



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

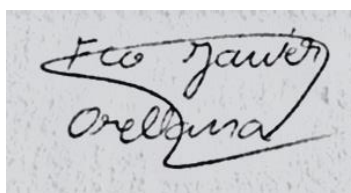
**La aplicación de
reguladores de
crecimiento vegetal son
claves para aumentar la
productividad agrícola**

**Alumno/a: Francisco Javier Orellana
Maldonado**

Jaén, Junio, 2022

Trabajo fin de grado

**La aplicación de reguladores
de crecimiento vegetal son
claves para aumentar la
productividad agrícola**



Alumno: Francisco Javier Orellana Maldonado

Jaén, Junio, 2022

Índice

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Definición de reguladores del crecimiento.....	3
1.1.1. Ácido abscísico.....	3
1.1.2. Auxinas.....	4
1.1.3. Citoquininas.....	4
1.1.4. Etileno.....	5
1.1.5. Giberelinas.....	5
1.2. Otros reguladores de crecimiento.....	6
1.2.1. Ácido salicílico	6
1.2.2. Brasinoesteroides	6
1.2.3. Jasmonatos.....	7
1.2.4. Poliaminas	7
2. TÉCNICAS DE APLICACIÓN DE REGULADORES DEL CRECIMIENTO VEGETAL SOBRE CULTIVOS.....	8
2.1. Spray (foliar).....	8
2.2. Seed priming (cebado de semillas)	13
3. OBJETIVOS	14
4. MATERIALES Y MÉTODOS	14
5. RESULTADOS	15
5.1. Aplicación de reguladores del crecimiento vegetal mediante spray foliar....	15
5.2. Aplicación de reguladores del crecimiento vegetal mediante seed priming.	24
6. DISCUSIÓN	31
6.1. Aplicación de reguladores de crecimiento vegetal mediante spray foliar	31
6.2. Aplicación de reguladores de crecimiento vegetal mediante seed priming .	32
7. CONCLUSIONES	33
8. BIBLIOGRAFÍA	37

RESUMEN

Los reguladores de crecimiento vegetal son aquellos compuestos naturales de las plantas, capaces de modular todos los estados de crecimiento y desarrollo como son la germinación, crecimiento vegetativo, floración, fructificación y senescencia, además de ser capaces de proteger a la planta frente al estrés ambiental y por tanto aumentar la productividad agrícola. En esta revisión bibliográfica se ha hecho una selección de artículos científicos en que varios reguladores del crecimiento vegetal como auxinas, citoquininas, giberelinas, ácido abscísico, brasinoesteroides, ácido salicílico, poliaminas y etileno se han utilizado para aumentar la producción de cultivos agrícolas de interés comercial (trigo, arroz, maíz, judía, tomate, etc.) sometidos a diferentes estreses (sequía, salinidad, temperaturas extremas) mediante la aplicación de técnicas como el "spray foliar" o el "seed priming" demostrando que mejoran el crecimiento, la actividad fotosintética, actividad antioxidante, productividad y la tolerancia a diferentes estreses abióticos, mejorando, en definitiva, la calidad y la producción agrícola.

Palabras clave: Reguladores de crecimiento vegetal, cultivos agrícolas, estrés abiótico, seed priming, spray foliar

ABSTRACT

Plant growth regulators are those natural compounds of plants, capable of modulating all stages of growth and development such as germination, vegetative growth, flowering, fruiting and senescence, as well as being able to protect the plant against environmental stress, and thus increase agricultural productivity. In this bibliographic review, a selection of scientific articles has been made in which various plant growth regulators such as auxins, cytokinins, gibberellins, abscisic acid, brassinosteroids, salicylic acid, polyamines and ethylene have been used to increase the production of agricultural crops of commercial interest. (wheat, rice, corn, beans, tomato, etc.) subjected to different stresses (drought, salinity, extreme temperatures) through the application of techniques such as "foliar spray" or "seed priming" demonstrating that they improve growth, photosynthetic activity, antioxidant activity, productivity and tolerance to different abiotic stresses, ultimately improving agricultural quality and production.

Key words: Plant growth regulators, crops, abiotic stress, seed priming, spray foliar

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura, es una actividad necesaria para la humanidad, que mueve millones de euros en todo el mundo, y donde el incremento de la población hace necesaria la innovación constante y el surgimiento de nuevas técnicas que permitan afrontar una mayor demanda de alimentos en todo el mundo (Leisner, 2020).

Las plantas han desarrollado mecanismos para adaptarse a las condiciones ambientales cambiantes que les permitan afrontar las diversas situaciones frente al estrés abiótico y biótico. Sin embargo, los cultivos agrícolas, son muy sensibles a déficit hídrico, salino, temperaturas extremas, etc. indagando en este problema, encontramos comprensible que se hayan desarrollado técnicas variadas para intentar aumentar la productividad y conseguir cultivos más tolerantes al estrés. Una de las técnicas que se llevan aplicando en los últimos años con buenos resultados es la aplicación de reguladores de crecimiento vegetal (RCV). Los reguladores del crecimiento de las plantas se definen como compuestos orgánicos sintéticos o naturales que influyen en el crecimiento y desarrollo biológico de las plantas, y que suelen actuar a bajas concentraciones (Sajjad et al., 2017). Debido al progresivo calentamiento global, desertificación, salinidad, inundaciones, etc., hay cada vez menos áreas productivas, alrededor del mundo, lo que ha contribuido a una disminución en la producción agrícola. Los problemas más destacables implican a la sequía, el calor y frío, la salinidad, elementos tóxicos como metales pesados, etc. (Zhang et al., 2010). El mayor desafío al que nos enfrentamos es impedir que estas limitaciones ambientales afecten a la germinación de semillas y crecimiento de la plántula.

La aplicación de RCV son un posible medio práctico para minimizar las pérdidas de rendimiento inducidas por los anteriores factores. Los RCV tales como la auxina, citoquinina, brasinoesteroides, giberelina, ácido salicílico, ácido abscísico, jasmonatos, etileno y poliaminas se han utilizado para mejorar el rendimiento en condiciones salinas, y otras condiciones adversas (Quamruzzaman et al., 2021). No obstante, también existe discusión en la comunidad científica sobre su forma de aplicación con el fin de obtener un óptimo rendimiento (Sajjad et al., 2017); entre las técnicas más utilizadas se encuentran la “aplicación foliar” de RCV (Sajjad et al., 2014), “el empapado” (drenching) (Matsumoto et al., 2006), “la siembra previa a la revisión nos acerca al conocimiento actual de la efectividad de la aplicación de varios

RCV para contrarrestar los efectos perjudiciales de diferentes estreses como la sequía, la salinidad, o las temperaturas extremas, sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas.

1.1. Definición de reguladores del crecimiento

Como se ha mencionado anteriormente, los RCV son compuestos sintéticos, o producidos por la propia planta. Se hallan en ínfima concentración, y realizan funciones fisiológicas diversas. Estos reguladores del crecimiento pueden aumentar o disminuir el crecimiento y el desarrollo alterando sus procesos biológicos normales, actuando por tanto como inhibidores o estimulantes. Según la “American Society for Horticultural Science” existen varias sustancias clasificados como RCV: auxinas, citoquininas, etileno, giberelinas, poliaminas, ácido abscísico, ácido salicílico, brasinoesteroides, jasmonatos, etc. Estos elementos desempeñan funciones de regulación metabólica y de procesos fisiológicos variados como el crecimiento, el desarrollo y la diferenciación en la que existe una coordinación perfecta de las actividades celulares, tejidos y órganos (Sajjad et al., 2017).

1.1.1. Ácido abscísico

El ácido abscísico (ABA) está presente en prácticamente todos los tejidos vivos de las plantas vasculares. La síntesis de ABA en la planta tiene lugar en semillas, raíces, flores, hojas, y tallos (Roychoudhury et al., 2013). Se sintetiza en todas las células que contienen cloroplastos o amiloplastos. El ABA es un sesquiterpeno de 15 átomos de carbonos, con un anillo de ciclohexano y un hidroxilo, además de una cadena lateral de grupo carboxilo. Puede hallarse en posición *cis* y *trans*, siendo la primera la forma activa de la hormona. La diferencia entre una y otra es un carbono asimétrico en el anillo de posición 1 (Kalra et al., 2018). El ABA es reconocido como una hormona relacionado con la maduración de la semilla, evita el “viviparismo” o germinación precoz, y es una hormona anti-estrés, mitigando los efectos tanto del estrés abiótico como biótico (Zhu et al., 2017). En condiciones de estrés (salino e hídrico) los niveles metabólicos de ABA incrementan sus valores, otorgando una mejor adaptación a dichos estreses (Hedrich et al., 2018). La biosíntesis de ABA se relaciona con las raíces, debido a que se sospecha que el ABA interfiera en la regulación de auxinas. El ABA es una importante hormona usada para fomentar la tolerancia al estrés osmótico, síntesis de proteínas y lípidos, regular los genes de síntesis de proteínas,

proteger de la amenaza de patógenos, regulariza la absorción de agua, procesos morfogénéticos y embriogénesis, y favorece la dormición de las semillas (Flasiński and Hąc-Wydro, 2014). La aplicación de ABA exógeno favorece el alargamiento de la raíz en situaciones de estrés hídrico y favorece la abscisión y senescencia de las hojas.

1.1.2. Auxinas

Las auxinas constituyen un grupo principal de hormonas naturales halladas en plantas. Las auxinas, de origen natural, más frecuentes son ácido indol-3-acético (AIA), el ácido indol-3-butírico (AIB), el ácido fenilacético y el ácido 4-cloroindol-3-acético (4-Cl-AIA). Aunque el AIA es la hormona más común, todas presentan una estructura básica compuesta de una cadena lateral que consiste en un ácido en el anillo aromático, y que además, casi todas las hormonas son derivadas del indol, exceptuando el ácido fenilacético. La concentración de AIA en los tejidos dependerá básicamente del tipo de tejido y edad de la planta. En semillas, su concentración es elevada, pero sobretodo destacan mayores niveles en el meristemo apical de los brotes, en los frutos y en las raíces, debido al transporte polar de la hormona. La síntesis de las auxinas parte del triptófano, aunque se puede optar por otra vía metabólica sin implicar a este precursor. El efecto final de la síntesis de auxinas es la división y el crecimiento celular. La auxina es capaz de desplazarse por el xilema y floema, y el transporte puede ser basipétalo, acropétalo y lateral (Bhatla, 2018). Está involucrada en división celular, alargamiento celular, organogénesis, dominancia apical, regulación de las propiedades de la pared celular, y control de la actividad de las ATPasas, con el bombeo de protones al apoplasto que acidifica el exterior de la célula, y se activan una serie de enzimas entre ellas las expansinas que hacen que se aflojen los enlaces en la pared celular, la célula tome agua y se produzca la elongación celular (Hager et al., 2003; Brumos et al., 2018; Majda et al., 2018).

1.1.3. Citoquininas

En cuanto a las citoquininas, en su forma activa, son derivados de la base púrica adenina. Todas ellas poseen un sustituyente de naturaleza isoprenoide o aromático en el nitrógeno amínico de la posición 6 del anillo de la purina. Su principal función es favorecer la división celular. También tenemos otras formas como la isopenteniladenina, zeatina o la dehidrozeatina (Stirk et al., 2005; Bishopp, et al.,

2011). Se sintetizan en las zonas meristemáticas de las raíces, desde donde son transportadas por el xilema, floema o ambos. Gracias a las enzimas isopentenil transferasa (IPT) y la citoquinina oxidasa (CQ-oxidasa) se sintetizan o degradan, según las necesidades de la planta y etapa de desarrollo en la que se encuentre. Los efectos fisiológicos son variados, y comprenden el control del ciclo celular, mediante la regulación de las ciclinas dependientes de quinasas (CDKs), que estimulan la síntesis de ARNm (Nishiyama et al., 2012; Aremu et al., 2014). Otras funciones son la regulación de la organogénesis y formación de callos mediante la relación auxinas/citoquininas, también estimulan el desarrollo de cloroplastos, síntesis de clorofilas, rompe la dominancia apical y retrasan la senescencia foliar (Wu et al., 2021).

1.1.4. Etileno

Una hormona de naturaleza gaseosa cuya regulación se asocia con la senescencia. Para su síntesis son necesarias las enzimas ACC sintasa (amino-1-ciclopropano-1-carboxílico sintasa) y ACC oxidasa, las cuales transforman el SAM (S-adenosil-metionina) a ACC y el ACC a etileno respectivamente, siendo el precursor de esta ruta la metionina (Zapata et al., 2017). El etileno media la respuesta adaptativa a una variedad de factores como salinidad, patógenos, encharcamientos, y sequía. No obstante, el mejor rol del etileno es la maduración de frutos climatéricos. En condiciones de crecimiento normales, el etileno se expresa en niveles bajos en toda la planta. Cuando se acumula, ante estreses bióticos y abióticos, es regulado mediante la ACC sintasa, la enzima clave en la ruta de síntesis del etileno. El etileno también es fundamental para interrumpir la latencia de las semillas e iniciar su germinación. Estimula la elongación del entrenudo en plantas acuáticas al aumentar la sensibilidad de la planta a las giberelinas. También induce la formación de raíces adventicias en hojas, flores y tallos. Además, interviene como regulador en la formación de los pelos radiculares y estimula la senescencia de hojas y flores (Zapata et al., 2017).

