

Evaluación de fitohormonas y peróxido de hidrógeno en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*)

Saúl Bonilla-Cruz, Juan Pablo Reyes-Gómez, Georgina Martínez-Reséndiz, Jocabel Extocapan-Molina, Julio Alfonso Armenta-Barrios y Luis Felipe Juárez-Santillán*

Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora, Área académica de Agrobiotecnología, Campus Gutiérrez Zamora, Carretera Gutiérrez Zamora-Boca de Lima Km 2.5 Gutiérrez Zamora, Veracruz, México

* Autor de correspondencia: luis.santillan@utgz.edu.mx; Tel.: 7668451952

Desarrollo sustentable (Agricultura sustentable).

Resumen: El uso de promotores de crecimiento y agentes químicos amigables con el medio ambiente en la producción agrícola, resulta un reto importante y favorable, ya que reduciría el uso de agroquímicos y por lo tanto menos contaminación para el campo. Los principales objetivos de este estudio fueron hacer tratamientos sobre cultivo de maíz con auxinas, giberelinas y peróxido de hidrógeno; así como determinar cuáles son los principales efectos positivos o negativos. Se realizó un diseño de experimento factorial con cinco experimentos los cuales fueron: 1) auxinas, 2) giberelinas, 3) Peróxido de hidrógeno (H_2O_2), 4) auxinas-giberelinas y 5) control; el cultivo fue maíz, se hicieron muestreos de suelo y planta cada 20 días, las variables analizadas en planta fueron tamaño de raíz, tamaño de tallo, diámetro de tallo y número de hojas; mientras que para suelos fueron nitratos, nitratos, pH, CE y Eh; con estas se hizo un análisis estadístico (ANOVA y prueba de Tukey). Se lograron realizar los cinco experimentos y conforme a los resultados obtenidos se puede decir que de los mejores tratamientos son en los que se empleó H_2O_2 y auxinas, ya que estos fueron en los que el cultivo presentó los valores más altos de las variables analizadas en planta. Estos resultados sugieren que en estudios posteriores se hagan experimentos empleando fitohormonas y H_2O_2 en conjunto.

Palabras clave: Fitohormonas; promotores de crecimiento; peróxido de hidrógeno.

Evaluation of phytohormones and hydrogen peroxide in the corn crop (*Zea mays*)

Abstract: The use of environmentally friendly growth promoters and chemical agents in agricultural production is an important and favorable challenge, since it would reduce the use of agrochemicals and therefore less pollution for the field. The main objectives of this study were to make treatments on corn crops with auxins, gibberellins and hydrogen peroxide; as well as determining what the main positive or negative effects are. A factorial experiment design was carried out with five experiments which were: 1) auxins, 2) gibberellins, 3) Hydrogen peroxide (H_2O_2), 4) auxins-gibberellins and 5) control; the crop was corn, soil and plant samplings were made every 20 days, the variables analyzed in the plant were stem diameter, stem size, number of leaves and root size; the soil was analyzed for nitrites, nitrates, pH, EC and Eh; a statistical analysis was performed with these (ANOVA and Tukey's test). The five experiments were carried out and according to the results obtained, it can be said that the best treatments are those in which H_2O_2 and auxins were used, since these were in which the crop presented the highest values of the variables analyzed in the plant. These results suggest that in subsequent studies experiments using phytohormones and H_2O_2 together.

Palabras clave: Phytohormones; growth promoters; hydrogen peroxide.

Introducción

Las hormonas vegetales son moléculas endógenas de las plantas y se manifiestan bajo una condición ambiental. Las investigaciones han confirmado las siguientes fitohormonas: auxinas, giberelinas, citoquininas, ácido abscísico, etileno, brasinoesteroídes, etileno, ácido jasmónico, ácido salicílico y estrigalactonas. Las fitohormonas son moléculas orgánicas que se presentan en las diferentes etapas del crecimiento vegetal con el fin de propiciar algún efecto (crecimiento, engrosamiento, fructificación, madurez, entre otros) en el desarrollo de la planta (Jiang y Asami, 2018).

