

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS
DE HIDALGO
FACULTAD DE QUÍMICO
FARMACOBIOLOGÍA**



Conversión de lignina residual de paja de trigo por *Aspergillus fumigatus* en sustancias promotoras de crecimiento vegetal por *Azotobacter beijerinckii* y *Micromonospora echinospora*

Tesis

Que presenta:

Zoila Torres Valencia

Para obtener el título de:

Químico Farmacobiólogo

Asesor:

D.C. Juan Manuel Sánchez-Yáñez

Laboratorio de Microbiología Ambiental
Instituto de Investigaciones Químico Biológicas
Coordinación de la Investigación Científica por el Proyecto 2.7

Morelia, Michoacán

Octubre 2017



Reconocimiento

Este trabajo fue realizado en el Laboratorio de Microbiología Ambiental del Instituto de Investigaciones Químico Biológicas perteneciente a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo bajo la supervisión y dirigido por el D.C. Juan Manuel Sánchez-Yáñez y fue financiada por el proyecto 2.7 (2017) de la Coordinación de la Investigación Científica - UMSNH.



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Coordinación Científica – Proyecto 2.7 (2017)
Instituto de Investigaciones Químico Biológicas
Laboratorio de Microbiología Ambiental



Agradecimiento

A Dios:

Por la vida que me ha dado, cada una de las oportunidades, las personas que ha puesto en mi camino a largo de mi carrera. Gracias por ser mi guía, mi fortaleza, mi esperanza por acompañarme siempre en todos los momentos felices y difíciles de mi vida. Gracias Dios por tanto...

A mis Padres:

~Adelaida~

~Manuel~

La vida que me han dado así como todas las oportunidades de crecimiento; por depositar su confianza y creer siempre en mí... Gracias por su ejemplo, sus valores, sus sacrificios, su paciencia, todo su amor, comprensión y cariño. Papi, gracias por tus lindos consejos; Mami, gracias por preocuparte por mí todos los días. Son mi ejemplo a seguir... Los amo papás.

A mis hermanos:

~Noé~

Su ayuda, sus regaños, sus excelentes consejos, su preocupación para que saliera adelante, su fe en mí, agradezco cada una de sus largas llamadas que me dieron la fuerza necesaria para salir adelante en cada etapa e hicieron que cada momento



fuera más fácil. Gracias hermano por tanto, por escucharme; sin ti la vida no sería la misma...Te amo.

~Briseida~

~Osvaldo~

Cada uno de los momentos compartidos de felicidad...Ustedes son mi felicidad, el mayor regalo que mis papás me pudieron dar. Siempre serán mi inspiración para salir adelante y demostrarles que todo sueño es posible, son una bendición en mi vida... Los amo hermanitos.

A mi novio:

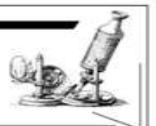
~Esteban~

Por enseñarme a ver la vida diferente, por creer siempre en mí, por darme los mejores consejos, por brindarme cada día tu apoyo y hacerme ver la realidad con regaños bonitos. Eres un ejemplo a seguir por tu forma de luchar y entregarte día a día; te admiro en todos los sentidos. Gracias por compartir conmigo la vida. Eres mi persona especial...Te amo Esteban.

A mi mejor amiga:

~Areli~

Su paciencia, por haberme escuchado en los peores momentos de debilidad, de coraje y frustración; gracias por tus palabras de aliento y consuelo. Agradezco especialmente todas las horas de apoyo, su ayuda en el laboratorio, pero sobre todo



por su compañía y su entera disposición. Gracias por brindarme tú linda y sincera amistad durante seis largos años. Mejor amiga y hermana aunque no de sangre no pude haber encontrado...Te quiero mucho amiga.

A mis amigas:

~Diana~

~Dulce~

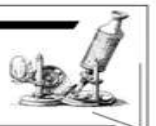
Mejores amigas no pude haber tenido, las quiero mucho chiquillas feas. Agradezco mucho su apoyo, su preocupación, sus palabras de aliento en cada situación difícil y sobre todo su paciencia. Que lindos y excelentes momentos compartimos juntas. Gracias por su bonita y sincera amistad.

Las extraño...

A mi asesor:

~Dr. Juan Manuel ~

Su preocupación, así como su entera disposición y dedicación por enseñarme y compartir su conocimiento. Gracias por lo aprendido durante todo este tiempo, por sus experiencias de vida compartidas, por cada uno de sus regaños y exigencias ya que de cada uno ellos fueron motivo para impulsarme día a día a ser mejor profesionalmente.



A mis compañeros del Laboratorio:

~LMA~

Especialmente a Ruby, ya que ella fue mi guía desde el comienzo de esta bonita experiencia. Muchas gracias por tu entera disposición en enseñarme lo necesario y de la mejor forma el trabajo y la dedicación que se necesita para trabajar.

Cada una de las explicaciones, disponibilidad de tiempo, amabilidad y paciencia de Yunuén, Celeste y Guidier por ayudarme cada vez que lo necesité. Gracias por los bonitos momentos compartidos, su linda y sincera amistad.

A Missael, Daniel, Pedro y Juan Luis por los buenos y agradables momentos que pasamos en el laboratorio ya que hacían que el trabajo fuera menos pesado. Por su amistad porque de cada uno aprendí algo bueno y obtuve buenos consejos.

Nuevamente al doctor por haberme dado la oportunidad y responsabilidad de instruir en el laboratorio a Vannesa, Ándrea y Cecilia, porque de ellas aprendí que debía estudiar y prepararme más. Gracias por su amistad, su confianza y sobre todo paciencia y el tiempo compartido en el laboratorio. Disfruté instruir las.

A Adanely por compartir parte de su vida, su linda y sincera amistad; a Leydi por demostrar que en el laboratorio se trabaja arduamente; a Cristina, Perla, Jeraldine Alejandra, Dulce y Miguel por brindarme su amistad y haber formado parte de esta bonita experiencia..



A mis revisores:

~M.C. Luz Elena Arévalo León~

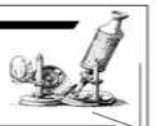
~M.C. Diana Cecilia Maya Cortés~

~D.C. José Octavio Rodiles López~

~I.Q.I. Francisco Javier Estrada Cervantes~

~Q.F.B. Judith Esmeralda Prieto Sierra~

Por su tiempo y completa disposición por haber aceptado ser mis evaluadores, ya que con la ayuda y los consejos de cada uno de ellos me ayudaron a completar mi tesis. Muchas Gracias!



Índice

Reconocimiento.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice.....	viii
Acrónimos	2
Índice de figuras	3
Índice de cuadros	5
Resumen	6
Abstract	8
1. Introducción	10
2. Antecedentes.....	12
Investigaciones relacionadas con la conversión de la LIREPATO en sustancias promotoras de crecimiento vegetal.	12
3. Justificación	16
4. Hipótesis	17
5. Objetivo.....	17
6. Materiales y métodos.....	18
6.1 Activación de <i>Aspergillus fumigatus</i>	18
6.2 Cinética de la despolimerización de la lignina residual de paja de trigo por <i>Aspergillus fumigatus</i>	18
6.3 Medición de la actividad lacasa de <i>Aspergillus fumigatus</i> como evidencia de la despolimerización de la LIREPATO.	19
6.4 Conversión de aromáticos de la despolimerización de la lignina residual de paja de trigo en sustancias promotoras de crecimiento vegetal por <i>Azotobacter beijerinckii</i> y <i>Micromonospora echinospora</i>	21
6.5 Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo en posibles giberelinas por <i>Azotobacter beijerinckii</i> y <i>Micromonospora echinospora</i> en <i>Lactuca sativa</i> , <i>Phaseolus vulgaris</i> y <i>Zea mays</i>	23
6.6 Diseño experimental.....	25