1.1.5. Giberelinas

Las giberelinas son una familia de diterpenos tetracíclicos ácidos cuya estructura básica está constituida por un anillo el ent-giberelano. Entre algunas funciones destacan estimular el crecimiento mediante la división y alargamiento celular (García-Martínez et al., 1997). Entre las formas más comunes de giberelinas se encuentra el ácido Giberélico (GA3); un regulador de crecimiento que rompe el letargo de las

semillas promoviendo su germinación, estimula la germinación de numerosas especies de cereales coordinando la movilización de reservas que sustentan el crecimiento inicial de la plántula, y la longitud de los entrenudos. Según un estudio efectuado en arroz (*O. sativa* L.) la salinidad determina la capacidad de la planta para crecer, el efecto inhibitorio de la sal puede ser contrarrestado por aplicar GA3 (Liu et al., 2018). Se ha observado que la regulación de GA3 viene determinada por genes *OsGA2ox5*, (Shan et al., 2014), y *OsMYB91* (Zhu et al., 2015) en arroz, y el gen *AtGA2ox7* en *Arabidopsis* (Magome et al., 2008); los efectos mostrados fueron reducción del crecimiento y una mayor susceptibilidad al estrés, sobretodo salino. Otro ejemplo práctico es el caso del gen *OsCYP71D8L* que codifica una proteína reguladora de GA3 en respuesta al crecimiento y al estrés. Estos datos, nos aportan que la reducción del GA3 en estrés salino está asociada a la tolerancia de las plantas y la salinidad. En cambio, otros artículos sugieren que su aplicación exógena tiene un efecto positivo en resistir el estrés salino en muchos cultivos. Ante la hipótesis de que la actividad enzimática, y el balance nutricional está influenciada por este tipo de estrés, se experimentó con la aplicación foliar de GA3 en Okra (*Abelmoschus esculentus* L), donde el uso de GA3 implicaba aumentar la extensibilidad de las paredes celulares (Han et al., 2012).

1.2. Otros reguladores de crecimiento

1.2.1. Ácido salicílico

El ácido salicílico (SA), de naturaleza fenólica, interviene en el crecimiento, desarrollo, y respuesta de la planta ante factores como el estrés abiótico y biótico, (Miura & Tada, 2014). El SA está implicado en la fotosíntesis, el metabolismo del nitrógeno, metabolismo de prolina, en el sistema de defensa antioxidante, en absorción de agua durante periodos de estreses, y protección contra estrés abiótico (Miura & Tada, 2014). Una función relevante es que actúa como regulador del mecanismo de defensa contra patógenos. Este junto a los jasmonatos, activan la síntesis de proteínas relacionadas con la patogenia (PRPs). También está relacionada con SAR (resistencia sistémica adquirida), que es una respuesta de protección que desempeña la planta cuando está expuesta a un patógeno.

1.2.2. Brasinoesteroides

Los brasinoesteroides (BRs) son otros reguladores del crecimiento vegetal. El primer brasinoesteroide hallado data de 1979 en granos de polen de colza (*Brassica napus* L.) (Brosa et al., 1999). Las principales formas que se presentan son: brasinolida, 24-epibrasinolida, y 28-homobrasinolida; las cuales, destacan por su poder de enraizamiento (Zullo et al., 2004). Los brasinoesteroides permitieron obtener ventajas en el control del crecimiento y desarrollo de las plantas. Cuando se produce el enraizamiento, puede ocurrir que haya un estrés hídrico, los brasinoesteroides pueden afrontar este daño, ya que son capaces de regular el contenido de agua, la concentración de clorofilas o la tasa de fotosíntesis (Vidya et al., 2017). La aplicación de BRs combinado con otras hormonas es de vital importancia para las plantas. Los brasinoesteroides pueden controlar el crecimiento y desarrollo de las plantas, alterar la translocación de las auxinas o cambiar su actividad (Bajguz et al., 2009). Según Yopp et al., 1981 cuando se usan auxinas y brasinoesteroides en la misma disolución, se obtienen mejores efectos en guisante (*Pisum sativum* L.), y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Además, los brasinoesteroides están involucrados en múltiples procesos fisiológicos y bioquímicos, donde se incluyen germinación de semillas, división celular, alargamiento de tejidos vasculares, y el desarrollo de raíces y brotes (Fariduddin et al., 2014).

1.2.3. Jasmonatos

Dentro de los derivados del ácido α -linolénico, se halla el ácido jasmónico (AJ) con un rol importante en cuanto a las respuestas de las plantas frente al estrés biótico y abiótico. Pero además, AJ interviene en la prolongación de raíces, desarrollo de la fruta, producción de polen y el enrollamiento del zarcillo. Este RCV se produce en las flores, en la defensa de la planta. El AJ cumple una función de señalización en cascada a lo largo de la planta, mediante factores de transcripción activos. Incluso, AJ produce una tolerancia de las plantas a factores como la sequía, donde controla la apertura de los estomas, producción de EROs (especies de oxígeno reactivo) y desarrollo de raíces, donde controla la conductividad hidráulica de la raíz para absorber agua del suelo en condiciones de humedad estrictas (Ullah et al., 2018).

1.2.4. Poliaminas

Las poliaminas (PAs) no son consideradas como un grupo de fitohormonas pero han sido propuestas como una categoría de RCV con una alta implicación en muchos procesos celulares (Llanes et al., 2018). Se sintetizan a partir de la metionina,

compartiendo una ruta común de biosíntesis con el etileno, donde la S-adenosil-metionina (SAM) puede desviarse hacia la formación de ACC y posteriormente etileno, o puede dar lugar a la síntesis de putrescina (Put), espermidina (Spd), y espermina (Spm), que son las formas químicas más abundantes de las poliaminas (Zapata et al., 2017). Son macromoléculas catiónicas con varios grupos aminos que permite que se unan a moléculas como ADN, ARN o fosfolípidos (Igarashi et al., 2010); así pues, su aplicación involucra el crecimiento celular, son anti-senescentes, desarrollo del fruto, y protegen frente al estrés de la planta (Alcázar et al., 2006; Alcázar et al. 2020). Además, se hallan implicadas en temas relacionadas con la patogenicidad (Walters et al., 2003).

2. TÉCNICAS DE APLICACIÓN DE REGULADORES DEL CRECIMIENTO VEGETAL SOBRE CULTIVOS

Los RCV son compuestos que pueden regular procesos fisiológicos que no pueden ser controlados por otras prácticas de cultivo. Son efectivos a bajas concentraciones, tienen una concentración óptima bastante estrecha de actuación, y deben de ser absorbidos por el tejido vegetal (comúnmente hojas o semillas) para inducir la respuesta biológica deseada (Bukovac 2005). Se explicarán algunas técnicas, como son el spray foliar, y el seed priming o cebado de semillas que aunque presenta alguna variaciones en la técnica, se suele realizar con la aplicación de hormonas vegetales.

2.1. Spray (foliar)

Cuando se trata de aplicar RCV, éstos suelen ser aplicados a bajas concentraciones, actuando el agua como disolvente. El spray foliar es una técnica muy popular, que depende de la efectividad de la aplicación, interacciones físicas y químicas de los componentes, composición del ingrediente activo (a.i.), atomización (aplicación en forma de gotas) de la solución de spray, la uniformidad de la aplicación del rociado, efectos de repulsión, factores ambientales como la temperatura y la humedad relativa (HR), y la penetración del a.i. Por supuesto, también hay que tener en cuentas las condiciones en las que se encuentra la planta y si está en situación de estrés. Dentro de esta técnica, la variante más importante es la atomización, donde suministramos el spray como una nube de gotas. Se puede realizar mediante la administración del líquido a través de un poro a presión, un disco giratorio, o con aire a presión (Bukovac

2005). A más inri, tenemos que tener en cuenta las limitaciones del pulverizador como el volumen y velocidad del aire, el tipo de boquilla, o el flujo del aire (laminar o turbulento). En cuanto a la atomización, la pulverización del RCV en una nube de gotas depende de la presión, velocidad, caudal y pase a través del tipo de boquilla, todo ello influye en el flujo de las gotas (Figura 2.1).

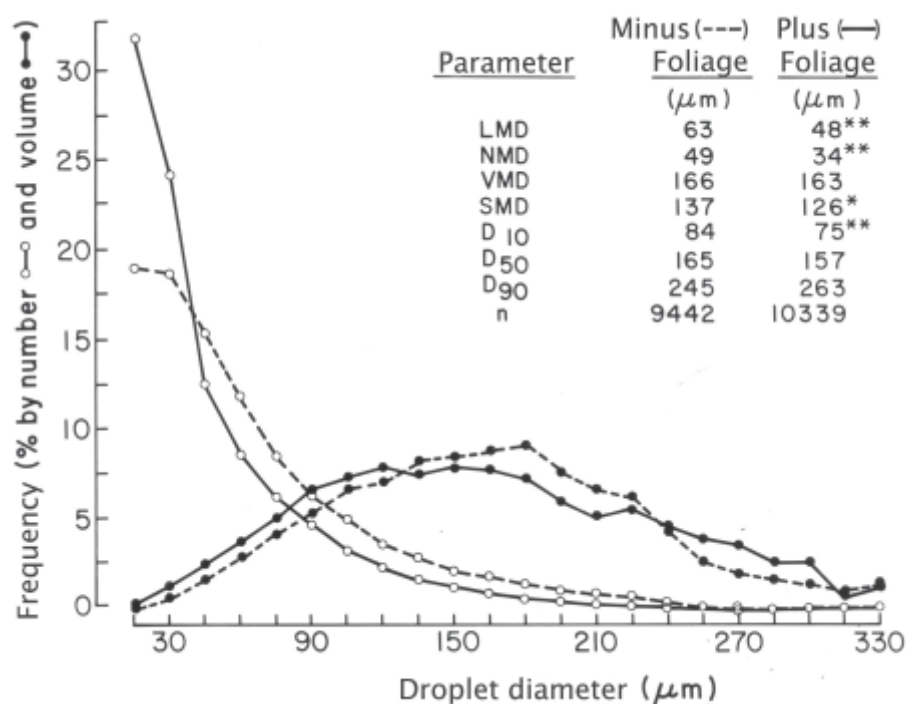


Figura 2.1. Espectros de gotas de aspersión, basados en el número y volumen de aspersión en clases de tamaño designadas producidas por un aspersor de bajo volumen. LMD= diámetro mediano lineal; NMD= diámetro mediano numérico; VMD= diámetro mediano del volumen; SMD= diámetro mediano de la superficie; D₁₀, D₅₀, y D₉₀ representan el porcentaje de volumen de pulverización por debajo del diámetro de gota designado diámetro designado; n= número de gotas medidas. (Bukovac., 2005).

Según a las características del rociador, como es la cantidad de aire a presión o el volumen, velocidad, flujo de aire turbulento o laminar, tipo de boquilla, pero también parámetros del cultivo como tamaño, forma, estructura, follaje, densidad, y porcentaje de humectabilidad (área de contacto con el líquido). En general, volúmenes grandes pero esparcidos a baja velocidad proporcionan una mayor penetración, ya que el impacto con la superficies cerosas de las hojas es más directo.

Los componentes que se incluyen en el líquido pulverizado y el ingrediente activo, modifican aspectos de la tensión superficial y viscosidad, alterando la adhesión, retención, y humectabilidad de las gotas pulverizadas en la superficie de las hojas. También, la masa, velocidad, ángulo de aplicación, y polaridad de los grupos funcionales, son determinantes del impacto y absorción en la superficie de la planta, donde además actúa la energía cinética del impacto de las gotas (Figura 2.2).

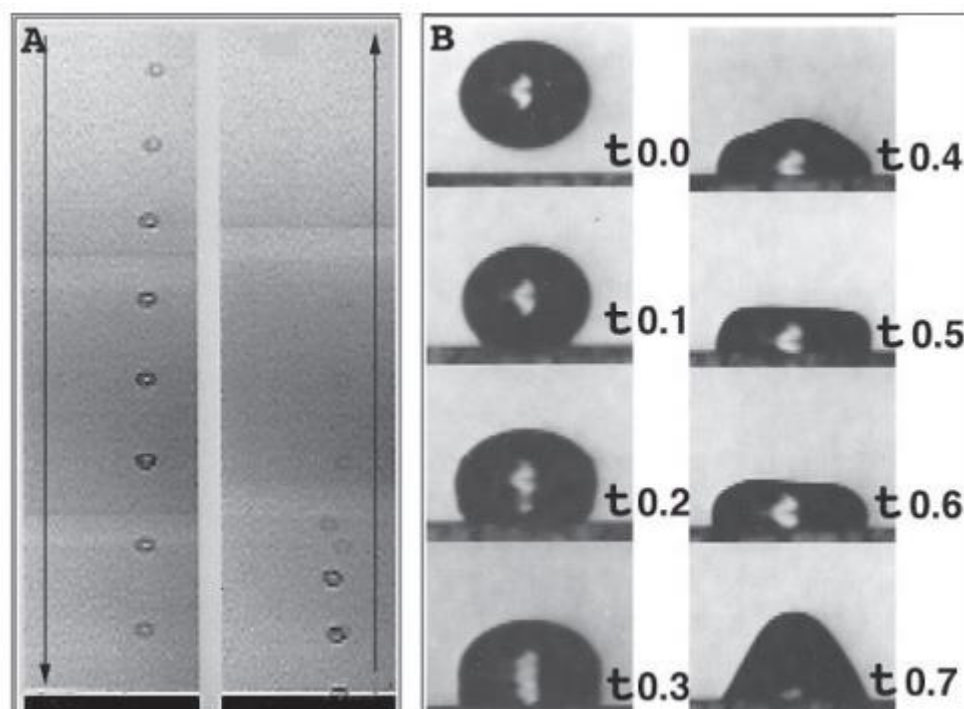


Figura 2.2. Fotografía tomada a alta velocidad de gotas de agua (330 μm de diámetro, con una velocidad de entrada de $0.65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), chocando y reflejando (A) desde una superficie de vidrio y su deformación (B) en una gota similar durante los primeros $0.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ después de contactar con una superficie (Bukovac et al., 2002).

Además, el secado de las gotas de la solución depende de la composición de ésta, factor ambiente y de la humectabilidad de la superficie. Cuanta más concentración de a.i. haya en la solución, existirá un mayor índice de penetración. Aunque, si se tratan de gotas pequeñas en un bajo volumen de solución, no incide tanto en la hoja (Figura 2.3).