Las plantas pueden ser estudiadas desde un punto de vista genético o fisiológico, a partir de un análisis hormonal como un proceso de regulación de crecimiento (Park *et al.*, 2009). Las plantas para su adecuado desarrollo generan mecanismos para adaptarse a las condiciones de estrés abiótico, destacando la expresión genética, la actividad de proteínas o la síntesis de metabolitos. Para lograr que estos procesos se lleven de una forma adecuada, las fitohormonas juegan un papel relevante, ya que son las responsables de la transducción de las señales en la célula vegetal. El ácido abscísico (ABA) constituye una de las hormonas importantes en la respuesta de las plantas al estrés abiótico, regulando procesos que permiten tolerar o resistir dichas condiciones. Las auxinas tienen funciones en la división y expansión celular para facilitar el crecimiento de las plantas (George *et. al.*, 2008). El ácido abscísico induce la defoliación (Liu *et. al.*, 1961). La función de las citoquininas son la estimulación de la

división celular, promoción de la biogénesis y diferenciación del cloroplasto, la regulación de la latencia y la germinación de las semillas, el impedimento de la senescencia de las hojas, la formación de brotes de callosidades en cultivo y la inhibición del meristemo apical de la raíz y la asimilación de nutrientes (Mok *et. al.*, 2001). Las giberelinas sus funciones son: activan la división celular, estimulan la acumulación de pigmentos y proteínas, reducen la toxicidad por metales pesados, también están implicadas en el alargamiento celular (Romanenko *et. al.*, 2016). El etileno es una hormona vegetal gaseosa que regula el crecimiento y desarrollo de la planta, es una hormona de senescencia, permite que las plantas toleren factores de estrés biótico (invasión de patógenos) y estrés abiótico como sequía, salinidad y frío (Wang *et. al.*, 2001). Las fitohormonas tienen funciones en diferentes procesos metabólicos de la planta, el uso de estas en la agricultura no se ha difundido, de ahí la importancia de hacer uso de ellas y dar a conocer los resultados positivos que tengan sobre los cultivos (Borjas-Ventura, 2020). El maíz está dentro de las plantas que son sensibles a la exudación por humedad, dentro de los trabajos que se realizaron para evitar esto, se encuentra uno en el cual se utilizaron diferentes tratamientos para evaluar la resistencia a estrés por sequía. La resistencia de las plantas al estrés por sequía fue indicada por la actividad de las enzimas antioxidantes (superóxido dismutasa SOD, peroxidasa ascórbica APX y catalasa CAT) y fitohormonas (auxina IAA, giberelina GA y ácido abscísico ABA). La actividad de SOD y la actividad de CAT aumentaron combinadas con disminución de IAA en plantas estresadas sin tratamiento con silicio. Mientras que, la actividad de SOD y la actividad de CAT disminuyeron significativamente con un aumento en la concentración de IAA en plantas cultivadas en tierras sin labranza con residuos de trigo y tratadas con silicio; por otro lado, las concentraciones de GA y ABA se incrementaron en plantas cultivadas en tierras de labranza con residuos de trigo que fueron tratadas con silicio; lo que indica que la presencia de GA y ABA, favorecen a que la planta de maíz tolere estrés hídrico (Ibrahim *et. al.*, 2019).

Bajo esta información, el objetivo del presente trabajo fue hacer tratamientos sobre cultivo de maíz de auxinas, giberelinas y peróxido de hidrógeno, con la finalidad de determinar cuáles son los principales efectos positivos o negativos que puedan tener estos promotores de crecimiento sobre la planta. Los resultados de este trabajo servirán para poder desarrollar una estrategia adecuada de aplicación de los productos empleados (auxinas, giberelina y peróxido de hidrógeno).

Materiales y Métodos

Diseño de experimentos

Se realizó un diseño factorial con cinco experimentos a un solo nivel y tres replicas (Tabla 1).

Tabla 1. Diseño de experimentos factorial

Variable fija	Replicas		
	1	2	3
Factor (<i>experimento a un solo nivel</i>)			
Control	X	X	X
P (10%)*	X	X	X
A (10%)	X	X	X
G (10%)	X	X	X
A-G (5%:5%)	X	X	X

C = control, P = peróxido, A = Auxinas; G = giberelinas

*El porcentaje elaborado fue a partir de las soluciones hechas, en el caso del peróxido el porcentaje se realizó con la solución de grado farmacéutico.

