorreguladores de calidad, asume un papel fundamental en desencadenar las numerosas acciones fisiológicas capaces de revertir situaciones estresantes; fortalecer los mecanismos de defensa y adaptación de la planta y asegurar el uso efectivo de los factores de producción, resultando en un mejor desempeño y mayor productividad, de forma rentable y sustentable.



FERTILIZAR

ASOCIACION CIVIL



FERTILIZAR.ORG.AR