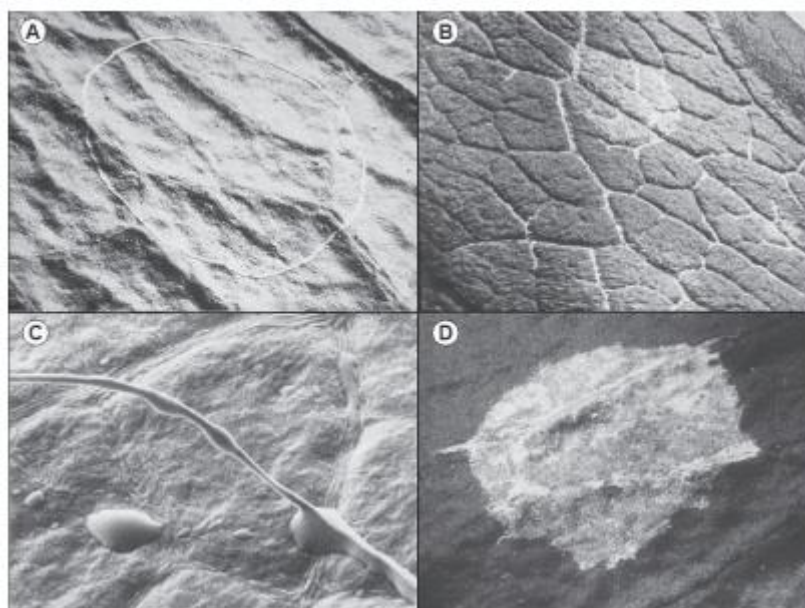


Figura 2.3. Microfotografías electrónicas de barrido de depósitos de gotas (residuos) que ilustran diferentes formas de depósito y sitios de impacto de las hojas; ácido 2,4,5-triclorofenoxipropiónico (2,4,5-TP) en una pera adaxial “Bradford” (*Pyrus calleryana*) A), y abaxial en cereza dulce “Hedelfinger” (*Prunus avium*) (B, C, D)) en superficies foliares. 2,4,5-TP en forma de anillo (A), etefón tras impactar sobre venas (B), sobre un tricoma (C), y de bajo volumen (D), (Bukovac et al., 2005).

El a.i. puede presentar distintas formas de distribución, donde puede presentar una absorción y penetración más rápida, formarse masas cristalinas o amorfas, según si está presente un aditivo de pulverización (Figura 2.4).

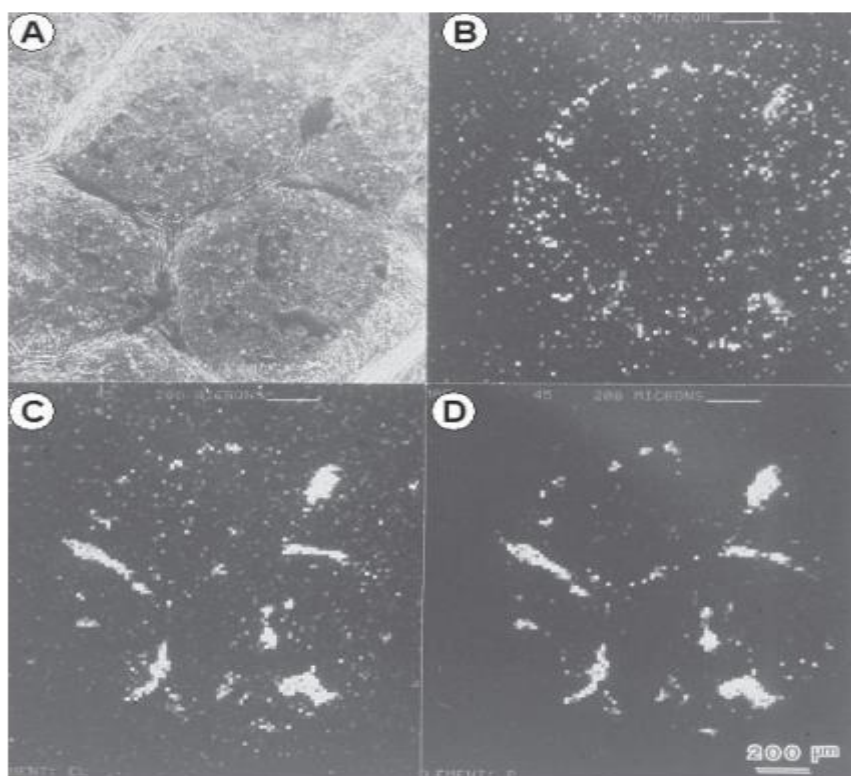


Figura 2.4. Microfotografía electrónica de barrido (A) de un depósito de gotas de etefón (ácido 2-cloroetilfosfónico) con 0,1% de Tween 80-Br. Mapas de rayos X del depósito en A que indican la distribución de Br de Tween 80 (B) y Cl (C) y P (D) de etefón. Diferenciar que la distribución del surfactante (B) no coincide con la del etefón (B vs C y D), donde gran parte de la deposición de Tween 80-Br ocurre en diferentes dominios de la superficie de la hoja.

Otro factor que se debe tener en cuenta es los adyuvantes, que facilitan la distribución y modificación de las características físicas de la mezcla. Y por último, se debe tener en cuenta el punto de delicuescencia, es decir, el punto de humedad relativa crítico al que se empieza a absorber agua de la atmósfera y se disuelve la parte sólida del RCV, factor del cual depende que se obtengan fases sólidas o líquidas en la superficie foliar (Figura 2.5).

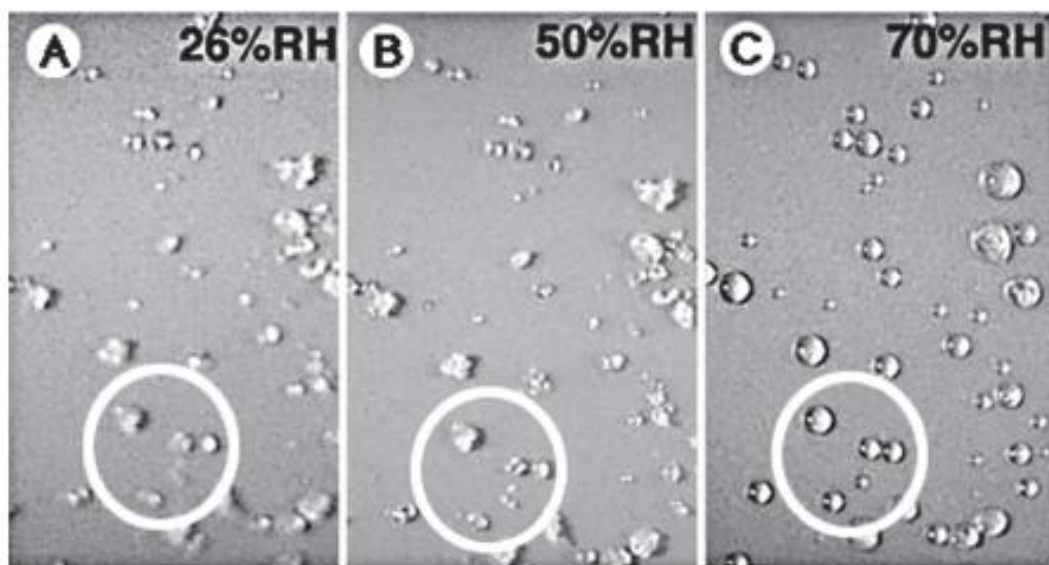


Figura 2.5. Fotografías de cristales de nitrato de amonio en membranas cuticulares de frutos de tomate aislados a una humedad relativa por debajo (A, B) y por encima (C) del punto de deliquesencia (62,8% de humedad relativa o HR). A y B presentan un estado cristalino pero C es un estado líquido.

2.2. Seed priming (cebado de semillas)

La germinación de las semillas se considera el factor más importante en la producción de cultivos. Actualmente, las condiciones climáticas, y factores abióticos y bióticos, han minorizado el éxito de la germinación de las semillas, afectando a la emergencia de las plántulas. Para contrarrestar los efectos negativos y mejorar el proceso de germinación de las semillas, se puede optar por el cebado de semillas. Durante el cebado, las semillas son tratadas en un proceso de hidratación activando un proceso metabólico pre-germinativo, y dando una rápida germinación en la siembra (Dawood et al., 2018). La estrategia de usar el cebado de semillas contiene múltiples beneficios como son la reducción de fertilizantes, mayor rendimiento del cultivo, e inducción de la resistencia sistémica adquirida que resulta en cuando las plantas activan una respuesta hipersensible de muerte celular programada mediante patrones asociados a patógenos (PAMP). Tiene efectos beneficiosos como una mejor absorción de nutrientes, eficiencia en el uso del agua, madurez y rendimiento de los cultivos. Aunque hay ciertos factores a tener en cuenta antes de la aplicación del cebado, como son la especie vegetal, la duración del procedimiento, la temperatura de los medios de cebado y las condiciones de almacenamiento (Bagheri et al., 2014; Lara et al., 2014; Dutta et al., 2018).

Cuando las condiciones del cultivo pueden resultar adversas, podemos emplear el cebado de semillas, técnica que trata de hidratar y secar las semillas para potenciar su germinación en la siembra; así pues, combinando dicha técnica y la aplicación de reguladores de crecimiento, conseguimos contrarrestar el estrés (Rhaman et al., 2020). Los efectos que se consiguen con el seed priming (cebado de semillas) son una mayor germinación, la emergencia de plántulas, el crecimiento de cultivos, la nodulación, y una mayor productividad; tal como se han observado en arroz (Samota et al., 2017); trigo, (Tabassum et al., 2018) o legumbres (Kumeera et al., 2018).

Bioquímicamente, el cebado de semilla tiene efecto en el número de mitocondrias, proteínas, división celular, síntesis de ácidos nucleicos y proteínas; seguido de producción de ATP, esteroides, y fosfolípidos (Samota et al., 2017). En resumen, esta técnica facilita la interrupción de la latencia de las semillas, cataliza diversas reacciones bioquímicas dentro de la semilla, lo que mejora la tasa de germinación y su uniformidad (Khan et al., 2008).

3. OBJETIVOS

- Conocer la funcionalidad de los reguladores del crecimiento y su efecto y la respuesta al estrés en plantas
- Revisar los tipos de aplicación de reguladores del crecimiento
- Indagar en los resultados de la aplicación foliar de reguladores del crecimiento de plantas sobre diferentes tipos de cultivos agrícolas
- Examinar los resultados de la aplicación de la técnica seed priming con reguladores del crecimiento sobre diferentes tipos de cultivos agrícolas

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión sistemática en la base de datos **Web of Science**, desde donde se englobó información de artículos científicos comprendidos entre los años 2000 y 2022. La búsqueda se centró en ensayos de reguladores de crecimiento, aplicados de diversas formas para beneficiar el crecimiento de las plantas agrícolas; lo que

involucra conocer sus efectos en la tolerancia al estrés. Los términos aplicados fueron en idioma anglosajón. Otros recursos usados fueron:

- **Web of Science:** propiedad del Ministerio de Ciencia e Innovación, gestiona las bases de referencias bibliográficas mundiales, Scopus y Clarivate Analytics. El acceso a esta plataforma se soporta mediante las credenciales otorgadas por la Universidad de Jaén. Su enlace de acceso es “recursoscscientificos.fecyt.es”.
- **Google académico “Google Scholar”:** motor de búsqueda de artículos, resúmenes y citas científicas de Google. El enlace de acceso es “Scholar.google.es”.
- **Springer-Link:** servicio en línea que proporciona acceso de títulos de revistas, artículos y textos completos de amplios temas, con índole científica. El enlace de acceso es “link.springer.com”.
- **Pubmed:** es un motor de búsqueda gratuito, propiedad del Centro Nacional de Información Biotecnológica (NCBI); vinculado a su vez a la Biblioteca Nacional de Medicina (NLM). Su enlace de acceso es “pubmed.ncbi.nlm.nih.gov”.

Se extrajeron y analizaron datos prioritarios y destacados según el contenido como, tipo de estudio, aplicación de los reguladores, resultados de los experimentos...etc. Fueron usadas palabras clave como “plant growth regulator”, “spray”, y “seed priming”; de donde hallamos 62 resultados, de los que se han seleccionado artículos tanto por el manejo de los reguladores de crecimiento anteriormente desglosados, como los títulos de mayor impacto.

5. RESULTADOS

5.1. Aplicación de reguladores del crecimiento vegetal mediante spray foliar

- Artículo: **Gupta, S., Agarwal, V.P. & Gupta, N.K. Efficacy of putrescine and benzyladenine on photosynthesis and productivity in relation to drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Physiol Mol Biol Plants* 18, 331–336 (2012). <https://doi.org/10.1007/s12298-012-0123-9>**

En este artículo, se estudia como de eficaces son las poliaminas y citoquininas, concretamente, putrescina (Put) y benciladenina (BA) cuando se somete el trigo

(*Triticum aestivum* L.) a condiciones de sequía. Las semillas de trigo HD 2329 (sensibles a la sequía) fueron sembradas en macetas con tierra complementada con N, P, K y estiércol durante un mes. La aplicación foliar de la Put (0.1 mM) y BA (0.05 mM) ocurrió en el comienzo de la etapa de la antesis. El estrés hídrico se producía cuando se dejaba de regar en la antesis. Las plantas control no sufrían estrés hídrico. Los resultados obtenidos indicaban que ambos RCV mantenían el contenido relativo de agua (CRA) más alto que los controles, con más eficacia de Put que de BA. También, si no se aplicaba los RCV, había disminución de clorofila. Todos estos parámetros determinaron una mejora del rendimiento del grano, y que el principal regulador era la putrescina ya que se obtenían diferencias significativas respecto a la benciladenina.