Extracción de fitohormonas y preparación de la solución de peróxido de hidrógeno (H_2O_2)

Para la extracción de auxinas y giberelinas se emplearon semillas de lenteja y maíz respectivamente, se propuso la siguiente metodología: 1) Las semillas de lenteja y maíz se pusieron a germinar con el mínimo de humedad (se dejó que el germinado tuviera un tamaño de uno a dos cm de longitud); 2) germinadas las semillas se maceraron por separado añadiéndole aguardiente para obtener el extracto; 3) 250 g de germinado de lenteja en 500 ml de agua ardiente; 4) 250 g de germinado de maíz en 500 ml de agua ardiente; 5) Los macerados se dejaron en oscuridad aproximadamente por tres días; 6) Cumplidos los tres días, se filtró el macerado para obtener la menor cantidad de sólido en el producto; 7) El extracto se mantuvo en refrigeración (4 °C) para una mayor conservación del mismo.

Establecimiento del cultivo

Antes de sembrar el maíz, las semillas se pusieron en solución conforme a la siguiente metodología (Tabla 2):

Tabla 2. Preparación de soluciones para semillas antes de sembrarse

No. de semillas	Agua	H_2O_2	Auxina	Giberelina
<i>mL</i>				
C	25	100		
P	25	90	10	
A	25			10
G	25	90		10
A-G	25	90	5	5

C = control, P = peróxido, A = Auxinas; G = giberelinas

Una vez que se prepararon las soluciones de la tabla 1, todas las semillas se dejaron en ellas durante 20 min; posteriormente se humedeció el suelo y finalmente se hizo la siembra.

Tratamientos

Pasados 20 días después de la siembra (semillas ya germinadas), se retiraron dos plantas de cada tratamiento, esto se realizó cada dos veces más en un intervalo de 20 días. Despues de la primera toma de muestras de plantas se aplicaron los tratamientos de auxinas, giberelinas, peróxido (al 10 % de cada uno) y mezcla de auxinas-giberelinas (la mezcla fue al 5% de auxinas y 5% de giberelinas); se aplicaron 10 ml de cada solución directamente en raíz; estas aplicaciones se hicieron dos veces durante los primeros 40 días del cultivo. Para el día 60, la dosis se incrementó a 30 ml por planta.

Medición de variables en planta y suelo

La extracción de plantas, medición de órganos, así como medición de variables se realizó cada 20 días (se realizaron tres muestreos). De cada muestreo realizado se obtuvieron muestras de planta y suelo. Al suelo se le analizó pH, CE y E_h ; así como el contenido de nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-) y a la planta de maíz se le midió tamaño de tallo, el diámetro del mismo, número de hojas y tamaño de raíz.

Análisis estadístico

Con las variables analizadas en planta y suelo se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor para ver si había o no diferencia significativa entre los tratamientos y toda vez que existían diferencias se procedió a aplicar la prueba de Tukey a un nivel de significancia de 0.05, el análisis se hizo con el programa estadístico SPSS versión 26.

Resultados y Discusión

En la Tabla 3, se presentan los datos de las variables evaluadas en planta, así como la prueba de Tukey. Con base en esta prueba se puede comentar lo siguiente:

- 1) Con el tratamiento con H_2O_2 , las plantas fueron las que presentaron el mayor diámetro de tallo (3.20 cm) y el mayor número de hojas (17) al final del tercer muestreo. Con base en la prueba de Tukey, este tratamiento difiere significativamente de los demás.
- 2) Las plantas de los tratamientos con auxinas y H_2O_2 , son las que presentaron el mayor tamaño de tallo (215 y 205 cm, respectivamente) al final del tercer muestreo, respecto del tratamiento control. Estos tratamientos no presentaron diferencia significativa entre ellos, pero si variaron respecto de los demás.

Con esto se puede indicar que, con base en las variables analizadas en las plantas, los mejores tratamientos son auxinas y peróxido.