7. Resultados.....	26
7.1 Porcentaje de germinación de <i>Lactuca sativa</i> tratada con la posible giberelina de <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg) a dosis de 50 µL.....	26
7.1.1 Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo en posible giberelina por <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg) en <i>Lactuca sativa</i> a dosis de 50 µL y 100 µL sobre su fenología.....	27
7.1.2 Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo de una posible giberelina por <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg) en <i>Lactuca sativa</i> a dosis de 50 µL y 100 µL sobre su biomasa.....	29
7.2 Porcentaje de germinación de <i>Phaseolus vulgaris</i> tratada con la posible giberelina de <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg) a dosis e 50 µL y 100 µL.....	33
7.2.1 Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo de una posible giberelina por <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg) en <i>Phaseolus vulgaris</i> a dosis de 50 µL y 100 µL sobre su fenología.....	35
7.2.2 Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo en posible giberelina por <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg) en <i>Phaseolus vulgaris</i> a dosis de 50 µL y 100 µL sobre su biomasa.....	37
7.3 Porcentaje de germinación de <i>Zea mays</i> tratada con la posible giberelina convertida de <i>Micromonospora echinospora</i> (Meg) a dosis de 50 µL y 100 µL.....	41
7.3.1 Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo de una posible giberelina por <i>Micromonospora echinospora</i> (Meg) en <i>Zea mays</i> a dosis de 50 µL sobre su fenología.....	42
7.3.2 Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo en posible giberelina por <i>Micromonospora echinospora</i> (Meg) en <i>Zea mays</i> a dosis de 50 µL sobre su biomasa.....	43
8. Discusión	46
8.1 Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo en posibles giberelinas por <i>Azotobacter beijerinckii</i> y <i>Micromonospora echinospora</i> de <i>Lactuca sativa</i> , <i>Phaseolus vulgaris</i> y <i>Zea mays</i> en la fenotipia y biomasa.....	46
9. Conclusión	55
10. Referencias	56
Anexo I – Glosario.....	64



Anexo - II	66
Porcentaje de germinación de <i>Lactuca sativa</i> tratada con la posible giberelina convertida por <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg) a dosis 150 µL.....	66
Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo de una posible giberelina por <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg) en <i>Lactuca sativa</i> a dosis de 150 µL sobre su fenología.	67
Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo de una posible giberelina por <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg) sobre <i>Lactuca sativa</i> a dosis de 150 µL sobre su biomasa.....	68
Porcentaje de germinación de <i>Phaseolus vulgaris</i> tratada con la posible giberelina convertida de <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg) a dosis 150 µL.	71
Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo de una posible giberelina por <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg) sobre <i>Phaseolus vulgaris</i> a dosis de 150 µL sobre su fenología.	72
Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo en posible giberelina por <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg) sobre <i>Phaseolus vulgaris</i> a dosis de 150 µL sobre su biomasa.....	73
Porcentaje de germinación de <i>Zea mays</i> tratada con la posible giberelina convertida de <i>Micromonospora echinospora</i> (Meg) a dosis 150 µL.....	75
Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo de una posible giberelina por <i>Micromonospora echinospora</i> (Meg) en <i>Zea mays</i> a dosis de 100 y 150 µL sobre su fenología.....	75
Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo en posible giberelina por <i>Micromonospora echinospora</i> (Meg) sobre <i>Zea mays</i> a dosis de 150 µL sobre su biomasa.....	77



Acrónimos

ABTS	ácido 2,2'-acino-bis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico)
AHA	Agar hueso de aguacate
AP	Altura de planta
ARO	Aromático
BAPOCEVE	Bacterias promotoras de crecimiento vegetal
CA	Control absoluto
CLIREPATO	Caldo lignina residual de paja de trigo
CR	Control relativo
GAs	Giberelinas
LIREPATO	Lignina residual de paja de trigo
LR	Longitud radical
SOMI	Solución mineral
SUPOCEVE	Sustancia promotora de crecimiento vegetal
PFA	Peso fresco aéreo
PFR	Peso fresco radical
AP	Altura de planta
LR	Longitud de raíz
PSA	Peso seco aéreo
PSR	Peso seco radical



Índice de figuras

Figura 1. Cinética de la actividad de la lacasa de <i>Aspergillus fumigatus</i> en la despolimerización de la lignina residual de paja de trigo como evidencia de su transformación en aromáticos.	21
Figura 2. Despolimerización del LIREPATO con <i>Aspergillus fumigatus</i> y conversión de las posibles giberelinas por <i>A. beijerinckii</i> y <i>M. echinospora</i>	24
Figura 3. Efecto de la posible giberelina de <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg1) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de <i>Lactuca sativa</i> a dosis de 50 µL en su fenología.	28
Figura 4. Efecto de la posible giberelina de <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg2) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de <i>Lactuca sativa</i> a dosis de 100 µL en su fenología.	29
Figura 5. Efecto de la posible giberelina de <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg3) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de <i>Lactuca sativa</i> a dosis de 50 µL en su biomasa.	30
Figura 6. Efecto de la posible giberelina de <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg4) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de <i>Lactuca sativa</i> a dosis de 100 µL en su biomasa.	31
Figura 7. Efecto de la posible giberelina de <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg5) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de <i>Lactuca sativa</i> a dosis de 50 µL en su biomasa.	32
Figura 8. Efecto de la posible giberelina de <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg6) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de <i>Lactuca sativa</i> a dosis de 100 µL en su biomasa.	33



Figura 9. Efecto de la posible giberelina de <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg7) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de <i>Phaseolus vulgaris</i> a dosis de 50 µL en su fenología.....	35
Figura 10. Efecto de la posible giberelina de <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg8) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de <i>Phaseolus vulgaris</i> a dosis de 100 µL en su fenología.....	36
Figura 11. Efecto de la posible giberelina de <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg9) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de <i>Phaseolus vulgaris</i> a dosis de 50 µL en su biomasa.....	37
Figura 12. Efecto de la posible giberelina de <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg10) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de <i>Phaseolus vulgaris</i> a dosis de 100 µL en su biomasa.....	38
Figura 13. Efecto de la posible giberelina de <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg11) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de <i>Phaseolus vulgaris</i> a dosis de 50 µL en su biomasa.....	39
Figura 14. Efecto de la posible giberelina de <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg12) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de <i>Phaseolus vulgaris</i> a dosis de 100 µL en su biomasa.....	40
Figura 15. Efecto de la posible giberelina de <i>Micromonospora echinospora</i> (Meg1) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de <i>Zea mays</i> a dosis de 50 µL en su fenología.....	43
Figura 16. Efecto de la posible giberelina de <i>Micromonospora echinospora</i> (Meg2) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de <i>Zea mays</i> a dosis de 50 µL en su biomasa.....	44
Figura 17. Efecto de la posible giberelina de <i>Micromonospora echinospora</i> (Meg3) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de <i>Zea mays</i> a dosis de 50 µL en su biomasa.....	45



Índice de cuadros

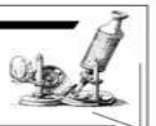
Cuadro 1. Bioensayo en semillas de <i>Lactuca sativa</i> , <i>Phaseolus vulgaris</i> y <i>Zea mays</i> tratadas con las posibles giberelinas sintetizadas por <i>Azotobacter beijerinckii</i> y <i>Micromonospora echinospora</i>	25
Cuadro 2. Porcentaje de germinación de <i>Lactuca sativa</i> tratada con la posible giberelina transformada por <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg) a dosis de 50 μ L y 100 μ L.	27
Cuadro 3. Porcentaje de germinación de <i>Phaseolus vulgaris</i> tratada con la posible giberelina transformada por <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg) a dosis de 50 μ L y 100 μ L.	34
Cuadro 4. Porcentaje de germinación de <i>Zea mays</i> tratada con la posible giberelina transformada por <i>Micromonospora echinospora</i> (Meg) a dosis de 50 μ L.	42



Resumen

La paja de *Triticum aestivum* (trigo) es uno de los principales residuos rurales en el mundo que se incinera y causa contaminación aérea. Una opción de explotación biotecnológica de la paja de trigo es la parcial extracción de lignina con ácido acético y calor para obtener lignina residual de paja de trigo (LIREPATO). Debido a la estructura de la LIREPATO se propone la conversión por la lacasa de *Aspergillus fumigatus* que genera aromáticos (ARO) y su posterior transformación en posibles giberelinas (GAs) mediante *Azotobacter beijerinckii* y/o *Micromonospora echinospora*. Por lo que el objetivo de este trabajo fue: a) analizar el efecto de las posibles GA de *A. beijerinckii* y *M. echinospora* en *Lactuca sativa* (lechuga), *Phaseolus vulgaris* (frijol) y en *Zea mays* (maíz). Para ello, de la paja de trigo se extrajo la LIREPATO, se despolimerizó con *A. fumigatus* en ARO, luego se inoculó *A. beijerinckii* y *M. echinospora* para convertirlos en posibles GA. Después se evaluó el efecto de las posibles GA en *L. sativa*, *P. vulgaris* y *Z. mays* con las variables respuestas: porcentaje de germinación y días a emergencia, la fenología: altura de planta (AP) y longitud de raíz (LR); la biomasa: peso fresco aéreo y peso fresco radical (PFA/PFR); peso seco aéreo y peso seco radical (PSA/PSR). Los datos experimentales fueron analizados mediante el programa ANOVA-Tukey.