- Artículo: **Valluru, R., Davies, W. J., Reynolds, M. P., & Dodd, I. C. (2016). Foliar abscisic acid-to-ethylene accumulation and response regulate shoot growth sensitivity to mild drought in wheat. *Frontiers in Plant Science*, 7, 461. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00461>**

Este estudio quiso demostrar cómo afectan las condiciones de sequía a diferentes genotipos de trigo de primavera (*Triticum aestivum* L.) cuando crecen en condiciones de sequía. Estos genotipos fueron tolerantes a la sequía (grupo DT: Kea, Attila, Florkwa) y sensibles a la sequía (grupo DS: Serim32, Simorge, Barbet1). El artículo se compone de dos fases: una fase donde las semillas fueron germinadas en una placa Petri en condiciones de temperatura ambiente, desde donde fueron plantadas a los 7 días en macetas de 0.5 L con compost y con un fotoperiodo de 12 h entre 22 y 25° C. Se impuso un estrés hídrico leve (MWD) donde el agua del cultivo era de 300 mm para reproducir las condiciones de sequía. En este estado, se efectuaron análisis como la evapotranspiración (ET), acumulación endógena de ABA y etileno, y peso seco. Y otra fase en que las semillas fueron sembradas y sometidas a condiciones de sequía (< 300 mm), y que cuando llegaban a desarrollar plántulas de 3 hojas, se aplicaban ABA (0.1 µM) y ACC (0.1 µM) (precursor de etileno) foliarmente. Los análisis se midieron a los 7 días siguientes. Los resultados demostraron que el grupo DT mantenía o mejoraba el índice de biomasa de los brotes y DS empeoraba

en niveles endógenos bajos de etileno y ABA en condiciones de MWD. Además, hubo diferencias significativas en cuanto a concentraciones de ABA y ACC en MWD y condiciones de cultivo bien regadas (WW)(condiciones de regadío por encima de 300 mm), que sugiere a su vez una ganancia de carbono (*g*). También se vió crecimiento mejorado de los brotes del grupo DT en MWD sugiriendo que estrés hídrico leve en genotipos DT (grupo tolerante al estrés) incrementa la biomasa y (*g*). Entre los grupos DT y DS también tenían diferencias significativas en la proporción de ABA y ACC. En el grupo DS, se acumulaba mayor biomasa respecto al control en plántulas de trigo, debido a una proporción baja de ABA y ACC. No obstante, la aplicación exógena de los RCV incrementó la acumulación de carbohidratos específicos en las hojas, lo que sugieren la mejora de parámetros como clorofila, fotosíntesis, y estado de las hojas verdes. En general, ABA aumentó la tasa relativa de crecimiento del brote (RGR) del grupo DS, y ACC en ambos grupos respecto al control, lo que representaría que con la aplicación de bajas concentraciones de estos RCV se pueden obtener altos rendimientos de los cultivos en condiciones de campo.

- Artículo: **Tahir, M. T., Anjum, M. A., Saqib, M., Khalid, M. F., & Hussain, S. (2019). Seed priming and foliar application of plant growth regulators affect the growth and yield of okra under calcareous soils. Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus, 18(4), 25–33. <https://doi.org/10.24326/asphc.2019.4.3>**

En este estudio, se evaluó el efecto de los RCV utilizando las técnicas de seed priming y spray foliar en cultivos de Okra (*Abelmoschus esculentus*) en suelos calcáreos; con una duración del experimento de 2 años. Se usaron 3 variedades de la planta Okra: “Sabzpari”, “Green ferry” y “Punjab selection”. En cuanto a RCVs, se utilizaron el ácido naftalenacético (ANA), ácido giberélico (GA3), y citoquininas, concretamente la quinetina; la concentración utilizada tanto en spray foliar como en seed priming fue de 100 ppm. Mientras que la imbibición de semillas o “seed priming” duró 12 horas, con posterior sembrado de las semillas, la aplicación foliar fue realizada a los 30 días y 45 días de la siembra. Como control, se utilizó el agua destilada. En cuanto a las características del suelo, constaba de suelo calcáreo a pH=8.3 con

concentraciones de 10.5 ppm de P, y de 210 ppm de K. Se controlaron y midieron parámetros del crecimiento vegetativo (ratio de germinación de la semilla, altura de la planta en la floración, altura final de la planta, y número de hojas y ramas por planta), crecimiento reproductivo (número de flores por planta, frutos, longitud y diámetro de la vaina), y efectos de los tratamientos sobre el rendimiento de los cultivos (peso seco y peso fresco). En el tratamiento por spray foliar, los resultados son variados, pero destacan la altura de la planta, donde la aplicación de la GA3 ha proporcionado datos significativos. Por otra parte, la quinetina, junto al control, fueron los que obtuvieron valores más bajos. La auxina y el ácido giberélico estimulan el crecimiento de la planta debido a efectos promotores de la misma. Se destaca la propiedad de la ANA, que induce la dominancia apical, y causa la estimulación del crecimiento de la planta. También, el ANA presentó datos significativos en el número de hojas y ramas por planta; seguido por el GA3, quinetina, y el control. Por otro lado, el GA3 es el segundo regulador de crecimiento aplicado por spray foliar que obtuvo mejores resultados, dejando a la quinetina como la que presentaba los resultados más bajos en los parámetros estudiados. En cuanto a frutos, se observaron valores ligeramente superiores a las condiciones normales de cultivo, excepto quinetina que registró el mínimo de frutos obtenidos. Se concluyó por tanto que la aplicación foliar de ANA y GA3 fueron efectivos sobre el crecimiento, floración, el cuajado de frutos, el rendimiento de las vainas, y en el rendimiento de la producción. En cuanto al seed priming, el cultivo de Punjab seguido del cultivo Sabzpari es el que demostró obtener mejores resultados de hojas, vainas, y flores. Además, seed priming al igual que el método foliar obtuvo diferencias notables de GA3 y ANA destacando el papel de GA3 en los cultivos de Okra en condiciones de suelo calcáreo.

- Artículo: **Wang, YH., Zhang, G., Chen, Y. et al. Exogenous application of gibberellic acid and ascorbic acid improved tolerance of okra seedlings to NaCl stress. *Acta Physiol Plant* 41, 93 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11738-019-2869-y>**

Ante la sensibilidad de ciertas especies vegetales, como la Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) (quimbonbó) a la salinidad, se han desarrollado diferentes

soluciones con el fin de incrementar la tolerancia salina de estas especies. Se realizó un experimento basado en aplicar foliarmente GA3. Una vez que las semillas fueron esterilizadas, se dejaron germinar en oscuridad durante 72 h a 28° C. Luego, se sembraron en macetas. A las muestras experimentales, se las trató con concentraciones progresivas de 25 mM hasta llegar a 100 mM de NaCl. Al cabo de 7 días, se les aplicó 0.1 mM de GA3 foliarmente. Los efectos negativos vistos en el estudio fueron: alteración del potencial hídrico, toxicidad iónica, desequilibrio de iones y hormonas, inhibición de la división y expansión celular, y crecimiento apical. Cuando se aplicaba GA3 exógeno, se contrarrestaba la reducción de pigmentos fotosintéticos, sobretodo oxidación de la clorofila y degradación de los complejos pigmento-proteína. Además, también se protegía del daño oxidativo, ya que se observó un elevado contenido de carotenoides. También la aplicación foliar disminuyó el contenido de Na y Cl en brotes, y redujo las cantidades de estos en raíz, y que una menor acumulación de Na en hojas podría mostrar menos efectos dañinos en las funciones de éstas. Elementos como el K, Ca, Mg y Fe, disminuían significativamente en respuesta al estrés salino, mientras que en tratamientos con GA3 estos elementos minerales incrementaban. La peroxidación lipídica, cuantificado con MDA (malondialdehído) y el estrés oxidativo con peróxido de hidrógeno (H₂O₂), fueron elevados en referencia a las plantas estresadas por solución salina, mientras que el GA3 muestra niveles más bajos de electrolitos, e inhibición de la generación de H₂O₂, y MDA. Lo que sugiere que GA3 induce protección frente a la toxicidad, alteración metabólica del citosol, y protege antes roturas de la membrana por estrés salino. Las enzimas antioxidantes superóxido dismutasa (SOD), peroxidasas (POD), y actividad de la catalasa (CAT) se vieron incrementadas ante la exposición de Na. En cuanto a solutos orgánicos, como la prolina que estabilizan las membranas y mantienen el potencial de presión frente al estrés hídrico, aumenta significativamente en respuesta al tratamiento con NaCl y que revierten los niveles de prolina cuando se usa GA3. Este descenso podría deberse a una mejor absorción de N, enzimas relacionadas, aminoácidos y proteínas. Se concluyó que el GA3 ofrece protección frente a las consecuencias negativas del estrés salino.

- Artículo: **Pacholczak, A., Zajączkowska, M., & Nowakowska, K. (2021). The effect of brassinosteroids on rooting of stem cuttings in two barberry (*Berberis thunbergii* L.) cultivars. Agronomy, 11(4), 699. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040699>**

Para esta investigación, se trabajó con esquejes semilignificados de tallos provenientes de cultivos de agracejo (*Berberis thunbergii* L.), concretamente de la variedad “Maria” y la variedad “Red Rocket”. Estos cultivos, fueron trasplantados a una mezcla de turba y perlita en proporción 2:1, y cubierta con arena gruesa de 0.5 cm. Se diseñaron 6 tratamientos (Figura 5.1) con 3 réplicas, cada una de 20 esquejes estudiados durante 8 semanas. En el estudio, se testaron dos tipos de brasinoesteroides (BRs), brasinolido (BL) (0.05%) y 24-epibrasinolido (24-epiBL) (0.05%), y auxina en forma de ácido indol-3-butírico (AIB) (200 mg L⁻¹). Las plantas control fueron rociadas con agua. Todos los RCV, mezclados o solos, fueron aplicados en spray foliar. Así pues, la hipótesis a corroborar fue evaluar el efecto de los tipos de brasinoesteroides en comparación con la aplicación de la auxina en el enraizamiento. Para determinar la efectividad de cada una, se diseñó una escala de 5 puntos, calificando el cepellón (masa principal de raíces debajo del tallo de las plantas) de los cortes (Figura 5.2). Solo los esquejes con una puntuación comprendida en el rango de escala 2 y 5, se determinaron como enraizados. En resumen, todos los estimuladores de crecimiento afectaron positivamente a la formación de raíces. No obstante, la variante “Maria” obtuvo en torno a 1 cm más de longitud de las raíces que los controles en los tratamiento BRs combinados con las soluciones AIB, y tratamiento de 24-epiBL solo y mezclado con AIB para variedad “Red Rocket”. Asimismo, se apreció un enraizamiento de un 5% superior al control en la variante “Maria” para los BRs, pero no fue así para la auxina. Por tanto, el tratamiento combinado de brasinoesteroides y auxina es el que mejor resultado de enraizamiento proporcionó para esta variante. Para la variante “Red Rocket” la mezcla de auxina y brasinoesteroides se clasificó como también el mejor tratamiento de enraizamiento. La aplicación conjunta de estos RCV demostró también niveles superiores de clorofila, azúcares, aminoácidos libres que el control. Además, el aplicar únicamente AIB y AIB mezclado con 24-epiBL supuso elevar los niveles de peróxido de hidrógeno que es beneficioso para un alto grado de

enrizamiento. Al final, aplicar BRs fueron obtener resultados positivos pero que combinados con auxina fueron mejores.

No. of Treatment	Methods of Cuttings Treatment
1	Control "0" 1 spraying with distilled water
2	spraying with IBA 200 mg·L ⁻¹
3	spraying with Brassinolide (BL) 0.05%
4	spraying with Brassinolide (BL) 0.05% + IBA 200 mg·L ⁻¹
5	spraying with 24-Epi brassinolide (24epiBL) 0.05%
6	spraying with 24-Epi brassinolide (24epiBL) 0.05% + IBA 200 mg·L ⁻¹

Figura 5.1. Los tratamientos del diseño experimental

Characteristics of the Degree of Rooting	Score
Cutting without visible roots	1
A few (1–3) short roots	2
4–5 roots, some of them branched, no root ball formed	3
Medium sized root system composed of 6–10 branched roots forming a root ball	4
Well developed, branched root system forming a root ball (over 10 roots)	5

Figura 5.2. Clasificación del tamaño radicular

- Artículo: **Chen, Guanjie, Zheng, Dianfeng, Feng, Naijie, Zhou, Hang, Mu, Dewei, Liu, Ling, Zhao, Liming, Shen, Xuefeng, Rao, Gangshun, & Li, Tianzi. (2022). Effects of exogenous salicylic acid and abscisic acid on growth, photosynthesis and antioxidant system of rice. *Chilean journal of agricultural research*, 82(1), 21-32. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392022000100021>**

En este artículo, cuyo objetivo se centró en estimar los efectos del spray foliar, al someter a la planta a: AS (100 mg L⁻¹) y ABA (4 mg L⁻¹), y comprobar el rendimiento en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.). Se trabajó con dos variedades, “Wanshengyoutianhong-4 (W4)”, que era un arroz híbrido, y la variedad “Huanghuazhan (HZ)”, que resulta ser el arroz convencional. El diseño

experimental incluyó dos 2 fases de crecimiento: plántula y estadio reproductivo. Para ello, las semillas fueron sembradas en recipientes de plástico con suelo nutritivo “Latosol”, y rociadas con fertilizantes y los RCV descritos anteriormente. Se estudiaron parámetros fisiológicos como: altura de la planta, anchura de la base del tallo, área foliar, peso fresco y seco de los brotes y raíces. Los resultados obtenidos demostraban que existían mejoras significativas en plántulas W4. No obstante, fueron contraproducentes estos resultados en la variedad HZ, lo que hacía sospechar de diversos efectos según el cultivo, más concretamente cuando se aplicaba AS. En cuanto a los niveles de clorofila, la aplicación de ABA y AS mejoró el contenido de clorofila en W4, pero se redujo en HZ. Y además, se observó que el ABA y el AS son un sistema de protección antioxidantes ya que se fomentó CAT, peroxidasa (POX), ascorbato peroxidasa (APX) y SOD, disminuyendo los niveles de malonildialdehído (MDA) y EROs en W4. Sin embargo, en el genotipo HZ, se encontró inhibición de POD, APX, CAT, y altos niveles de peroxidación lipídica como un efecto antagónico de aplicar RCV. Por otra parte, la mejora de las reacciones fotosintéticas, así como la conductancia estomática (ce), tasa de transpiración (Tt), eficiencia en el uso del agua (EUA), y conductancia mesófila aparente (CMA), mejoró en los 2 cultivares, así como el peso del grano en la etapa reproductiva. Por tanto, se concluye que hubo una mejora en los parámetros fotosintéticos y peso del grano cuando se aplicaron los RCV descritos, sobre todo en la variedad W4, aunque algunos tuvieron efectos contradictorios en HZ.