Tabla 3. Prueba de Tukey con las variables analizadas en plantas de los diferentes tratamientos

	TT1	TT2	TT3	DT1	DT2	DT3	R1	R2	R3	NH1	NH2	NH3
	cm											
C	12.50 ± 0.71 ab*	55.50 ± 3.54 a	156.00 ± 33.94 a	0.40 ± 0.00 a	0.90 ± 0.00 a	2.16 ± 0.08 a	2.90 ± 0.14 a	7.80 ± 0.28 a	18.50 ± 0.71 a	3.00 ± 0.00 a	7.00 ± 0.00 a	12.50 ± 3.54 a
P	13.25 ± 1.77 ab	64.00 ± 2.83 a	205.00 ± 21.21 c	0.35 ± 0.07 a	1.35 ± 0.21 b	3.20 ± 0.03 c	3.15 ± 0.07 a	14.50 ± 0.71 b	26.50 ± 0.71 c	2.50 ± 0.71 a	8.50 ± 0.71 a	17.00 ± 1.41 c
A	8.75 ± 0.35 a	60.50 ± 0.71 a	215.00 ± 7.07 c	0.40 ± 0.00 a	1.20 ± 0.00 ab	2.60 ± 0.14 b	3.10 ± 0.14 a	16.50 ± 0.71 b	27.50 ± 0.70 c	3.00 ± 0.00 a	7.50 ± 0.71 a	16.00 ± 1.41 b
G	13.50 ± 2.12 ab	63.50 ± 0.71 a	187.50 ± 10.61 b	0.40 ± 0.00 a	1.40 ± 0.00 b	2.55 ± 0.07 b	2.85 ± 0.21 a	9.50 ± 0.71 a	21.50 ± 0.65 b	2.50 ± 0.71 a	7.50 ± 0.71 a	15.00 ± 1.41 b
A-G	14.50 ± 0.71 b	58.50 ± 3.54 a	145.00 ± 7.07 a	0.35 ± 0.00 a	1.30 ± 0.00 b	2.18 ± 0.04 a	2.95 ± 0.07 a	8.25 ± 0.35 a	19.50 ± 0.56 ab	3.00 ± 0.00 a	8.00 ± 0.00 a	12.00 ± 1.41 a

*= misma letra en una columna indica que no hay diferencia significativa (Tukey, $P \leq 0.05$)

C = control, P = peróxido, A = Auxinas; G = giberelinas; 1, 2, 3 = número de muestreos realizados; TT = tamaño de tallo; DT = diámetro de tallo, R = tamaño de raíz, NH = número de hojas

En la Tabla 4, se presentan las variables fisicoquímicas evaluadas en suelo. Se puede observar que existen diferencias significativas entre los tratamientos en todos los parámetros analizados. Los valores de pH a lo largo de los tres muestreos, oscilaron entre ligeramente ácidos a neutros (6.05-7.28), en cuanto a los nitritos (NO_2^-), la mayoría fueron no detectados; los (**poner que significa**) NO_3^- variaron su concentración entre 3.49 y 10.76 $mg^{*}kg^{-1}$; en cuanto a la conductividad eléctrica, se puede decir que el suelo no presenta problemas de salinidad; los potenciales redox fueron ligeramente reductores.

Con base en el comportamiento de NO_3^- , se puede decir que las plantas de maíz que mayoritariamente asimilaron este ion fueron la que se trataron con giberelinas y auxinas, indicando que estas fitohormonas podrían estar propiciando este efecto en el cultivo. El suelo tratado con peróxido presenta mayores cantidades de NO_3^- en el suelo, comparadas con auxinas y giberelinas, muy probablemente se deba al poder oxidante del H_2O_2 sobre el amonio, lo cual propicia una mayor presencia de este ion en comparación con los otros dos tratamientos en mención.

Al observar las variables fisicoquímicas del suelo, se puede decir que los tratamientos con auxinas, giberelinas y el de la mezcla se estas, tienden a acidificar al suelo, lo cual se podría deber a que este tipo de moléculas están constituidas principalmente por ácido orgánico, los cuales, a pesar de ser ácidos débiles, sí tienden a bajar el pH; el H_2O_2 , si bien no logró mantener el pH en la neutralidad, este no varió como con los tratamientos con fitohormonas. EL tratamiento control se mantuvo en la neutralidad en cuanto a pH y con los contenidos más elevados de nitratos, lo cual no es garantía de que este ion sea asimilado por las plantas.