El efecto de la posible GA de *M. echinospora* en *Z. mays*, alcanzó un AP de 11.95 cm y una LR de 18.06 cm con dosis de 50 μ L; comparados los valores de la GA pura, la AP fue de 12.61 cm y la LR de 17.09 cm. En la biomasa; se registró un valor



del PFA de 0.7 g y 0.9 g del PFR con 50 μ L; estos valores fueron estadísticamente diferentes a la semilla tratada con la GA pura, con un PFA de 0.6 g y un PFR de 0.4 g y el PSA/PSR; la respuesta de *Z. mays* a la posible GA de *M. echinospora* fue de 0.15 g del PSA y 0.07 g del PSR; estos valores numéricos con los de la semilla irrigada sólo con agua (CA), son valores estadísticamente diferentes. Lo anterior apoya que la LIREPATO es una fuente potencial para la conversión de ARO en posibles GA.

Palabras clave: LIREPATO, *A. fumigatus*, aromático, *A. beijerinckii*/*M. echinospora*.



Abstract

The straw of *Triticum aestivum* (wheat) is one of the main rural waste in the world that is incinerated and causes air pollution. A biotechnological exploitation option for wheat straw is the partial extraction of lignin with acetic acid and heat to obtain residual wheat straw lignin (LIREPATO). Due to the structure of the LIREPATO it is proposed the conversion by the lacuna of *Aspergillus fumigatus* that generates aromatics (ARO) and its subsequent transformation into possible gibberellins (GAs) by *Azotobacter beijerinckii* and / or *Micromonospora echinospora*. The objective of this work was to: a) analyze the effect of the possible GA of *A. beijerinckii* and *M. echinospora* on *Lactuca sativa* (lettuce), *Phaseolus vulgaris* (bean) and *Zea mays* (maize). To do this, the LIREPATO was extracted from the wheat straw, it was depolymerized with *A. fumigatus* in ARO, then *A. beijerinckii* and *M. echinospora* were inoculated to convert them into GA. The effect of the potential GA on *L. sativa*, *P. vulgaris* and *Z. mays* was evaluated with the following responses: percentage of germination and days at emergence, phenology: plant height (AP) and root length (LR); biomass: fresh air weight and fresh cool weight (PFA / PFR); aerial dry weight and dry dry weight (PSA / PSR). The experimental data were analyzed using the ANOVA-Tukey program.

The effect of the possible GA of *M. echinospora* on *Z. mays* reached an AP of 11.95 cm and an LR of 18.06 cm with doses of 50 μ L; compared the values of pure GA, the AP was 12.61 cm and the LR was 17.09 cm. In the biomass; a PFA value of 0.7



g and 0.9 g of the PFR was recorded with 50 μ L; these values were statistically different to the seed treated with pure GA, with a PFA of 0.6 g and a PFR of 0.4 g and PSA / PSR; the response of *Z. mays* to the possible GA of *M. echinospora* was 0.15 g of PSA and 0.07 g of PSR; these numerical values with those of the seed irrigated only with water (CA), are statistically different values. The above supports that the LIREPATO is a potential source for the conversion of ARO to possible GAs.

Key words: LIREPATO, *A. fumigatus*, aromatic, *A. beijerinckii* / *M. echinospora*.



1. Introducción

Entre la variedad de cultivos agrícolas de valor comercial, *Triticum aestivum* (trigo) es de los más importantes por la elevada de producción de paja (Arora *et al.*, 2011); con una producción mundial de paja de trigo es de 675×10^9 Kg año⁻¹ (Kim & Dile 2004, FAO 2012); este desecho agrícola se calcina; la quema de la paja de trigo genera elevadas concentraciones que contaminan al aire, como cenizas y gases del efecto invernadero CO, CO₂, NO₂, SO₂ y O₃ (Li *et al.*, 2008; Quintero-Núñez & Moncada-Aguilar 2008). Una alternativa para su disposición inteligente (Talebnia *et al.*, 2010), es su utilización como fuente de carbono en productos biotecnológicos. La paja de trigo contiene compuestos de la pared celular vegetal: la celulosa 39%, las hemicelulosas 38% y lignina 17% (Xu *et al.* 2006). La lignina es un polímero heterogéneo constituido por 3 unidades de aromáticos (ARO) derivados del alcohol *p*-hidroxicinámico: el coniferílico, el sinapílico y el *p*-coumarílico, precursores a su vez del guayacol, el siringol y el hidroxifenol, con enlaces aril-éter (β -O-4), aril-aril y (carbono-carbono) C α -C β (Dekker *et al.*, 2002; Martínez *et al.*, 2005). En la paja de trigo para eliminar las hemicelulosas y la celulosa se utiliza ácido acético (CH₃-COOH) y se autoclavea a 121°C/60 minutos; por lo que la lignina residual de paja de trigo (LIREPATO) es aprovechable si se degrada, pero no por métodos químicos que son de alto costo y que contaminan el ambiente; una alternativa menos explorada es el empleo de los hongos mitospóricos ligninolíticos del tipo *Aspergillus fumigatus* y *Penicillium chrysogenum* que degradan con la lacasa (Bonilla *et al.*,



2013). *A. fumigatus* y *P. chrysogenum* usan la lacasa (Dashtban *et al.*, 2010); en la ruptura de la LIREPATO.

Algunos géneros bacterianos como *Azotobacter beijerinckii* tienen la capacidad para transformar los ARO en sustancias promotoras de crecimiento vegetal (SUPOCEVE) o en posibles giberelinas (GA) por *A. beijerinckii* (Debi *et al.*, 2005); las BAPOCEVE sintetizan varias SUPOCEVE como: las auxinas, citoquininas y las GA que regulan el crecimiento de la planta (Steenhoudt *et al.*, 2000; Yanni *et al.*, 2001). Aunque, se sabe que las GA fueron descubiertas como metabolitos secundarios de *Gibberella fujikuroi*, que son fitohormonas (Phinney *et al.*, 1960). Actualmente se conocen alrededor de 136 diversos tipos de GA, sin embargo, las más común de *G. fujikuroi* es el ácido giberélico (GA₃); y de único uso comercial (Mandujano *et al.*, 2007) y/o las GA₄, GA₇, GA₁₃ y GA₁₄ (Hedden *et al.*, 1978). Las GAs son hormonas de crecimiento involucradas en varios procesos de desarrollo en vegetales; es decir incrementan tanto la elongación como la división celular (Cárdenas-Hernández *et al.*, 2010); además desempeñan un papel esencial en la germinación de semillas (Leite *et al.*, 2003); así como también promocionan el crecimiento de tallos, hojas, raíces y la abundancia de pelos radicales (Bottini *et al.*, 2004).



2. Antecedentes

Investigaciones relacionadas con la conversión de la LIREPATO en sustancias promotoras de crecimiento vegetal.