- Artículo: **Ihsan, M.Z., Khaliq, A., Siddiqui, M.H. et al. The Response of *Triticum aestivum* Treated with Plant Growth Regulators to Acute Day/Night Temperature Rise. *J Plant Growth Regul* (2022). <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10574-9>**

Como consecuencia del cambio climático y la variación de la temperatura global, se prevé que el rendimiento del trigo (*Triticum aestivum* L.) disminuya considerablemente. Para entender la repercusión de varios reguladores de crecimiento, y la temperatura, sobre el rendimiento del trigo, se propuso un protocolo experimental diseñado con macetas, sembradas con semillas de

trigo. Las macetas, cada una con 10 semillas, fueron regadas mediante la técnica de “spray foliar” con dosis de 10 ml por maceta, después de ya comenzada la antesis, y expuestas al estrés. Los RCV, todos a concentraciones de 300 ppm, fueron: jasmonato de metilo, ácido salicílico + jasmonato de metilo, ácido ascórbico + jasmonato de metilo, y ácido indol-3-acético + jasmonato de metilo. Las plantas fueron expuestas a ciclos térmicos diurnos (12 h) y nocturnos (12 h), con temperaturas comprendidas entre 28 y 42°C, en una cámara de crecimiento, diversificadas en réplicas donde se alternaba las horas de exposición al estrés, y la temperatura dentro de dicho rango. En términos generales, se redujo el contenido de clorofila, y hubo una menor producción de biomasa, ante el factor de estrés termal. Aunque, cuando se aplicaron los RCV se notaron mejorías parciales de este efecto. El crecimiento del trigo se vio afectado por la altura, y la translocación inadecuada de las reservas de alimentos. Además, la viabilidad del polen, deposición de granos de almidón, y formación y desarrollo de semillas fueron también afectadas. Una temperatura superior a 34-38°C condiciona la pérdida de clorofila foliar, altera el flujo lineal de electrones (FLE) y rendimiento cuántico del FOTOSISTEMA II. Las temperaturas superiores a 40 °C producen pérdida de electrolitos dentro de las membranas tilacoidales, desnaturalización de proteínas, y niveles de NADPH y ATP por debajo de los normales. En cuanto a los EROs, existe una producción y acumulación excesiva. Las enzimas APX, CAT y SOD aumentaron progresivamente cuando el estrés por temperatura se incrementaba, pero disminuía cuando el estrés era de nivel agudo (Figura 5.3.). El ácido salicílico en combinación con el Jasmonato de metilo es el que mejor afronta los efectos adversos del estrés por temperatura en las plantas pero se concluye que en general los RCV paliaron las consecuencias de este tipo de estrés.

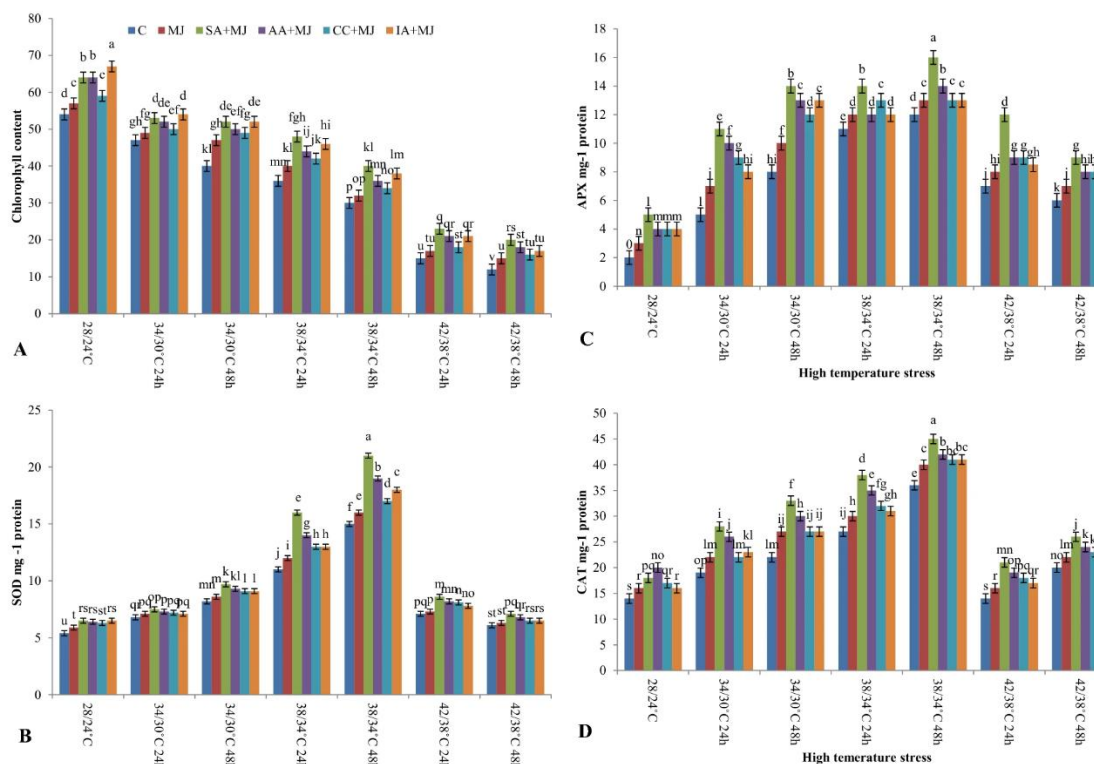


Figura 5.3. Respuestas fisiológicas de la hoja (**A** contenido de clorofila, **B** SOD; superóxido dismutasa, **C** APX; ascorbato peroxidasa y **D** CAT; actividad catalasa) contra el estrés de las temperaturas diurnas/nocturnas y la aplicación foliar de combinaciones diferentes de reguladores del crecimiento de las plantas. Las barras representan la desviación estándar. Diferentes letras representan las diferencias estadísticas entre los tratamientos a $P \leq 0,05$ según la prueba de LSD.

La tabla 5.1 contiene un resumen de todos estos efectos producidos por los RCV aplicados mediante spray foliar.

5.2. Aplicación de reguladores del crecimiento vegetal mediante seed priming

- Artículo: Sneideris, L. C., Gavassi, M. A., Campos, M. L., D'Amico-Damião, V., & Carvalho, R. F. (2015). Effects of hormonal priming on seed germination of pigeon pea under cadmium stress. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 87(3), 1847–1852. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201520140332>

El estudio citado tenía como objetivo valorar como el “seed priming” en *Cajanus Cajan* L. Mill sp (guandú o frijol de palo), similar al guisante, respondía al estrés

por cadmio (Cd). Se empezó con el remojo de las semillas en 200 ml de auxina ácido indol-3-butírico (AIB), citoquinina (CK), GA3, etileno (ET), y ABA, a concentraciones entre 10 y 100 μM . Después con papel de filtro y agua destilada se lavaron y secaron las semillas a la sombra a temperatura ambiente durante 24 h. A continuación, se esterilizaron y se colocaron en recipientes de plástico con 50 μM de cloruro de cadmio (CdCl_2) a 25°C con fotoperiodo de 16 horas de luz/8 oscuridad. Se encontró que la germinación de semillas de guisante fue notable en comparación al control (semillas tratadas solo con agua) bajo estrés por Cd. No obstante, el trato con ABA a concentración de 100 μM fue similar al control ya que el ABA está relacionado con la inhibición de síntesis de enzimas y otros procesos relacionados al endospermo y paredes celulares, a estas concentraciones. Para el etileno, hubo un aumento considerable del porcentaje de semillas que germinaron. Este hecho sugiere que el ET ayuda en cierto modo a adquirir una tolerancia a la toxicidad por Cd. Las medidas halladas en el diseño experimental fueron velocidad de germinación (GSI), tiempo medio de germinación (AGT), tiempo hasta alcanzar el 50% de germinación (T50) y porcentaje final de germinación (PFG %). No se hallaron diferencias significativas de los RCV respecto al ET pero sí con el control. Aunque los RCV han conseguido valores de mejora similares, el ET a concentración más baja fue el que obtuvo mayor porcentaje de germinación, pero solo cuando es estrés por cadmio y no con otros metales pesados por lo que es necesario seguir investigando con otros elementos.

- Artículo: Liu, Y., Xu, H., Wen, X.-X., & Liao, Y.-C. (2016). Effect of polyamine on seed germination of wheat under drought stress is related to changes in hormones and carbohydrates. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(12), 2759–2774. [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(16\)61366-7](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(16)61366-7)

Aunque hay varios estudios sobre los efectos de las poliaminas (PA) en la germinación de semillas, bajo estrés hídrico, no se ha llegado a profundizar en el “seed priming” con PA, por tanto este artículo pretendió indagar en este asunto. Para ello, se usaron seis genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.), variedad resistente a la sequía (Changhan 58, Lunxuan 988, y Xiza 5), y no

resistentes (Wanmai 52, Luomai 18 y Zhengmai 7698). Tras esterilizar las semillas, se aplicó el cebado con 0.1 mmol L⁻¹ de putrescina (Put), espermidina (Spd), y espermina (Spm) durante 6 h entre 22° C y 18° C de temperatura y fotoperiodo de 12 h durante 7 días. Para el estrés hídrico se usó el agente osmótico polietilenglicol (PEG-6000). Primeramente, no se observaron diferencias apreciables en los niveles libres de Spd y Put durante la germinación de cultivos normales. Aunque si bien, en cultivares no sensibles a la misma, Spd sufrió un incremento respecto a los sensibles. Para Put fue menor en cultivos resistentes a la sequía, que indica que Spd favorece la germinación bajo condiciones estresantes por sequía. También se vio que las semillas cebadas con Spd aumentaron el tamaño del coleóptilo y radícula. Además, la Spm podría también favorecer la germinación de semillas en estrés hídrico, pero de manera menos influyente. Además, se relacionó los niveles de hormonas endógenas como AIA y ácido Giberélico (GA3) con los niveles de Spd y Spm que tendrían como efecto fomentar la germinación y el crecimiento de radicular y del coleóptilo. Put, Spd, y Spm elevaron el contenido de ABA pero más notable fue para el tratamiento de Put. El ABA puede promover la resistencia de la sequía en las plantas. Otros efectos fueron una mayor concentración de azúcares solubles como es el almidón y con ello GA3, dando una menor inhibición de la germinación de las semillas por sequía. Por tanto, se demuestran los efectos beneficiosos implicados en mejorar la germinación en condiciones de sequía cuando se aplica Spd y Spm mediante cebado de semillas.

- Artículo: **Singh, V.P., Kumar, J., Singh, M. et al. Role of salicylic acid-seed priming in the regulation of chromium (VI) and UV-B toxicity in maize seedlings. *Plant Growth Regul* 78, 79–91 (2016). <https://doi.org/10.1007/s10725-015-0076-4>**

El estrés debido a la toxicidad por metales pesados y la radiación ultravioleta (UV-B) son factores vitales en disminuir el rendimiento de los cultivos. Este estudio pretendió indagar en el máximo provecho que puede obtenerse del cultivo de maíz (*Zea mays* L. cv. Nootan) cuando se ceba hormonalmente con AS (500 µM). Para ello, se realizaron tres fases de estudio: primera fase donde

se observaba el efecto del cromo (Cr) y UV-B combinados y sin combinar en la fotosíntesis, masa seca, protección del estrés oxidativo, y las oxidaciones; segunda fase donde se valoraba el nivel de AS; y tercera fase con cebado de las semillas de maíz en AS. Una vez esterilizadas las semillas, fueron incubadas durante 2 días en oscuridad, hasta aparecer plántulas que fueron sembradas a su vez en fotoperiodo de 16/8 h a 30/26° C. Después, se sembraron en un medio nutritivo "Rorison". Una vez aclimatadas, se impusieron condiciones de 0.50 y 250 μM de Cr y exposiciones diarias de 4 h de UV-B (0.4 μmol de fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$). El día 15 se recolectaron las muestras. Para el cebado, simplemente se remojaron las semillas durante 24 h en AS. Las cuantificaciones de las fases demostraron que el cebado con AS disminuye los efectos negativos del estrés oxidativo por Cr y UV-B en plántulas de maíz. Por una parte, el Cr permitió que las plántulas crecieran menos con una menor fotosíntesis, alteración del AS, regeneración de EROs y mínimos antioxidantes como CAT, ascorbato y glutatión. El cebado de AS protege de estos efectos. Por otra parte, se encuentra que para UV-B se produce un daño severo por estrés oxidativo, contrarrestado cuando se aplica el cebado. Cuando se aplica el tratamiento Cr y UV-B juntos, los niveles de EROs se multiplican de forma dependiente de la dosis. Esto suponía un aumento en las oxidaciones de lípidos y proteínas dando un bajo índice de estabilidad de la membrana (IEM). También se vieron niveles altos de SOD, y APX a diferencia del control. Por tanto, el AS proporciona mecanismos de protección de las plántulas de maíz frente al estrés por UV-B y Cr.