Tabla 4. Prueba de Tukey con las variables analizadas en el suelo de los diferentes tratamientos

	pH1	pH2	pH3	NO ₂ -1	NO ₂ -2	NO ₂ -3	NO ₃ -1	NO ₃ -2	NO ₃ -3	CE	E _{h1}	E _{h2}	E _{h3}
				mg/kg			μS			mV			
C	7.28 ± 0.09 c*	6.83 ± 0.04 c	7.14 ± 0.02 d	5.83 ± 0.42 a	nd	nd	7.37 ± 1.16 c	5.31 ± 2.75 b	10.76 ± 4.82 e	492.50 ± 3.54 d	41.80 ± 0.14 a	38.35 ± 1.48 b	23.90 ± 1.13 a
P	6.51 ± 0.01 a	7.07 ± 0.04 d	6.47 ± 0.04 c	10.70 ± 0.71 b	0.77 ± 0.24	nd	11.53 ± 4.23 d	3.49 ± 0.85 a	7.00 ± 1.77 c	495.00 ± 11.31 d	59.20 ± 0.14 c	28.65 ± 1.20 a	65.05 ± 1.06 c
A	6.40 ± 0.01 a	6.39 ± 0.04 b	6.05 ± 0.04 b	nd	nd	nd	3.70 ± 0.99 a	8.08 ± 0.70 d	4.81 ± 1.38 b	428.50 ± 0.71 c	55.40 ± 0.28 e	66.60 ± 1.13 d	84.40 ± 1.13 d
G	6.30 ± 0.11 a	6.37 ± 0.04 b	6.57 ± 0.05 c	nd	nd	nd	10.79 ± 0.37 d	5.02 ± 1.69 b	3.35 ± 0.56 a	369.50 ± 3.54 b	27.50 ± 0.14 d	44.55 ± 3.18 c	51.00 ± 0.99 b
A-G	6.82 ± 0.01 b	5.86 ± 0.06 a	5.87 ± 0.05 a	nd	nd	nd	4.99 ± 1.52 b	7.55 ± 1.58 c	7.81 ± 2.92 d	147.00 ± 1.41 a	33.63 ± 28.56 b	98.75 ± 1.06 e	96.90 ± 1.98 e

*= misma letra en una columna indica que no hay diferencia significativa (Tukey, P≤0.05)

C = control, P = peróxido, A = Auxinas, G = giberelinas; 1, 2, 3 = número de muestreos realizados, nd = no detectado

Las auxinas controlan casi todos los aspectos del crecimiento y desarrollo de las plantas, incluida la división celular, alargamiento y diferenciación, con efectos importantes en las formas y funciones finales de las células vegetales y tejidos (Lee *et al.*, 2019). Las auxinas modulan los estadios tempranos del desarrollo vegetal; en cuanto al crecimiento embrionario resulta del establecimiento de un plan básico corporal para el desarrollo de la plántula, pero en la planta adulta en gran medida la organogénesis post-embriónica, como la formación de hojas y flores son procesos que dependen de las auxinas (Magaña-Dueñas *et al.*, 2015). Esta información justifica los resultados obtenidos, ya que como se comentó, el tratamiento con auxinas fue el que propició un mayor desarrollo de tallo de la planta (215 cm) de maíz, en comparación con el control (156.00 cm).

Las giberelinas controlan el crecimiento, desarrollo y germinación de semillas, elongación de tallo, expansión de hoja, desarrollo de flores y frutos (Sun, 2011). Las giberelinas operan durante todo el ciclo de vida de la planta para mejorar el crecimiento de muchos órganos mediante la división y elongación celular, también apoya la fase de desarrollo, latencia de semillas adultas y jóvenes, favorecen el desarrollo reproductivo y vegetativo (Xiao *et al.*, 2016). En este trabajo, el tratamiento con giberelinas fue el que presentó los valores más bajos en cuanto a las variables analizadas (DT, TT y NH) en planta de maíz en comparación con el peróxido y auxinas, evidenciando que cada una de las fitohormonas presentan una función específica en la planta.

El H₂O₂ está ganando atención en el campo de la biología, es una especie redox, en concentraciones elevadas induce daño oxidativo a las biomoléculas, lo cual genera muerte celular. Sin embargo, a concentraciones de nanomoles actúa como una molécula de señalización y en muchos aspectos se parece a las fitohormonas. El H₂O₂ representa una molécula de señalización clave, que conecta las vías de señalización de múltiples fitohormonas y actuando como segundo mensajero en respuesta a diversas condiciones que modulan crecimiento y desarrollo de las plantas. Su efecto dosis-dependiente sobre el crecimiento indica claramente que H₂O₂ es un regulador del crecimiento. El H₂O₂ es un versátil mediador de la comunicación molecular en las plantas (Cerný *et al.*, 2013). Esta información sustenta lo obtenido en este trabajo, ya que el tratamiento con peróxido fue uno de los cuales presentó un mejor desarrollo y calidad en el cultivo de maíz, respecto del control, auxinas y giberelinas.