De acuerdo con varias investigaciones realizadas sobre la conversión del LIREPATO ha demostrado que una amplia variedad de géneros y especies de ascomicetos sintetizan lacasa, lingnino peroxidasa y manganeso peroxidasa; la más importante por su abundancia es la lacasa que hidroliza la LIREPATO en ARO. Además, cabe mencionar que las GA son ácidos diterpenoides tetracíclicos; implicadas en la germinación de la semilla, emergencia de la plántula y la formación del tallo de la planta. Está demostrado que existen síntesis de GA por *Giberella fujikuroi*; mientras por *A. beijerinckii* y *M. echinospora* es escasa. Las BAPOCEVE son un conjunto de géneros y especies de bacterias como *Azospirillum* sp, *Azotobacter* sp y *Rhizobium* sp, entre otros. Existe escasa información respecto a las posibles GA, sintetizadas por algunas BAPOCEVE; que causan un efecto positivo en diferentes semillas. Respecto a lo anterior a continuación se señalan algunos trabajos.

Bonilla *et al.*, (2013) seleccionaron *Aspergillus* spp con alta capacidad de DEPO de la LIREPATO. Así *Aspergillus* spp se inoculó en 100 mL CLIREPATO/35 días. Los resultados demostraron que *Aspergillus* spp despolimerizó la LIREPATO en un 34.8%.



Baltierra-Trejo *et al.*, (2015) analizaron que especies de *A. fumigatus* degradan la LIREPATO con generación de ARO. Para ello *A. fumigatus* creció CLIREPATO en diferentes concentraciones de 20 L⁻¹, 30 L⁻¹, 40 L⁻¹ y 50 L⁻¹. Los resultados señalan que la máxima cantidad de ARO generados fue cuando se empleó 20 L⁻¹ del LIREPATO.

Espino *et al.*, (2015) evaluaron la capacidad de *Aspergillus* spp y *Penicillium* spp para degradar a diferentes concentraciones la LIREPATO semipurificada. Ambos hongos se cultivaron en diferentes concentraciones de 20 L⁻¹, 30 L⁻¹, 40 L⁻¹ y 50 L⁻¹ de CLIREPATO. Los resultados demostraron que *Aspergillus* spp con la lacasa generó 26.2 % y con 20 L⁻¹ de la LIREPATO; mientras que *Penicillium* spp alcanzó un 32.4 % a 30 L⁻¹ de la LIREPATO.

Baltierra-Trejo *et al.*, (2016) determinaron la DEPO del LIREPATO semipurificada mediante *A. fumigatus* y *P. chrysogenum* que genera ARO. Así mismo estos hongos se sembraron en CLIREPATO por 28 días. Los resultados mostraron que *A. fumigatus* con la lacasa despolimerizó la LIREPATO con un 29.1% y *P. chrysogenum* con 34.8%.

Candau *et al.*, (1991), analizaron en *G. fujikuroi* la síntesis de GA. *G. fujikuroi* se cultivó en glucosa y (NH₄)₂SO₄. Los resultados reportaron que *G. fujikuroi* sintetizó las GA a bajas concentraciones de glucosa y nitrógeno.



Oller *et al.*, (2002) evaluaron en *G. fujikuroi* la síntesis de GA, en un medio inoculado con una alta concentración de esporas de *G. fujikuroi* y enriquecido con $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ durante 6 días. Los resultados señalaron que *G. fujikuroi* sintetizó una elevada cantidad de GA_3 .

González *et al.*, (2014) evaluaron el efecto de las posibles GA de *Azotobacter* sp en semillas de *Solanum lycopersicum* y *Zea mays*. Para ello ambas semillas se trataron con las dosis de 1 mL; 0.1 mL y 0.01 mL de la posible GA por 3 días; luego 15 después se midió la fenología y biomasa. Los resultados mostraron una respuesta positiva de la semilla de *Z. mays* con 1 mL de la posible GA que registró una AP de 12.9 cm y una LR de 11.55 cm, valores numéricos comparados con la misma dosis, donde la AP fue de 19.54 cm y la LR de 13.96 cm; mientras que con 0.01 mL la planta alcanzó una AP de 19.14 cm y una LR de 8.34 cm. En cuanto al PFA a dosis de 1 mL; la planta registró un valor de 1.03 g y 0.53 g de PFR de, para el PSA fue de 0.11 g y 0.05 g del PSR, mientras que con 0.01 mL el PFA fue de 1.96 g y el PFR de 0.7 g; el PSA registró un valor de 0.2 g y un PSR de 0.07 g. Valores estadísticamente diferentes en relación a las dosis utilizadas.

Ávalos *et al.*, (2015) reportaron el efecto de las posibles GA de *Streptomyces griseus* en *P. vulgaris*. La semilla de *P. vulgaris* fue tratada con las dosis 0.1 mL y 0.01 mL; se conservaron en oscuridad por 3 días; 15 días después se midió su fenología y biomasa. Los resultados mostraron una respuesta positiva de *P. vulgaris*



con 16.45 cm en la AP, una LR de 17.71 cm con un PFA/PFR de 1.48 g y 0.31 g que, valores estadísticamente diferentes contra la semilla CR, alimentada con la solución mineral, con una AP de 3 cm y una LR 6.98 cm y un PFA de 0.76 g y con un PFR de 0.08 g.



3. Justificación

Uno de los desechos abundantes agrícolas es la paja de trigo sembrado en 115 países con una producción mundial de 675×10^9 Kg año⁻¹ (Kim & Dile 2004, FAO 2012) y como subproducto se estima que se generan 877×10^9 Kg (Talebnia *et al.*, 2010); una alternativa que se considera viable para su degradación es su incineración que ocasiona contaminación al ambiente por la producción de gases del efecto invernadero. La paja de trigo está compuesta por celulosa, hemicelulosas, pectinas y lignina, debido a la estructura química que compone a la paja de trigo es de difícil degradación. La paja de trigo es un desecho agrícola abundante no aprovechado con alto valor potencial de conversión en SUPOCEVE o en posibles GA a partir de ARO del LIREPATO. Una alternativa es su degradación, pero no por métodos químicos por su alto costo y la contaminación que genera; si no por el empleo de hongos mitosporicos ligninolíticos. Por lo que en esta investigación se planteó aprovechar la DEPO del LIREPATO extraída de la paja de trigo; con generación de ARO mediante la lacasa de *A. fumigatus* y su conversión en posibles GA por los géneros y especies de *A. beijerinckii* y *M. echinospora* y se analizó el efecto de las posibles GA en semillas de *L. sativa*, *P. vulgaris* y *Z. mays*.

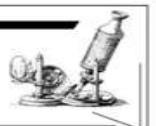


4. Hipótesis

La conversión de la LIREPATO mediante *Aspergillus fumigatus* genera aromáticos que *Azotobacter beijerinckii* y *Micromonospora echinospora* convierten en SUPOCEVE o en posibles giberelinas las cuales tendrán un efecto positivo al ser aplicadas en semillas de *Lactuca sativa*, *Phaseolus vulgaris* y *Zea mays* a dosis de 50 μ L, 100 μ L y 150 μ L.

5. Objetivo

- ✓ Analizar el efecto de las posibles giberelinas de *Azotobacter beijerinckii* en *Phaseolus vulgaris* y *Lactuca sativa* y *Micromonospora echinospora* en *Zea mays*.



6. Materiales y métodos

6.1 Activación de *Aspergillus fumigatus*

Se utilizó *A. fumigatus* de la colección del Laboratorio de Microbiología Ambiental del Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas de la UMSNH. A partir de paja de trigo se extrajo LIREPATO, se molió y posteriormente se tamizó en malla de 0.0841 mm; para eliminar parte de la celulosa y hemicelulosas se empleó ácido acético ($\text{CH}_3\text{-COOH}$) al 10% (v/v) por 30 min en proporción 1:2 (p/v), después se neutralizó con NaOH al 10% (p/v), enseguida se lavó con agua destilada, se autoclaveó a 121 °C /60 min; se secó en horno a 70 °C/24 h. *A. fumigatus* se activó en medio agar LIREPATO con la siguiente composición química (g L^{-1}): LIREPATO 10.0; peptona de caseína 5.0; extracto de levadura 1.3; K_2HPO_4 0.17; KH_2PO_4 2.61; MgSO_4 1.5; NaCl 0.9; CuSO_4 0.05; azul de bromotimol 10 ppm; 2.5 mL de detergente al 10% (p/v), y 1 mL L^{-1} de solución de oligoelementos con la siguiente composición química (g L^{-1}): H_3BO_3 2.86; $\text{ZnSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.22; $\text{MnCl}_2\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1.81; KMnO_4 0.09; agar 18 g L^{-1} , el pH se ajustó a 5.5; se esterilizó a 121°C/20 min (Sánchez-Yáñez, 2007).