- Artículo: **Sheteiwy, M. S., Gong, D., Gao, Y., Pan, R., Hu, J., & Guan, Y. (2018). Priming with methyl jasmonate alleviates polyethylene glycol-induced osmotic stress in rice seeds by regulating the seed metabolic profile. *Environmental and Experimental Botany*, 153, 236–248. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.06.001>**

Este diseño experimental se ejecutó mediante la hipótesis de dilucidar el mecanismo de tolerancia del arroz al estrés osmótico, simulado por polietilenglicol (PEG). Para ello se cebaron semillas de arroz (*Oryza sativa*) con jasmonato de metilo (JAMe) a concentración de 0, 2.5 y 5 mM a 15° C de temperatura. Las semillas, 50 para cada tratamiento, se dejaron germinar antes

de su incubación y posterior colocación en una cámara de germinación durante 14 días con 30 g/L de PEG. Las primeras características estudiadas fueron la germinación y parámetros de las plántulas, como disminución de biomasa y el CRA, que se redujeron bajo estrés ocasionado por el PEG. El cebado de JAMe a 2.5 mM en comparación a 5 mM y semillas no cebadas obtuvo una mejoría bastante notable. En cuanto al contenido de clorofila, y la tasa de fotosíntesis neta (P_n) eran positivas con el cebado de 2.5 mM en condiciones de estrés. No obstante, el tratamiento no cebado se vio seriamente perjudicado ante el estrés osmótico. La mejoría observada en la planta con JAMe se podría relacionar con una mayor fijación del CO_2 . Otras medidas como la concentración de CO_2 intracelular (C_i), tasa de transpiración (T_t), o la conductancia estomática (C_e) eran perjudicadas en condiciones de estrés osmótico, en comparación al control. Pero el cebado mejoraba el contenido de clorofila y la eficiencia fotoquímica (F_v/F_m), metabolitos, aminoácidos libres respecto al control. Todos estos efectos positivos suponen un mecanismo defensivo al estrés osmótico.

- Artículo: **Jan, S., Noman, A., Kaya, C., Ashraf, M., Alyemeni, M. N., & Ahmad, P. (2020). 24-epibrassinolide alleviates the injurious effects of Cr(VI) toxicity in tomato plants: Insights into growth, physio-biochemical attributes, antioxidant activity and regulation of ascorbate–glutathione and glyoxalase cycles. Journal of Plant Growth Regulation, 39(4), 1587–1604. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10169-2>**

Este artículo analiza los efectos de la aplicación de 24-epibrassinolido (EBR) de 10^{-7} M y cromo Cr, en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) con la técnica de “seed priming”. Las semillas se dejaron en remojo durante 8 horas con el regulador de crecimiento. A continuación, se sembraron, germinaron, y se les pulverizó cada semana 200 ml de solución Hoagland combinada con 10 mg de cromo por kilo de cultivo. A las plantas control, únicamente se les regaba con la solución sin cromo. A los 40 días, fueron cosechadas. La habilidad del EBR para mejorar el crecimiento de la planta se debe a su capacidad de involucrarse en el proceso de división y elongación celular; además de incrementar la actividad de las enzimas relaciones con estos procesos. Se observó que en las plantas tratadas con Cr había un descenso significativo en los niveles de clorofila total, y carotenoides, lo que afectó al rendimiento del

fotosistema II (PSII), así como una disminución en la Pn, y transpiración (T). No obstante, el tratamiento de EBR en plantas estresadas por Cr, contrarrestó los efectos perjudiciales del mismo y restauró la funcionalidad del Pn y la T. Otros efectos de haber aplicado EBR fueron disminución de EROs, como el peróxido de hidrogeno (H_2O_2), una menor peroxidación de lípidos, y un aumento de la actividad de la enzima SOD. Por tanto, se puede dilucidar que los efectos tóxicos de Cr en plantas de tomate fueron mitigados gracias a los procesos bioquímicos desencadenados por el EBR.

- Artículo: **Sasi, M., Awana, M., Samota, M. K., Tyagi, A., Kumar, S., Sathee, L., Krishnan, V., Praveen, S., & Singh, A. (2021). Plant growth regulator induced mitigation of oxidative burst helps in the management of drought stress in rice (*Oryza sativa* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 185(104413), 104413.**
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104413>

El presente estudio demostró que el cebado de semillas conseguía incrementar la tolerancia del arroz (*Oryza sativa* L.) ante el estrés por sequía. Se estudiaron dos variantes de arroz, la variante Nagina-22 (N-22, tolerante a la sequía), y Pusa Sugandh-5 (PS-5, sensible a la sequía). Los RCV que se pusieron en contacto con la semilla fueron Jasmonato de metilo (JM), ácido salicílico (AS), a concentración de 100 μ M. Las plantas fueron regadas con solución Hoagland todos los días hasta que se indujo el estrés por sequía que consistía en dejar de regarlas. Las plantas control (no cebadas y sin estrés) fueron regadas primero con solución de Hoagland, pero después con agua durante los estreses. El análisis morfológico en plantas control (no cebadas) producían menores características fisiológicas que las cebadas. La variante N-22 (tolerante a la sequía) manifestó mejor morfología que las PS-5 (sensible al estrés hídrico), donde el JM tenía mayor efecto positivo en el estrés. En cuanto al CRA, se redujo notablemente, sobre todo en muestras no cebadas y cebadas con AS en N-22. Para N-22, el mejor resultado de CRA fue con el tratamiento de JM, y una retención máxima del 65%. Por el contrario, PS-5 también mostró una retención del 60% para JM, y del 55% en AS. El análisis de actividad antioxidante total en raíces indicó que: para el genotipo N-22, JM aumentó la actividad antioxidante en un 16%; mientras que AS lo incrementó en un 25%

para la variante PS-5. Sobre el contenido fenólico total, que actúa como antioxidante, JM obtuvo un rendimiento significativo del 21% y 50%, para el genotipo N-22 y PS-5. En el caso de AS, no hubo diferencias significativas. El PS-5, con ayuda de JM, mostraba un 64% menos de peroxidación lipídica, a diferencia de 31% en AS. En el estudio, se analizó los niveles endógenos de ABA que mostraron mayores niveles con el cebado de JM. Por tanto, a raíz de los resultados obtenidos se deduce que el JM y AS surtían efecto en ambos genotipos en los parámetros estudiados pero sólo el cebado con JM conseguía maximizar estos datos y los niveles de ABA.

- Artículo: Zhu, Z. H., Sami, A., Xu, Q. Q., Wu, L. L., Zheng, W. Y., Chen, Z. P., Jin, X. Z., Zhang, H., Li, Y., Yu, Y., & Zhou, K. J. (2021). Effects of seed priming treatments on the germination and development of two rapeseed (*Brassica napus* L.) varieties under the co-influence of low temperature and drought. *PloS One*, 16(9), e0257236. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257236>

La colza (*Brassica napus* L.) es un cultivo de alto impacto económico, pero también de alta sensibilidad a las bajas temperaturas y a la sequía, lo que supone un hándicap para su productividad. Se experimentaron con la variedad Za You 15 (ZY15), y Hui You 49 (HY49), donde la primera es tolerable a las variables de sequía y temperaturas frías, mientras que la otra variante es susceptible a estos factores. Se usaron dos niveles de potencial hídrico, 0.0 MPa para el control y -0.15 MPa para el nivel experimental. Para la temperatura se utilizaron 25°C (control) y 15°C para el tratamiento. Además, se aplicó polietilenglicol (PEG-6000) para mantener el nivel de sequía. Los RCV aplicados fueron 300 mg L⁻¹ de ácido Giberélico (GA), y 30 mg L⁻¹ de ácido abscísico (ABA) durante 12 horas en oscuridad con los niveles experimentales citados. Posteriormente las semillas de colza se colocaron en placas de germinación con papel de filtro y se impusieron las condiciones descritas nuevamente. Las plántulas que germinaban eran trasplantadas a suelo nutritivo donde eran regadas con solución Hoagland en las mismas condiciones. Los resultados obtenidos fueron que el estrés por temperatura baja redujo los niveles del potencial de germinación (PG), la tasa de germinación (TG) y el

índice de vigor de la semilla (IVS), pero prolonga el tiempo medio de germinación (TMG). Aunque si bien, la aplicación de ABA y GA incrementaron la longitud del tallo y de la raíz, así como el peso fresco y peso seco del tallo. Una vez iniciado el estrés por sequía, y añadidos los agentes de cebado, ZY15 mostró un mejor rendimiento en términos de resistencia al estrés y tasa de germinación que HY49. El presente hallazgo sugirió que GA podría ser un potente RCV para contrarrestar el estrés a temperaturas bajas y sequía, debido a que mejoró en gran parte el peso de las plántulas, además de estimular enzimas que participan en la germinación de las semillas, y regular la expresión de ARNm. También se vieron cambios en la tasa fotosintética de las plántulas, para los reguladores en general. Los niveles de enzimas SOD, CAT, y otras hormonas aumentaron con el tratamiento de GA, pero no del ABA, lo que implica que GA estaría relacionada con la actividad de las enzimas antioxidantes. Se concluye que tanto ABA como GA, pero sobre todo GA repercute en contrarrestar los efectos negativos originados por el estrés hídrico y térmico y que la variante ZY15 fue la de mejor rendimiento seguida de HY49 y controles.

La tabla 5.2 contiene un resumen de todos estos efectos producidos por los RCV aplicados mediante spray foliar.

6. DISCUSIÓN

6.1. Aplicación de reguladores de crecimiento vegetal mediante spray foliar

La revisión bibliográfica demuestra estudios sobre varios reguladores del crecimiento utilizando la técnica de “spray foliar”, y seed priming sobre varias especies de cultivos agrícolas. Aunque se ha trabajado con muchas plantas, la más común es el trigo (*Triticum aestivum*) y el arroz (*Oryza sativa*) ya que son usadas como alimento a nivel mundial y son especies muy sensibles a la sequía. Para el trigo, hay desde simples observaciones de mejoría en los niveles de clorofila y CRA por la aplicación de Put y BA foliarmente (Gupta et al., 2012) hasta investigaciones en las que el diseño experimental consistía en utilizar el spray foliar con varios RCV, entre los que destacaba el ácido salicílico combinado con Jasmonato de metilo. Algunos de estos efectos positivos eran restaurar los niveles de clorofila, Fotosistema II y variación de

FLE, o incluso disminuir los niveles de EROs, SOD, APX y CAT ante el estrés térmico (Ihsan et al., 2022). Un estudio parecido, bajo estrés hídrico, se realizó en trigo, donde además de aplicar los RCV se monitorizaban los niveles de ABA y ACC que eran aplicados previamente, concluyendo que el ABA y ACC fomentaban el RGR según la especie de trigo a tratar (sensible y no sensible a la sequía) (Valluru et al., 2016). Otros estudios realizados en arroz dieron resultados similares a los del trigo en el que se conseguía restaurar el bajo rendimiento en clorofila, enzimas antioxidantes como CAT o POX, APX, SOD, y parámetros ecofisiológicos como la Tt, EUA y CMA cuando se usa ABA y AS (Chen et al., 2022). Otros investigadores han utilizado una combinación de varios RCV como ANA, GA3 y quinetina, utilizando las técnicas de spray foliar y seed priming consiguiendo incrementar notoriamente el crecimiento general de la Okra (*Abelmoschus esculentus*) cuando las plantas crecen sobre suelo calcáreo (Tahir et al., 2019). Estos autores concluyeron que utilizando las técnicas de spray foliar, y seed priming, las hormonas ANA y GA3 producían un alto rendimiento en los cultivos estudiados, mientras que la quinetina influía en menor grado. En comparación a un estudio similar, Wang et al. (2019) demostraron como el GA3 en Okra, aplicado bajo estrés salino, reducía las peroxidaciones ocasionadas por EROs, debido a una mejor protección antioxidante de las enzimas SOD, POD y CAT, siendo el GA3 la hormona vegetal más apropiada para disminuir los efectos negativos del estrés salino. Pocos estudios hay sobre el agracejo (*Berberis thunbergii*), no obstante Pacholczak et al. (2021) observaron que cuando a este especie se le aplican los reguladores BL, 24-epiBL y AIB, se obtuvieron mejores resultados en algunos parámetros. Este estudio reveló que al aplicar BRs y AUX. Al mismo tiempo, se conseguían prometedores grados en el enraizamiento de las plantas, aunque este efecto fue positivo solo en algunas subespecies.