En la Figura 1, se presentan los datos de tamaño de tallo de *Z. mays*. En la Figura 1 se observa que después de 40 días (segundo muestreo), el tallo presenta un mayor crecimiento, por lo que se puede decir que esta es la etapa importante para una adecuada cosecha y producción de follaje, ya que, si el cultivo no presenta buen desarrollo de raíz, difícilmente asimilará correctamente los nutrientes. Las auxinas al ser una fitohormona que promueve el crecimiento de raíz, favorecen a un cultivo; esto fue lo que se observó en este estudio, ya que la raíz en este experimento presentó el mayor tamaño en el tercer muestreo (27.5 cm). El tratamiento con auxinas presenta valores más grandes de tamaño de tallo comprado con los del tratamiento de peróxido, pero estadísticamente no difieren significativamente como ya fue mencionado, estos hallazgos indican que ambos pueden ser empleados como agentes enraizadores y promotores de crecimiento de tejido vegetal.

De forma general los tratamientos con H₂O₂, auxinas y giberelinas, presentaron mejores resultados (TT, DT y NH) respecto del control y la mezcla de Auxinas-Giberelinas; esto se debe a que las fitohormonas participan desde la iniciación del órgano, hasta la senescencia, debido a su papel como reguladores del crecimiento y desarrollo; así como

su papel en la regulación fotosintética, además de que son importantes en la foto-protección del aparato fotosintético en condiciones de estrés.

Las auxinas, citoquininas, giberelinas y estrigolactonas son importantes en la promoción de la fotosíntesis (Müller y Munné-Bosh, 2021). El tratamiento con auxinas, fue el que propicio un mayor tamaño de tallo, esto se debe posiblemente a que el ácido indo-3-acético (IAA), que es la hormona más común de esta clase (Keswani *et al.*, 2020), el cual es producido en microorganismos (bacterias del género *Peanibacillus* sp.) y plantas, está promoviendo el crecimiento de las plantas. Por otro lado, se ha encontrado que las giberelinas, específicamente el ácido giberélico, disminuye efectos de toxicidad en plantas y el IAA, estimula el crecimiento de raíces y brotes, así como el contenido de agua. Las giberelinas también son importantes para evitar la degradación de clorofila, mantienen la homeostasis de pigmentos accesorios y bajan la eliminación de electrolitos durante algún tipo de estrés. Las auxinas y giberelinas son las fitohormonas más importantes en la regulación del crecimiento de plantas, ya que por un lado las primeras ayudan al desarrollo de raíz y las segundas a la aparición de brotes y crecimiento de órganos aéreos; además de ser las responsables de activar el mecanismo antioxidante de las especies vegetales (Banerjeé y Roychoudhury, 2020).

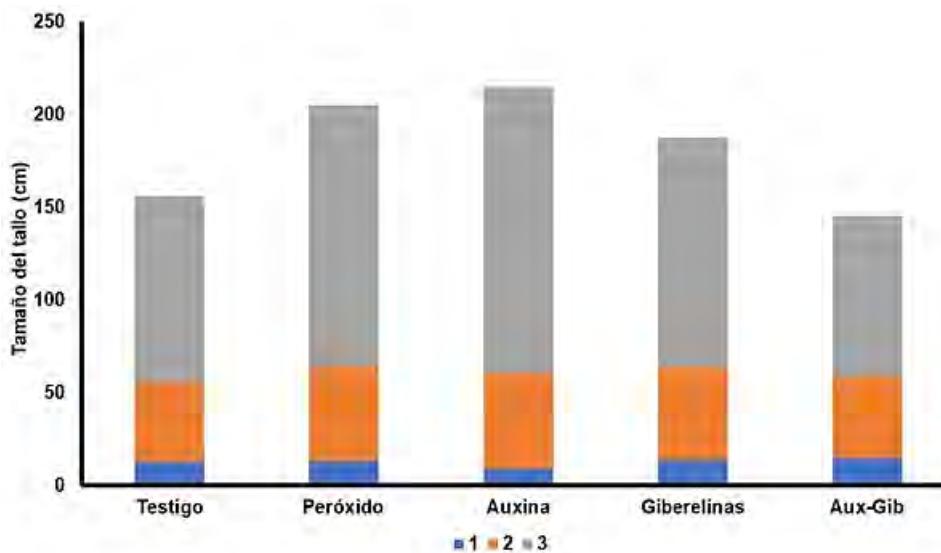


Figura 1. Seguimiento del tamaño de tallo de las plantas de maíz en los diferentes tratamientos. 1, 2, 3 = Número de muestreos. Aclarar a los cuantos días después de la siembra corresponde el primer muestreo (15 DDS), muestreo dos (45 DDS), etc.