6.2 Cinética de la despolimerización de la lignina residual de paja de trigo por *Aspergillus fumigatus*.

El micelio de *A. fumigatus* se removió de la caja petri con 15.0 ml de (solución salina detergente estéril) 12 ml NaCl 0.85% (p/v) y 3.0 ml detergente (Roma®) 0.01% (p/v) con pipeta de 5 mL; luego 12.5 mL de *A. fumigatus* se inoculó en matraces



Erlenmeyer de 500 mL con 250 mL de caldo LIREPATO (CLIREPATO) con la siguiente composición (g L^{-1}): LIREPATO 10.0; peptona de caseína 5.0; extracto de levadura 1.3; K_2HPO_4 0.17; KH_2PO_4 2.61; MgSO_4 1.5; NaCl 0.9; CuSO_4 0.05; azul de bromotimol 10 ppm; 2.5 mL de detergente al 10% (p/v), y 1 mL L^{-1} de solución de oligoelementos con la siguiente composición (g L^{-1}): H_3BO_3 2.86; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.22; $\text{MnCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1.81; KMnO_4 0.09, se ajustó a 5.5 y se esterilizó a $121^\circ\text{C}/20 \text{ min}$ (Bonilla *et al.*, 2013); los matraces se incubaron en un agitador rotatorio (Thermo Scientific MaxQ 4000) por 2 semanas a 30°C a 150 rpm; se tomaron muestras del CLIREPATO como evidencia para medir la lacasa como evidencia de su DEPO los días 3, 6, 9, 12 y 15; que se congelaron (Sánchez-Yáñez, 2007).

6.3 Medición de la actividad lacasa de *Aspergillus fumigatus* como evidencia de la despolimerización de la LIREPATO.

La medición enzimática de la lacasa supuso la formación de ARO por *A. fumigatus*, tomando muestras del CLIREPATO con la lacasa los días 3, 6, 9, 12 y 15. Las muestras se centrifugaron a 3500 rpm a $4^\circ\text{C}/15 \text{ min}$ para eliminar el micelio de *A. fumigatus*. Luego se preparó una mezcla en tubo de ensaye cubierto con papel aluminio, donde se adicionó 2.4 mL de buffer acetato de sodio trihidratado 25 mM, pH 3.0; 300 μL de ácido 2,2'-acino-bis-3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico (ABTS) 10 mM y 300 μL del CLIREPATO con la lacasa, se agitó la solución en vortex (Genie II G560); de ahí se tomó 1 mL, se pasó a una celda para espectrofotómetro; donde se hizo la medición desde 0, 3 y 5 minutos (Espectrofotómetro Benchtop-Educativo 7305) por oxidación del ABTS; con un coeficiente de extinción molar de $\epsilon_{420}=3600$



M⁻¹ cm⁻¹; para las mediciones de la enzima lacasa el espectrofotómetro se calibró haciendo un ajuste con el blanco de 3.0 mL (buffer 2.4 mL, acetato de sodio trihidratado y ácido acético a pH 3.0); agua destilada 300 µL y ABTS 300 µL), se agitó la solución en vortex (Genie II G560) y ajustado se midió la muestra problema (Baltierra-Trejo *et al*, 2016).

Para determinar las unidades lacasa se utilizó la siguiente ecuación:

$$UL^{-1} = \frac{A(1E(6)(Vt)(C)}{t(\epsilon)(Vm)}$$

UL= Actividad enzimática µmol⁻¹ l⁻¹

C= Tamaño de la celda (1 cm)

ε= Coeficiente de extinción molar de ABTS (3600 (M⁻¹ cm⁻¹) (mol l)⁻¹ cm⁻¹))

Vm= Volumen de la muestra (ml)

Vt= Volumen total de la reacción (ml)

t= Tiempo de reacción (min)

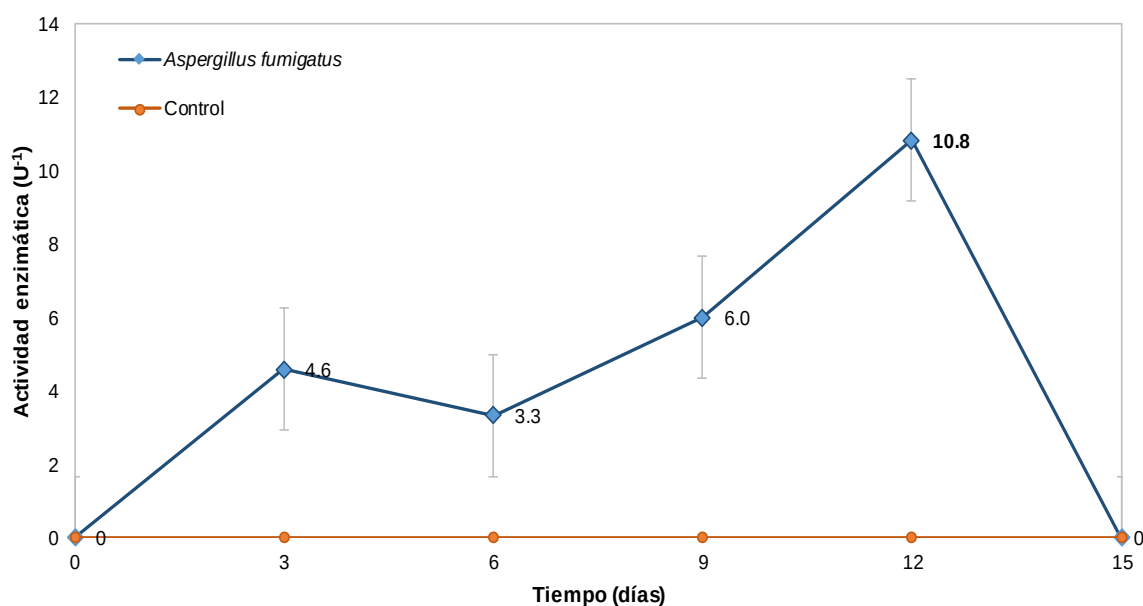
A= Δ Abs 420 nm= Abs final - Abs inicial

En la figura 1, se muestra la cinética de la actividad de la lacasa como medida indirecta de la DEPO de la LIREPATO a los días 3, 6, 9, 12 y 15 de *A. fumigatus*,



donde la lacasa se indujo a partir de la segunda semana de incubación con un valor máximo de 10.8 UL⁻¹ y con un deceso de la actividad, hasta llegar a la pérdida total de la actividad de la lacasa en el día 15.

Figura 1. Cinética de la actividad de la lacasa de *Aspergillus fumigatus* en la despolimerización de la lignina residual de paja de trigo como evidencia de su transformación en aromáticos.



6.4 Conversión de aromáticos de la despolimerización de la lignina residual de paja de trigo en sustancias promotoras de crecimiento vegetal por *Azotobacter beijerinckii* y *Micromonospora echinospora*.