6.2. Aplicación de reguladores de crecimiento vegetal mediante seed priming

En la técnica de cebado de semillas es frecuente encontrar estudios en especies de interés económico importantes, para buscar soluciones a la disminución de productividad frente a estreses hídricos, térmicos o debido a metales pesados. Destaca el ejemplo del trigo, en el que resulta de interés el cebado con Put, Spd y Spm que promueven las hormonas endógenas ABA y GA3, que a su vez inducen efectos en la germinación, crecimiento y tolerancia a la sequía. Sobre todo, Spd y

Spm tienen el papel principal y Put podría producir efectos discordantes dentro del grupo de PAs (Liu et al., 2016). Un ejemplo más claro fue el seed priming de guandú o frijol de palo (*Cajanus Cajan* L. Mill sp), aplicando RCV tales como AIB, CK, GA3, ABA y ET. Los resultados fueron muy prometedores para el ET, aunque sin diferencias significativas para los otros RC (Sneideris et al., 2015). Un estudio realizado en arroz consiguió marcar diferencias significativas en dos especies distintas ante estrés por sequía mediante cebado con AS y JM. Se llegó a concluir con que el AS obtenía valores mayores al control, pero el JM superaba estos valores y conseguía mayores tasas de ABA (Sasi et al., 2021). Otro estudio similar pero en arroz con el cebado de JAMe en diferentes concentraciones y estrés por sequía inducida por PEG, produjo una mayor defensa frente al estrés osmótico gracias a esta técnica. Así pues, se contrarrestaron parámetros como CRA o Pn (Sheteiwy et al., 2018). En lo que respecta a estrés por toxicidad, está el EBR en tomate (*Solanum lycopersicum*) que minimiza las consecuencias por toxicidad en Cr, dando lugar a una menor peroxidación de lípidos y EROs (Jan et al., 2020). Similarmente a lo que ocurre con el spray foliar, el cebado de semillas de *Brassica napus* utilizando GA y ABA frente al estrés por sequía y temperaturas frías es interesante. Al cebar las semillas en dos especies distintas, una sensible y otra tolerante a estos estreses, se demostró que el cebado compensaban los daños derivados de esta situación de estrés, cuyo efecto fue mayor para GAs (Zhu et al., 2021). Asimismo, otros reguladores de crecimiento como el AS son cada vez más frecuentemente utilizados en cultivos como el maíz (*Zea mays* L. cv Nootan). Al cebar las semillas con este RC ante un estrés combinado de Cr y UV-B, se mostraba que la planta desarrollaba varios mecanismos de protección ante estos estreses, compensando las alteraciones de crecimiento, fotosíntesis y oxidaciones entre otros aspectos (Sing et al., 2016).

7. CONCLUSIONES

El cambio climático, la sequía, la salinidad y las temperaturas extremas están produciendo continuamente una disminución de productividad en los cultivos. Ya que la agricultura es el presente y el futuro de la alimentación básica y que mueve millones de euros en todo el mundo, surge la necesidad de querer rentabilizar el sector agrícola con el máximo beneficio. Para ello, surgen nuevas técnicas como la aplicación exógena de reguladores del crecimiento vegetal sobre las semillas (en imbibición) o

mediante spray foliar, sobre hojas, que favorecen el crecimiento y protegen los cultivos frente a diferentes estreses abióticos y bióticos. De los artículos seleccionados, se deduce que podemos tratar un cultivo con uno o varios reguladores de crecimiento y suplir los efectos negativos que surgen ante los diferentes estreses ambientales. Esta revisión deja claro que se puede fomentar la productividad de una manera más rápida, económica y sencilla en los cultivos de mayor interés agrícola a nivel mundial, utilizando estos reguladores del crecimiento mediante estas técnicas. No obstante, es necesario seguir indagando en los mecanismos celulares, bioquímicos, genéticos y fisiológicos que se desarrollan en los diferentes cultivos, ya que los resultados de la aplicación de estos tratamientos varían según la especie y variedad usada, etapa de desarrollo y tipo de estrés.

Tabla 5.1. Resumen de los estudios realizados en base a la bibliografía consultada de la técnica de spray foliar.

TÉCNICA DE SPRAY FOLIAR			
Tratamiento	Especie Vegetal	Efecto fisiológico	Bibliografía
Put (0.1 mM), (BA 0.05 mM) frente al estrés por sequía	<i>Triticum aestivum</i> L. (HD 2329) (sensible a la sequía)	↑ CRA y clorofila en tratamiento de los RCV en comparación con los controles Existen diferencias significativas de Put respecto a BA en los parámetros anteriores	Gupta et al., (2012)
ACC y ABA (0.1 μM) en condiciones de sequía	<i>Triticum aestivum</i> L., grupo DT (tolerante a la sequía) Y grupo DS (sensible a sequía)	↑ carbohidratos, fotosíntesis y hojas verdes. ↑ RGR por ACC en DT y DS respecto al control, pero sólo ABA en DS	Valluru et al., (2016)
ANA, GA3, Quinetina (100 ppm) en cultivos de suelos calcáreos. Se utilizó seed priming 12 horas y spray foliar a los 30 y 45 días de la siembra	<i>Abelmoschus esculentus</i> , variante “Sabzpari”, “Green ferry” y “Punjab selection”.	↑ altura de la planta con GA3 ↓ altura de la planta con quinetina y en control ↑ crecimiento por auxina y GA3 ANA induce dominancia apical y crecimiento ↑ número de hojas y ramas por planta, seguido de GA3, y CK	Tahir et al., (2019)

		↓ rendimiento con quinetina ↑ crecimiento, floración, cuajado de frutos, rendimiento de vainas y producción por ANA y GA3	
GA3 (0.1 mM) en cultivo con hasta 100 mM de NaCl	<i>Abelmoschus esculentus</i>	↑ pigmentos fotosintéticos, ↓ oxidación clorofila, menor degradación complejo pigmento-proteína, y menor daño oxidativo. ↓ Na y Cl en brotes y raíz ↑ incrementos de minerales, ↓ MDA y H₂O₂, ↑ protección frente a toxicidad , ↓ SOD, POD y CAT cuando ↓ Prolina	Wang et al., (2019)
BRs (0.05%), BL y 24-epiBL (0.05%), AIB (200 mg L ⁻¹)	<i>Berberis thunbergii</i> L. cv “Maria” y “Red Rocket”	Maria: ↑ enraizamiento con BRs + AIB Red Rocket: ↑ enraizamiento con 24-epiBL solo y con AIB BRs + AIB obtiene ↑ niveles de clorofila, azúcares, aminoácidos libres AIB o AIB + 24-epiBL supone ↑ H₂O₂ que favorece enraizamiento	Pacholczak et al. (2021)
AS (100 mg L ⁻¹) y ABA (4 mg L ⁻¹)	<i>Oryza sativa</i> L., especie Wanshengyoutianhong-4 (W4) y especie Huanghuazhan (HZ)	Mayor altura de planta, anchura de la base del tallo, área foliar, peso seco y fresco en plantas W4 pero menor en HZ, sobretodo en AS ↑ clorofila en W4 pero ↓ en HZ. ↑ CAT, POX, APX, SOD y ↓ EROs, MDA en W4 ↓ POD, APX, CAT y ↑ peroxidación lipídica en HZ. ↑ ce, Tt, EUA, CMA y peso del grano en HZ y W4	Chen et al. (2022)
Jasmonato de metilo, ácido salicílico + jasmonato de metilo, ácido ascórbico + jasmonato de metilo, ácido indol-3-acético + jasmonato de metilo (300 ppm) en condiciones de estrés térmico	<i>Triticum aestivum</i> L.	↑ clorofila y biomasa RCV contrarresta la ↓ clorofila foliar, ↓ alteración del FLE, ↑ rendimiento cuántico del FOTOSISTEMA II por temperaturas superior a 34-38 °C	Ihsan et al. (2022)

Tabla 5.2. Resumen de los estudios realizados en base a la bibliografía consultada de la técnica de seed priming.

TÉCNICA DE SEED PRIMING			
200 ml de cada RCV AIB, CK, GA3, ET, y ABA (10 o 100 μM) en condiciones de toxicidad por metales pesados	<i>Cajanus Cajan</i> L. Mill sp.	↑ germinación de semillas sobre todo con ET. ABA similar al control por acción inhibitoria ↑ GSI, AGT, T50, Gf % de los RCV frente a control con diferencias significativas, pero no las había respecto al ET a pesar de ↑ germinación	Sneideris et al. (2015)
Cebado de Put, Spd, Spm 0.1 mmol L ⁻¹ , durante 6 h entre 22° C y 18° C y fotoperiodo de 12 h durante 7 días. Se usó PEG-6000 para recrear estrés hídrico	<i>Triticum aestivum</i> L., variedad resistente a la sequía (Changhan 58, Lunxuan 988, y Xiza 5) y no resistentes (Wanmai 52, Luomai 18 y Zhengmai 7698)	↑ germinación en cultivo no sensible por Spd y ↓ Put en cultivos resistentes ↑ coleóptilo y radícula por Spd ↑ germinación por Spm de manera inferior que otros ↑ AIA y GA3 relacionados con ↑ de Spd, Spm que daría ↑ germinación y crecimiento radicular y coleóptilo ↑ ABA por Spd, Spm y sobre todo Put ↑ azúcares solubles por Spd y Spm ↓ germinación con Put	Liu et al. (2016)
0.50 y 250 μM de Cr y exposiciones diarias de 4 h de UV-B 0.4 μmol de fotones m ⁻² s ⁻¹ , y recolectadas a los 15 días. Por último, cebado con 500 μM de AS durante 24 h	<i>Zea mays</i> L. cv. Nootan	AS inhibe los efectos negativos del Cr en la fotosíntesis ↓ EROs, ↑ antioxidantes (CAT, ascorbato y glutatión) ↓ oxidación de lípidos y proteínas, recupera el IEM, y ↓ SOD, APX	Singh et al. (2016)
JAMe (0.2.5) y (5 mM) a 15° C e incubadas durante 14 días con 30 g/L de PEG (estrés osmótico)	<i>Oryza sativa</i>	Restablecimiento de biomasa y CRA en JAMe (2.5 mM) ↑ clorofila, Pn a concentración de 2.5 mM ↑ fijación de CO₂, Ci, Ce ↑ Fv/Fm, y aminoácidos libres	Sheteiwy et al. (2018)

(10 ⁻⁷ M) 24-epibrassinolido (EBR). Cada semana se pulverizaba 200 ml de solución Hoagland con 10 mg Cr por kilo de cultivo durante 40 días	<i>Solanum lycopersicum</i>	↑ clorofila total y carotenoides ↑ rendimiento del PSII ↑ Pn y T ↓ EROs y H₂O₂, peroxidación de lípidos y ↑ SOD	Jan et al. (2020)
JM, AS (100 μM) y cultivo regado con solución Hoagland. Luego, estrés por sequía (se deja de regar)	<i>Oryza sativa</i> L., N-22 (tolerante sequía) y PS-5 (sensible sequía)	Mejor morfología en N-22 con JM como el mayor efecto positivo ↓ CRA en N-22 y PS-5 cebadas con AS, pero ↑ CRA con JM para ambas ↑ actividad antioxidante en N-22 con JM, y AS para PS-5 ↑ contenido fenólico total con aplicación de JM sobre todo para PS-5. AS no obtuvo diferencias significativas respecto a JM pero sí al control ↓ peroxidación lipídica con JM en PS-5. Máximos niveles de ABA con JM en PS-5 y después AS	Sasi et al. (2021)
GA (300 mg L ⁻¹), ABA (30 mg L ⁻¹) durante 12 h y regadas después de germinar con solución Hoagland , con 2 potenciales hídrico (0.0 MPa para control y -0.15 MPa para el tratamiento), y 2 niveles de temperatura: 25° C para control y 15° C para el experimento. Se usó PEG-6000	<i>Brassica napus</i> L., ZY15 (tolera sequía y temperaturas frías), y HY49 (no tolerante a sequía ni temperaturas frías)	↓ PG, TG e IVS y ↑ TMG debido a temperatura baja. Pero ↑ longitud del tallo y raíz, ↑ peso fresco y peso seco del tallo por ABA y GA ↑ resistencia al estrés y tasa de germinación de ZY15 ↑ peso plántulas por GA y ↑ tasa fotosintética por GA y ABA. ↑ SOD, CAT y otras enzimas antioxidantes cuando hay GA pero no ABA GA repercute en los efectos más significativos contra el estrés térmico e hídrico, acompañado de ZY15	Zhu et al. (2021)

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Alcázar, R., Bueno, M., & Tiburcio, A. F. (2020). Polyamines: Small amines with large effects on plant abiotic stress tolerance. *Cells* (Basel, Switzerland), 9(11), 2373. <https://doi.org/10.3390/cells9112373>
2. Alcázar, R., Marco, F., Cuevas, J.C. et al. (2006). Involvement of polyamines in plant response to abiotic stress. *Biotechnol Lett* 28, 1867–1876. <https://doi.org/10.1007/s10529-006-9179-3>
3. Aremu, A. O., Masondo, N. A., Sunmonu, T. O., Kulkarni, M. G., Zatloukal, M., Spichal, L., Doležal, K., & Van Staden, J. (2014). A novel inhibitor of cytokinin degradation (INCYDE) influences the biochemical parameters and photosynthetic apparatus in NaCl-stressed tomato plants. *Planta*, 240, 877–889. <https://doi.org/10.1007/s00425-014-2126-y>
4. Bagheri, M.Z. (2014). The effect of maize priming on germination characteristics, catalase and peroxidase enzyme activity and total protein content under salt stress. *International Journal of Bioscience*, 4, 104-112. <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/4.2.104-112> 5.
5. Bajguz, A., & Hayat, S. (2009). Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*, 47(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2008.10.002>
6. Bhatla, S. C. (2018). Auxins. En *Plant Physiology, Development and Metabolism* (pp. 569–601). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1_15
7. Bishopp, A., Lehesranta, S., Vatén, A., Help, H., El-Showk, S., Scheres, B., Helariutta, K., Mähönen, A. P., Sakakibara, H., & Helariutta, Y. (2011). Phloem-transported cytokinin regulates polar auxin transport and maintains vascular pattern in the root meristem. *Current Biology : CB*, 21, 927–932. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.04.049>
8. Brosa, C. (1999). Biological effects of brassinosteroids. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 34(5), 339–358. <https://doi.org/10.1080/10409239991209345>
9. Bukovac, M. J. (2005). Maximizing performance of plant growth regulators by improving spray application. *Hort. Technology*, 15, 222-231. <https://doi.org/10.21273/horttech.15.2.0222>