El cultivo de maíz, de forma general con los tratamientos de auxinas, giberelinas y H_2O_2 , mostraron óptimo desarrollo, esto debido a que las fitohormonas favorecen a los cultivos bajo condiciones de estrés, caso concreto, las auxinas inducen mecanismo de adaptación en ambientes extremadamente secos (Gadzinowska *et al.*, 2020). Un estudio realizado en el cultivo de papaya bajo estrés salino, en el cual se emplearon citoquininas, auxina y giberelinas, indicó lo siguiente: la aplicación exógena de giberelina tiene un efecto positivo en la mitigación del estrés salino en las plantas de *C. papaya*, mayor que los efectos de las auxinas y citoquininas. La aplicación exógena de giberelina y auxina a una concentración de $37.5 \mu M \cdot L^{-1}$ mitiga los efectos de la salinidad en las plantas de *C. papaya*. La aplicación exógena de citoquinina a concentraciones de 12,5 a 50,0 $\mu M/L$ no es viable para las plantas de *C. papaya* (Sá *et al.*, 2020). Esto demuestra, que el empleo de fitohormonas de forma exógena favorece a los cultivos, no sólo como promoción de crecimiento, sino también para resistir estrés abiótico.

En estudios posteriores, será importante determinar concentraciones óptimas de fitohormonas exógenas para los cultivos, ya que, si estas rebasan ciertas concentraciones, pueden propiciar inhibición en cuanto a la función que tienen en la planta. También será importante hacer aplicaciones en tiempo y forma, ya que como se pudo observar en el experimento con la mezcla de auxinas-giberelinas, fue el que menos favoreció al cultivo, lo que posiblemente esté indicando que, si se agregan en conjunto y al mismo tiempo, estas se pueden inhibir entre sí.

Conclusiones

Los resultados indican que el H₂O₂, a pesar de no ser un producto empleado en la región, mostró resultados favorables, en todas las etapas fenológicas en el cultivo de maíz; el mejor tratamiento en cuanto a las variables analizadas en planta (TT, DT y NH) fue el de auxinas, seguido del H₂O₂ y el de giberelinas. Esto abre el panorama para que en estudios posteriores se siga haciendo uso de estos, pero en un tratamiento combinado, no olvidar que las fitohormonas empleadas (auxinas y giberelinas), cumplen una función específica a lo largo de un cultivo.

Seguir empleado H₂O₂, servirá para explorar las funciones que puede inducir tanto en planta como en suelo. El uso de fitohormonas y H₂O₂ en maíz, demuestran los efectos positivos que tienen en dicho cultivo, al presentar un mejor desarrollo de planta (Raíz, tallo, diámetro de talo y número de hojas) comparado con el experimento control. En cuanto a suelo, una de las principales ventajas es que favorece para que este tenga una buena aireación, además de mejorar el desarrollo de raíz. El empleo de fitohormonas y H₂O₂ es de gran importancia, ya que el buen uso de estos potencializa la producción, lo que conllevaría a una disminución del uso de agroquímicos.