Para esta etapa se emplearon los géneros y especies de *A. beijerinckii* y *M. echinospora* de la colección del Laboratorio de Microbiología Ambiental de la UMSNH. *A. beirenjickii* se activó en agar nutritivo con la siguiente composición



(g L⁻¹): 8.0 de agar nutritivo; 18.0 g L⁻¹ de agar ajustado a pH de 7; se esterilizó a 121°C/20 min. *M. echinospora* se cultivó en AHA con la siguiente composición (g L⁻¹): hueso de aguacate 10.0; peptona de caseína 5.0; extracto de levadura 1.3; K₂HPO₄ 0.17; KH₂PO₄ 2.61; MgSO₄ 1.5; NaCl 0.9; CuSO₄ 0.05; azul de bromotimol 10 ppm; 2.5 mL de detergente al 10% (p/v), y 1 mL L⁻¹ de solución de oligoelementos con la siguiente composición (g L⁻¹): H₃BO₃ 2.86; ZnSO₄·7H₂O 0.22; MnCl₂·7H₂O 1.81; KMnO₄ 0.09; agar 18 g L⁻¹, ajustado a pH de 7.0, se esterilizó 121°C/20min. El CLIREPATO derivado de la DEPO por *A. fumigatus* se filtró para eliminarlo, luego se enriqueció con peptona de caseína 4g L⁻¹ (Bioxon), extracto de levadura (Bioxon) 2.0 g L⁻¹, glucosa 2.0 g L⁻¹ y CuSO₄ 5H₂O 160 ppm el pH se ajustó a 6.8-7.0 y se esterilizó a 121°C/20 min. Luego se inocularon *A. beijerinckii* y *M. echinospora* con 15 mL de (solución salina detergente estéril) 12 mL NaCl 0.85% (p/v) y 3.0 mL detergente (Roma®) 0.01% (p/v), se extrajo con pipeta de 5 mL; se inoculó 12.5 mL de *A. beirenjickii* y *M. echinospora* en CLIREPATO despolimerizado y enriquecido por 16 días a 30°C a 150 rpm (Sánchez-Yáñez *et al.*, 2007), se tomaron muestras los días 9, 12 y 16 (González *et al.*, 2014). Sintetizadas las posibles GA por *A. beirenjickii* y *M. echinospora*, se recuperó el sobrenadante en tubos de ensaye estériles y se congelaron para eliminar ambos géneros y especies de *A. beijerinckii* y *M. echinospora* y realizar el bioensayo correspondiente en semilla de *L. sativa*, *P. vulgaris* y *Z. mays* (González *et al.*, 2014).



6.5 Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo en posibles giberelinas por *Azotobacter beijerinckii* y *Micromonospora echinospora* en *Lactuca sativa*, *Phaseolus vulgaris* y *Zea mays*.

La semilla de *L. sativa*, *P. vulgaris* y *Z. mays* se desinfectaron con alcohol (C_2H_6O) al 70 %, se lavaron seis veces con agua destilada estéril, luego se desinfectaron con hipoclorito de sodio ($NaClO$) al 6% y se lavaron seis veces con agua destilada estéril. Las semillas se trataron con las posible GA de *A. beijerinckii* y *M. echinospora* a 3 dosis; 50 μL , 100 μL y 150 μL . Las semillas se colocaron en cajas de petri estériles sobre una cama de algodón con agua destilada estéril como soporte, se cubrieron con un papel filtro estéril; de acuerdo al diseño experimental, las semillas CA se irrigaron sólo con agua destilada estéril y las semillas CR se alimentaron con SOMI (González *et al.*, 2014) con la siguiente composición ($g L^{-1}$): NH_4Cl o NH_4NO_3 10.0; K_2HPO_4 2.5; KH_2PO_4 2.0; $MgSO_4$ 1.0; $NaCl$ 0.1; $CaCl_2$ 0.1; $FeSO_4$ trazas, solución de oligoelementos 10 ml/L con la siguiente composición ($g L^{-1}$): H_3BO_3 2.86; $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.22; $MnCl_2 \cdot 7H_2O$ 1.81; $KMnO_4$ 0.09 y el pH se ajustó a 6.5-6.8. (Sánchez-Yáñez *et al.*, 2007). Las cajas con las semillas se dejaron en solárium en la obscuridad por 3 días; 15 días después se midió su fenología: AP/LR; y su biomasa: PFA/PFR, se secó la parte aérea y radical a 80 °C/24 h en horno, para el PSA/PSR (González *et al.*, 2014). Los datos experimentales se analizaron por Tukey con un nivel de significancia de 0.05 mediante el programa Statgraphics Centurion 16.103® (Nishida & Fukuzumi, 1978; Rahouti *et al.*, 1989).

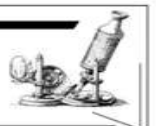
En su primera etapa se llevó a cabo la conversión del LIREPATO por la lacasa de *A. fumigatus* con generación de ARO y luego su conversión en posibles GA por *A.*



beijerinckii y *M. echinospora* y el bioensayo en semillas se realizó para comprobar el efecto de las posibles GA, comparado con una GA comercial.



Figura 2. Despolimerización del LIREPATO con *Aspergillus fumigatus* y conversión de las posibles giberelinas por *A. beijerinckii* y *M. echinospora*.



6.6 Diseño experimental

Cuadro 1. Bioensayo en semillas de *Lactuca sativa*, *Phaseolus vulgaris* y *Zea mays* tratadas con las posibles giberelinas sintetizadas por *Azotobacter beijerinckii* y *Micromonospora echinospora*.

Bioensayos	Control absoluto (CA)	Control relativo (CR)	Giberelina comercial	Posible giberelina de <i>Azotobacter beijerinckii</i> (Abg)	Posible giberelina de <i>Micromonospora echinospora</i> (Meg)
Dosis (μL)	-	50, 100 y 150	50, 100 y 150	50, 100 y 150	50, 100 y 150
<i>Lactuca sativa</i>	+	+	+	+	-
<i>Phaseolus vulgaris</i>	+	+	+	+	-
<i>Zea mays</i>	+	+	+	-	+

(-) no aplicado; (+) aplicado



7. Resultados

7.1 Porcentaje de germinación de *Lactuca sativa* tratada con la posible giberelina de *Azotobacter beijerinckii* (Abg) a dosis de 50 μ L.

En el cuadro 2, señala el porcentaje de germinación de *L. sativa* con la posible GA a dosis de 50 μ L, con un 76.4% comparado *L. sativa* tratada con la GA comercial a dosis de 50 μ L con un 79.2%, valores numéricos estadísticamente diferentes y que comparado con la semilla CR, semilla alimentada con SOMI; registró un 83.3%, mientras que la semilla *L. sativa* irrigada sólo con agua, CA; mostró un 66.7% de germinación.

En el mismo cuadro, muestra el porcentaje de germinación de *L. sativa* con la posible GA con dosis de 100 μ L, donde se observa un 73.6%, que comparado con *L. sativa* tratada con la GA comercial con dosis de 50 μ L reportó un 79.2%, valores estadísticamente diferentes; comparado con el CR, semilla alimentada con SOMI, alcanzó un 83.3%, mientras que la semilla *L. sativa* irrigada sólo con agua, CA; mostró un 66.7% de germinación.



Cuadro 2. Porcentaje de germinación de *Lactuca sativa* tratada con la posible giberelina transformada por *Azotobacter beijerinckii* (Abg) a dosis de 50 μ L y 100 μ L.

<i>Lactuca sativa</i>	Germinación %	
Abg-50 μ L	76.4	c*
Giberelina comercial	79.2	b
Control relativo	83.3	a
Control absoluto	66.7	d
Abg-100 μ L	73.6	c
Giberelina comercial	79.2	b
Control relativo	83.3	a*
Control absoluto	66.7	d

Abg-50 μ L = 50 μ L de la posible giberelina sintetizada por *Azotobacter beijerinckii*
Abg-100 μ L = 100 μ L de la posible giberelina sintetizada por *Azotobacter beijerinckii*.

*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.