10. Chen, G., Zheng, D., Feng, N., Zhou, H., Mu, D., Liu, L., Zhao, L., Shen, X., Rao, G., & Li, T. (2022). Effects of exogenous salicylic acid and abscisic acid on growth, photosynthesis and antioxidant system of rice. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 82(1), 21–32. <https://doi.org/10.4067/s0718-58392022000100021>
11. Dawood, M.G. (2018). Stimulating Plant Tolerance Against Abiotic Stress Through Seed Priming. In: Rakshit, A., Singh, H. (eds) *Advances in Seed Priming*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0032-5_10
12. Dutta, P. (2018). Seed Priming: New Vistas and Contemporary Perspectives. In: Rakshit, A., Singh, H. (eds) *Advances in Seed Priming*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0032-5_1
13. Fariduddin, Q.; Yusuf, M.; Ahmad, I.; Ahmad, A. (2014). Brassinosteroids and their role in response of plants to abiotic stresses. *Biol. Plant.*, 58, 9–17.
14. Flasiński, M., Hąc-Wydro, K. (2014). Natural vs synthetic auxin: studies on the interactions between plant hormones and biological membrane lipids. *Environmental Research*, 133, 123–134. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.05.019>
15. García-Martínez, J. (1997). Gibberellin metabolism and control of fruit growth. In *VIII International Symposium on Plant Bioregulation in Fruit Production* 463 (pp. 39-52).
16. Gupta, S., Agarwal, V. P., & Gupta, N. K. (2012). Efficacy of putrescine and benzyladenine on photosynthesis and productivity in relation to drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Physiology and Molecular Biology of Plants: An International Journal of Functional Plant Biology*, 18(4), 331–336. <https://doi.org/10.1007/s12298-012-0123-9>
17. Hager, A. (2003). Role of the plasma membrane H⁺-ATPase in auxin-induced elongation growth: historical and new aspects. *Journal of Plant Research*, 116(6), 483–505. <https://doi.org/10.1007/s10265-003-0110-x>
18. Han, Y. Y., Li, A. X., Li, F., Zhao, M. R., & Wang, W. (2012). Characterization of a wheat (*Triticum aestivum* L.) expansin gene, TaEXPB23, involved in the abiotic stress response and phytohormone regulation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 54, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.02.007>

19. Hedrich, R., & Shabala, S. (2018). Stomata in a saline world. *Current Opinion in Plant Biology*, 46, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2018.07.015>
20. Igarashi, Kazuei, y Keiko Kashiwagi. (2010). «Modulation of Cellular Function by Polyamines». *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 42, n°1, pp. 39-51. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2009.07.009>.
21. Ihsan, M.Z., Khaliq, A., Siddiqui, M.H. et al. (2022). The Response of *Triticum aestivum* Treated with Plant Growth Regulators to Acute Day/Night Temperature Rise. *J. Plant Growth Regul.* <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10574-9>
22. Jan, S., Noman, A., Kaya, C., Ashraf, M., Alyemeni, M. N., & Ahmad, P. (2020). 24-epibrassinolide alleviates the injurious effects of Cr(VI) toxicity in tomato plants: Insights into growth, physio-biochemical attributes, antioxidant activity and regulation of ascorbate–glutathione and glyoxalase cycles. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39(4), 1587–1604. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10169-2>
23. Kalra, G., Bhatla, S.C. (2018). Absciscic Acid. In: *Plant Physiology, Development and Metabolism*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1_18
24. Khan, A., Khalil, S.K., Khan, A.Z., Marwat, K.B., Afzal, A. (2008). The role of seed priming in semi-arid area for mungbean phenology and yield. *Pak. J. Bot.*, 40, 2471–2480.
25. Kumeera, B., Swapnil, M., Chaurasia, A. K., & Ramteke, P. W. (2018). Effect of seed priming with inorganics on growth, yield and physiological parameters of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought. *Pharma Innov. J.*, 7, 411-414
26. Lara, T. S., Lira, J. M. S., Rodrigues, A. C., Rakocevic, M., & Alvarenga, A. A. (2014). Potassium nitrate priming affects the activity of nitrate reductase and antioxidant enzymes in tomato germination. *Journal of agricultural science*, 6(2). <https://doi.org/10.5539/jas.v6n2p72>
27. Leisner, C. P. (2020). Review: Climate change impacts on food security-focus on perennial cropping systems and nutritional value. *Plant Science*:

- An International Journal of Experimental Plant Biology, 293(110412), 110412. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110412>
28. Liu, L., Xia, W., Li, H., Zeng, H., Wei, B., Han, S., & Yin, C. (2018). Salinity inhibits rice seed germination by reducing α -amylase activity via decreased bioactive gibberellin content. *Frontiers in plant science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00275>
 29. Liu, Y., Xu, H., Wen, X.-X., & Liao, Y.-C. (2016). Effect of polyamine on seed germination of wheat under drought stress is related to changes in hormones and carbohydrates. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(12), 2759–2774. [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(16\)61366-7](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(16)61366-7)
 30. Llanes, A., Reginato, M., Devinar, G., & Luna, V. (2018). What is known about phytohormones in halophytes? A review. *Biologia*, 73(8), 727–742. <https://doi.org/10.2478/s11756-018-0093-7>
 31. Magome, H., Yamaguchi, S., Hanada, A., Kamiya, Y., & Oda, K. (2008). The DDF1 transcriptional activator upregulates expression of a gibberellin-deactivating gene, GA2ox7, under high-salinity stress in Arabidopsis. *The Plant Journal: For Cell and Molecular Biology*, 56(4), 613–626. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2008.03627.x>
 32. Majda, M., & Robert, S. (2018). The Role of Auxin in Cell Wall Expansion. *International Journal of Molecular Sciences*, 19, 951. <https://doi.org/10.3390/ijms19040951>
 33. Matsumoto, Tracie K. (2006). «Gibberellic Acid and Benzyladenine Promote Early Flowering and Vegetative Growth of Miltoniopsis Orchid Hybrids». *HortScience*, 41, nº 1, pp. 131-35. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.1.131>
 34. Miura, K., Tada, Y. (2014). Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. *Frontiers in Plant Science*, 5, 4. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00004>
 35. Nishiyama, R., Le, D. T., Watanabe, Y., Matsui, A., Tanaka, M., Seki, M., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K., & Tran, L. S. (2012). Transcriptome analyses of a salt-tolerant cytokinin-deficient mutant reveal differential regulation of salt stress response by cytokinin deficiency. *PloS one*, 7(2), e32124. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032124>

36. Pacholczak, A., Zajączkowska, M., & Nowakowska, K. (2021). The effect of brassinosteroids on rooting of stem cuttings in two barberry (*Berberis thunbergii* L.) cultivars. *Agronomy*, 11, 699. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040699>
37. Quamruzzaman, Md., et al. (2021). «Improving Performance of Salt-Grown Crops by Exogenous Application of Plant Growth Regulators». *Biomolecules*, 11, p. 788. <https://doi.org/10.3390/biom11060788>.
38. Rhaman, M. S., Imran, S., Rauf, F., Khatun, M., Baskin, C. C., Murata, Y., Hasanuzzaman, M. (2020). Seed priming with phytohormones: An effective approach for the mitigation of abiotic stress. *Plants*, 10, 37. <https://doi.org/10.3390/plants10010037>
39. Roychoudhury, A.; Paul, S.; Basu, S. (2013). Cross-talk between abscisic acid-dependent and abscisic acid-independent pathways during abiotic stress. *Plant Cell Rep.*, 32, 985–1006.
40. Sajjad, Y., Jaskani, M.J., Ashraf, M.Y., Qasim, M., & Ahmad, R. (2014). Response of morphological and physiological growth attributes to foliar application of plant growth regulators in gladiolus 'white prosperity'. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 51, 123-129.
41. Sajjad, Yasar. (2017). Application of plant growth regulators in ornamental plantas: a review. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 54, pp. 327-33. <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/17.3659>
42. Samota, M. K., Sasi, M., Awana, M., Yadav, O. P., Amitha Mithra, S. V., Tyagi, A., Kumar, S., & Singh, A. (2017). Elicitor-induced biochemical and molecular manifestations to improve drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) through seed-priming. *Frontiers in Plant Science*, 8, 934. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00934>
43. Sasi, M., Awana, M., Samota, M. K., Tyagi, A., Kumar, S., Sathee, L., Krishnan, V., Praveen, S., & Singh, A. (2021). Plant growth regulator induced mitigation of oxidative burst helps in the management of drought stress in rice (*Oryza sativa* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 185, 104413, 104413. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104413>
44. Shan, C., Mei, Z., Duan, J., Chen, H., Feng, H., & Cai, W. (2014). OsGA2ox5, a gibberellin metabolism enzyme, is involved in plant growth,

- the root gravity response and salt stress. *PloS One*, 9(1), e87110. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0087110>
45. Sheteiwy, M. S., Gong, D., Gao, Y., Pan, R., Hu, J., & Guan, Y. (2018). Priming with methyl jasmonate alleviates polyethylene glycol-induced osmotic stress in rice seeds by regulating the seed metabolic profile. *Environmental and Experimental Botany*, 153, 236–248. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.06.001>
 46. Singh, V. P., Kumar, J., Singh, M., Singh, S., Prasad, S. M., Dwivedi, R., & Singh, M. P. V. V. B. (2016). Role of salicylic acid-seed priming in the regulation of chromium (VI) and UV-B toxicity in maize seedlings. *Plant Growth Regulation*, 78(1), 79–91. <https://doi.org/10.1007/s10725-015-0076-4>
 47. Sneideris, L. C., Gavassi, M. A., Campos, M. L., D'Amico-Damião, V., & Carvalho, R. F. (2015). Effects of hormonal priming on seed germination of pigeon pea under cadmium stress. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 87(3), 1847–1852. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201520140332>
 48. Stirk, W. A., Gold, J. D., Novák, O., Strnad, M., & van Staden, J. (2005). Changes in endogenous cytokinins during germination and seedling establishment of *Tagetes minuta* L. *Plant Growth Regulation*, 47(1), 1–7. <https://doi.org/10.1007/s10725-005-1767-z>
 49. Tabassum, T., Farooq, M., Ahmad, R., Zohaib, A., Wahid, A., & Shahid, M. (2018). Terminal drought and seed priming improves drought tolerance in wheat. *Physiology and Molecular Biology of Plants: an international journal of functional plant biology*, 24, 845–856. <https://doi.org/10.1007/s12298-018-0547-y>
 50. Tahir, M. T., Anjum, M. A., Saqib, M., Khalid, M. F., & Hussain, S. (2019). Seed priming and foliar application of plant growth regulators affect the growth and yield of okra under calcareous soils. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 18, 25–33. <https://doi.org/10.24326/asphc.2019.4.3>
 51. Ullah, A., Manghwar, H., Shaban, M., Khan, A. H., Akbar, A., Ali, U., Ali, E., & Fahad, S. (2018). Phytohormones enhanced drought tolerance in plants:

- a coping strategy. *Environmental Science and Pollution Research International*, 25(33), 33103–33118. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3364-5>
52. Valluru, R., Davies, W. J., Reynolds, M. P., & Dodd, I. C. (2016). Foliar abscisic acid-to-ethylene accumulation and response regulate shoot growth sensitivity to mild drought in wheat. *Frontiers in Plant Science*, 7, 461. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00461>
 53. Vidya Vardhini, B. (2017). Modifications of morphological and anatomical characteristics of plants by application of brassinosteroids under various abiotic stress conditions - A review. *Plant Gene*, 11, 70–89. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2017.06.005>
 54. Walters, D. R. (2003). Polyamines and plant disease. *Phytochemistry*, 64, 97–107. [https://doi.org/10.1016/s0031-9422\(03\)00329-7](https://doi.org/10.1016/s0031-9422(03)00329-7)
 55. Wang, YH., Zhang, G., Chen, Y. et al. (2019). Exogenous application of gibberellic acid and ascorbic acid improved tolerance of okra seedlings to NaCl stress. *Acta Physiol Plant* 41, 93 (20. <https://doi.org/10.1007/s11738-019-2869-y>
 56. Wu, W., Du, K., Kang, X., & Wei, H. (2021). The diverse roles of cytokinins in regulating leaf development. *Horticulture Research*, 8(1), 118. <https://doi.org/10.1038/s41438-021-00558-3>
 57. Yopp, J. H., Mandava, N. B., & Sasse, J. M. (1981). Brassinolide, a growth promoting steroidal lactone. I. Activity in selected auxin bioassays. *Physiologia Plantarum*, 53, 445–452. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1981.tb02729.x>
 58. Zapata, P. J., Serrano, M., García-Legaz, M. F., Pretel, M. T., Botella, M. A. (2017). Short Term Effect of Salt Shock on Ethylene and Polyamines Depends on Plant Salt Sensitivity. *Frontiers in Plant Science*, 8, 855. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00855>
 59. Zhang, H.; Irving, L.J.; McGill, C.; Matthew, C.; Zhou, D.; Kemp, P. (2010). The effects of salinity and osmotic stress on barley germination rate: Sodium as an osmotic regulator. *Ann. Bot.*, 106, 1027–1035.

60. Zhu, N., Cheng, S., Liu, X., Du, H., Dai, M., Zhou, D., Yang, W., Zhao, Y. (2015). The R2R3-type MYB gene OsMYB91 has a function in coordinating plant growth and salt stress tolerance in rice. *Plant Sci.*, 236, 146–156.
61. Zhu, Y., Wang, B., Tang, K., Hsu, C.-C., Xie, S., Du, H., Yang, Y., Tao, W.A., Zhu, J.-K. (2017). An *Arabidopsis* Nucleoporin NUP85 modulates plant responses to ABA and salt stress. *PLoS Genet.*, 13, e1007124.
62. Zhu, Z. H., Sami, A., Xu, Q. Q., Wu, L. L., Zheng, W. Y., Chen, Z. P., Jin, X. Z., Zhang, H., Li, Y., Yu, Y., & Zhou, K. J. (2021). Effects of seed priming treatments on the germination and development of two rapeseed (*Brassica napus* L.) varieties under the co-influence of low temperature and drought. *PloS One*, 16(9), e0257236. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257236>
63. Zullo, M. A. T., & Kohout, L. (2004). Semisystematic nomenclature of brassinosteroids. *Plant growth regulation*, 42, 15-28.