Bibliografía

- Aditya Banerjee, A. and Aryadeep, R. (2020). Gibberellin Acid-Priming Promotes Fluoride Tolerance in a Susceptible Indica Rice Cultivar by Regulating the Antioxidant and Phytohormone Homeostasis. *Journal of Plant Growth Regulation*, <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10110-7>.
- Borjas-Ventura, R., Julca-Otiniano, A., Alvarado-Huamán, L. (2020). Las fitohormonas una pieza clave en el desarrollo de la agricultura The plant hormones, an important component of the agriculture development. *J. Selva Andina Biosph*, 8(2), 150-164.
- Cerný, M., Kuklová, A., Hoehnwarter, W., Fragner, L., Novák, O., Rotková, G., Jedelský, P. L., Žáková, K., Šmehilová, M. and Strnad, M. (2013). Proteome and metabolome profiling of cytokinin action in *Arabidopsis* identifying both distinct and similar responses to cytokinin down- and up-regulation. *J. Exp. Bot.*, 64, 4193–4206.
- Gadzinowska, J., Dziurkaa, M., Ostrowskaa, A., Hura, K. and Hura, T. (2020). Phytohormone synthesis pathways in sweet briar rose (*Rosarubiginosa* L.) seedlings with high adaptation potential to soil drought. *Plant Phy and Biochem*, <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.06.018>.
- George, E. F., Hall, M. A. and De Clerk, G. J. (2008). Plant growth regulators I: Introduction; auxins, their analogues and inhibitors. In *Plant Propagation by Tissue Culture*; Springer: Dordrecht, The Netherlands, pp. 175-204.
- Ibrahim, M. V., Mudher, A. W., Timmen, A. and Hussain, J. A. (2019). The effect of silicon, tillage and the interaction between them on some antioxidants and phytihormones during drought stress of maize (*Zea mays* L.) plants. *Plant Archives*, 19(1), 67-74.
- Jiang, K. and Tadao, A., (2018). Chemical regulators of plant hormones and their applications in basic research and agricultura. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 82(8), 1265-1300.
- Keswani, Ch., Singh, P. S., Cueto, L., García-Estrada, C., Mezaache-Aichour, S., Glare, R. T., Borriss, R., Surya Pratap Singh, P. S., Miguel Angel Blázquez, M. A. and Estibaliz Sansinenea, E. (2020). Auxins of microbial origin and their use in agricultura. *Appl Microbiol Biotechnol*, <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10890-8>.
- Kun, T. P. (2011). The molecular mechanism and evolution of the GA-GID1-DELLA signaling module in plants. *Curr Biol*, 21: 338-345.
- Lee, H. Z., Hirakawa, T., Yamaguchi, N. and Ito, T. (2019). The Roles of Plant Hormones and Their Interactions with Regulatory Genes in Determining Meristem Activity. *Int. J. Mol. Sci.*, 20, 4065; doi:10.3390/ijms20164065.
- Liu, W. C. and Carnsdagger, H. R. (1961). Isolation of abscisicin, an abscission accelerating substance. *Science*, 134, 384-385.
- Magaña-Dueñas, V., López-Bucio, J. y Beltrán-Peña, E. (2015). El transporte de auxinas y su impacto en el desarrollo vegetal. *Ciencia Nicolaita*, 64, 22-41.
- Martin Cerný, M., Habánová, H., Berka, M., Luklová, M and Brzobohatý, B., (2018). Hydrogen Peroxide: Its Role in Plant Biology and Crosstalk with Signalling Networks. *Int. J. Mol. Sci.*, 19, 2812.
- Mok, D. W. and Mok, M. C. (2001). Cytokinin metabolism and action. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 52, 89-118.
- Müller, M. and Munné-Bosch, S. (2021). Hormonal impact on photosynthesis and photoprotection in plants. *Plant physiology*. 185, 1500-1522.
- Park, S. Y., Fung, P. and Nishimura, N. (2009) Abscisic acid inhibits type 2C protein phosphatases via the PYR/PYL family of START proteins. *Science*. 324, 1068-1071.
- Romanenko, K. O., Kosakovskaya, I. V. and Romanenko, P.O. (2016). Phytohormones of Microalgae: Biological Role and Involvement in the Regulation of Physiological Processes. Pt II. Cytokinins and Gibberellins. *Int. J. Algae*, 18, 179-201.
- Sá, F. V. da S., Brito, B. M. E., Silva, L. de A., Moreira, L. R. C., de Paiva, E. P. and Souto, S. L. (2020). Exogenous application of phytohormones mitigates the effect of salt stress on *Carica papaya* plants. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24(3), 170-175.
- Wang, K. L. C., Li, H. and Ecker, J. R. (2002). Ethylene biosynthesis and signaling networks. *Plant Cell*, 14 (Suppl. 1), 131-151.
- Xiao, Z., Fu, R., Li, J., Fan, Z. and Yin, H. (2016). Overexpression of the gibberellin 2-Oxidase gene from *Camellia lipoensis* induces dwarfism and smaller flowers in *Nicotiana tabacum*. *Plant Mol Biol Rep*, 34, 182-191.