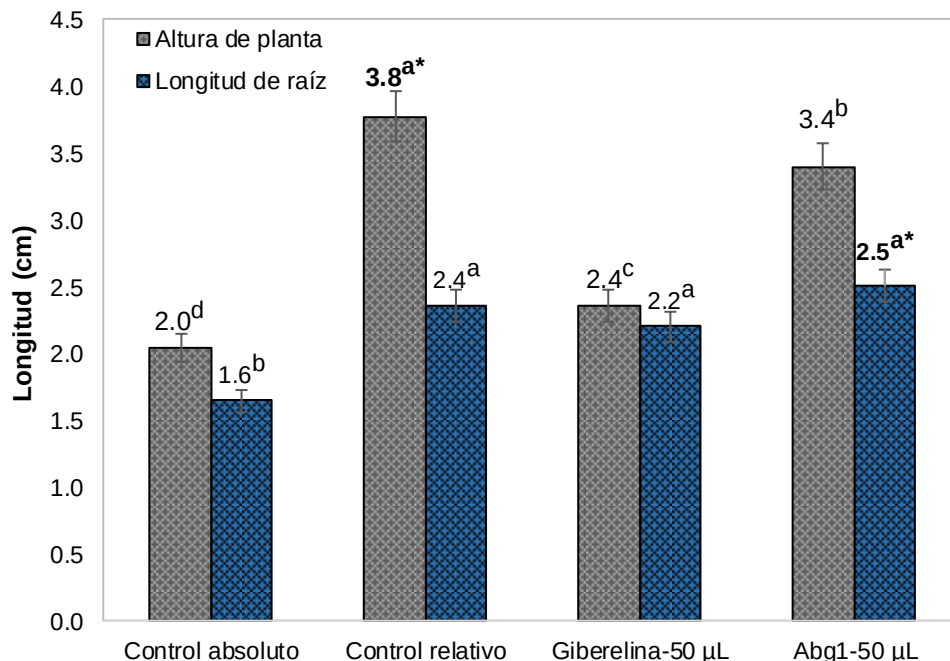
7.1.1 Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo en posible giberelina por *Azotobacter beijerinckii* (Abg) en *Lactuca sativa* a dosis de 50 μ L y 100 μ L sobre su fenología.

En la figura 3, la posible GA mostró un efecto positivo en *L. sativa* sobre su fenología, donde se observan valores de la AP de 3.4 cm y 2.5 cm en la LR con dosis de 50 μ L; que comparado el efecto de *L. sativa* tratada con la GA comercial alcanzó un 2.4 cm de la AP y 2.2 cm de la LR, en tanto que los resultados del CR, semilla alimentada con SOMI registró una AP de 3.8 cm y una LR de 2.4 cm valores numéricos estadísticamente diferentes; mientras que para el CA, semilla irrigada



sólo con agua; mostró una AP de 2.0 cm y una LR de 1.6 cm; valores estadísticamente diferentes.

Figura 3. Efecto de la posible giberelina de *Azotobacter beijerinckii* (Abg1) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de *Lactuca sativa* a dosis de 50 μ L en su fenología.



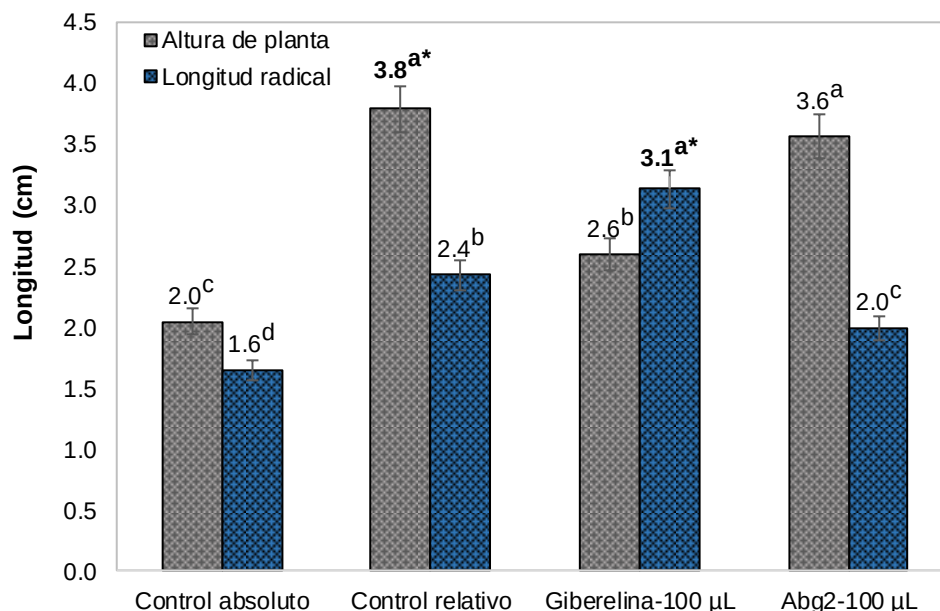
Control absoluto=agua +*L. sativa*; Control relativo=solución mineral + *L. sativa*;
Giberelina-50 μ L=50 μ L de giberelina comercial + *L. sativa*;
Abg1-50 μ L=50 μ L de la posible giberelina producida por *A. beijerinckii* + *L. sativa*.

*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.

En la figura 4, representa que la posible GA causó un efecto positivo en *L. sativa*, donde la AP fue de 3.6 cm y la LR de 2.0 cm a dosis de 100 μ L; que comparado con *L. sativa* con la GA comercial; registró una AP de 2.6 cm y una LR de 3.1 cm, valores estadísticamente diferentes; en cambio para el CR, semilla alimentada con SOMI registró una AP de 3.8 cm y una LR de 2.4 cm; mientras que el CA, semilla irrigada sólo con agua alcanzó una AP de 2.0 cm y 1.6 cm en la LR.



Figura 4. Efecto de la posible giberelina de *Azotobacter beijerinckii* (Abg2) generada por la conversión de aromáticos de la LIREFATO de *Lactuca sativa* a dosis de 100 μ L en su fenología.



Control absoluto=agua +*L. sativa*; Control relativo=solución mineral + *L. sativa*;
Giberelina-100 μ L=100 μ L de giberelina comercial + *L. sativa*;
Abg2-100 μ L=100 μ L de posible giberelina producida por *A. beijerinckii* + *L. sativa*.

*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.

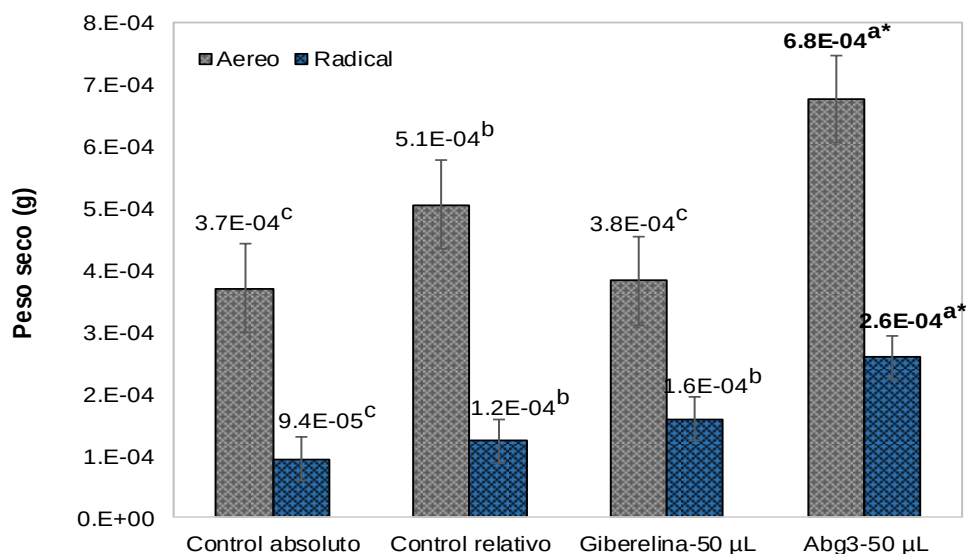
7.1.2 Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo de una posible giberelina por *Azotobacter beijerinckii* (Abg) en *Lactuca sativa* a dosis de 50 μ L y 100 μ L sobre su biomasa.

En la figura 5, muestra que las posibles GA causaron un efecto positivo en *L. sativa*, donde se registró un PSA de 6.8E-04 g y un PSR de 2.6E-04 g con dosis de 50 μ L; mientras que la semilla tratada con la GA comercial alcanzó valores estadísticamente diferentes, con un PSA de 3.8E-04 g y un PSR de 1.6E-04 g; que comparados con el CR, semilla alimentada con SOMI registró valores del PSA de



5.1E-04 g y 1.2E-04 g del PSR. Los datos obtenidos respecto al CA, semilla irrigada sólo con agua alcanzó un PSA de 3.7E-04 g y 9.4E-05 g del PSR; valores estadísticamente diferentes comparados con las semillas tratadas con GAs.

Figura 5. Efecto de la posible giberelina de *Azotobacter beijerinckii* (Abg3) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de *Lactuca sativa* a dosis de 50 µL en su biomasa.



Control absoluto=agua + *L. sativa*; Control relativo=solución mineral + *L. sativa*;
Giberelina-50µL=50µL de giberelina comercial + *L. sativa*;
Abg3-50µL=50µL de la posible giberelina producida por *A. beijerinckii* + *L. sativa*.

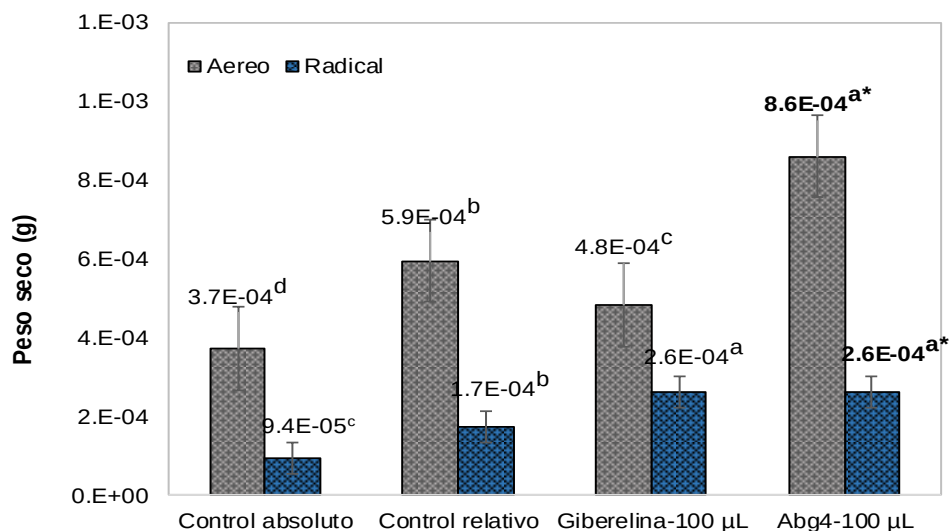
*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.

En la figura 6, reportó un efecto positivo de las posibles GA en *L. sativa* con dosis de 100 µL; donde alcanzó un PSA de 8.6E-04 g y un PSR de 2.6E-04 g; en tanto que la semilla tratada con la GA comercial, registró valores numéricos de PSA de 4.8E-04 g y 2.6E-04 g del PSR; comparados los valores numéricos de la semilla CR, semilla alimentada con SOMI son estadísticamente diferentes, donde alcanzó un



PSA de 5.9E-04g y un PSR de 1.7E-04 g; mientras que los resultados de la semilla CA, semilla irrigada sólo con agua reportó un PSA de 3.1E-04 g y un PSR de 7.6E-05 g.

Figura 6. Efecto de la posible giberelina de *Azotobacter beijerinckii* (Abg4) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de *Lactuca sativa* a dosis de 100 μ L en su biomasa.



Control absoluto=agua + *L. sativa*; Control relativo=solución mineral + *L. sativa*;
Giberelina-100 μ L=100 μ L de giberelina comercial + *L. sativa*;
Abg4-100 μ L=100 μ L de la posible giberelina producida por *A. beijerinckii* + *L. sativa*.

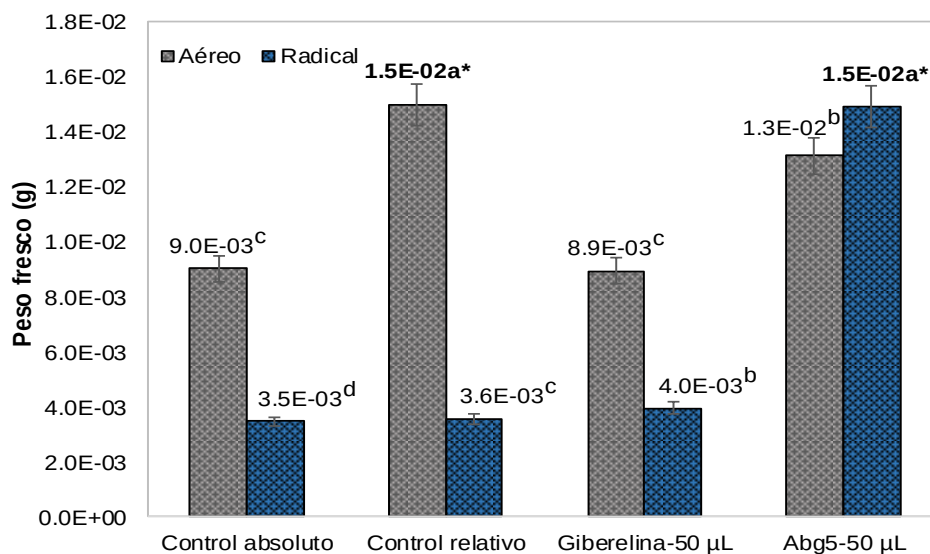
*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.

En la figura 7, señala que la posible GA produjo un efecto positivo en *L. sativa* sobre su biomasa; con un PFA de 1.3E-02 g y 1.49-02 g del PFR a dosis de 50 μ L; en tanto que *L. sativa* con la GA comercial registró un PFA de 8.9E-03 g y 3.96E-03 g del PFR; comparado con el CR, semilla alimentada con SOMI alcanzó un PFA de 1.5E-02 g y 3.85E-03 g del PFR, mientras que el CA, semilla irrigada sólo con agua



reportó un PSA de $9.0\text{E-}03$ g y $3.47\text{E-}03$ g del PFR; valores estadísticamente diferentes comparados con las semillas tratadas con las GAs.

Figura 7. Efecto de la posible giberelina de *Azotobacter beijerinckii* (Abg5) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de *Lactuca sativa* a dosis de $50\text{ }\mu\text{L}$ en su biomasa.



Control absoluto=agua + *L. sativa*; Control relativo=solución mineral + *L. sativa*;
Giberelina-50 μL =50 μL de Giberelina comercial + *L. sativa*;
Abg5-50 μL =50 μL de posible giberelina producida por *A. beijerinckii* + *L. sativa*.

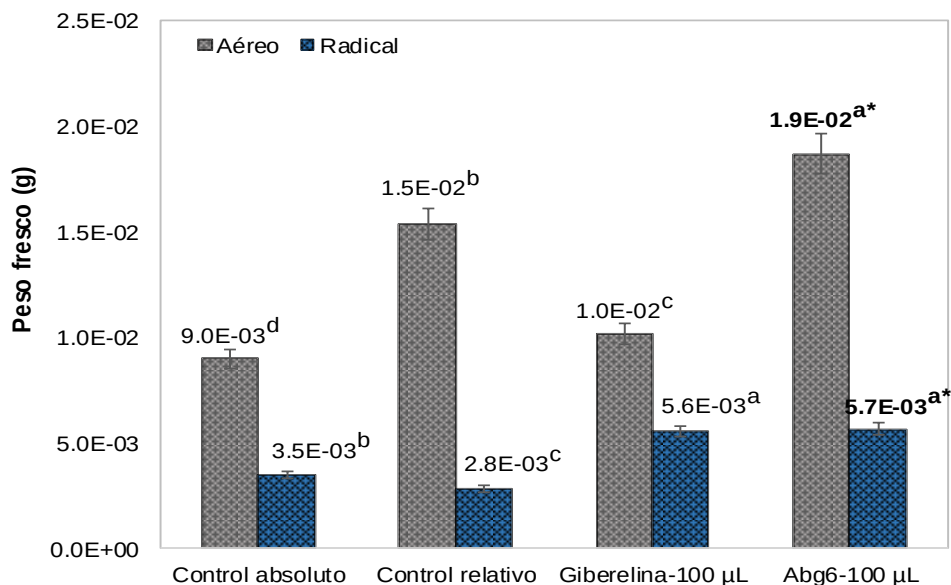
*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.

En la figura 8, registró que la posible GA indujo un efecto positivo en *L. sativa*, mostró una respuesta favorable de *L. sativa* sobre su biomasa, con un PFA de $1.92\text{E-}02$ g y $5.67\text{E-}03$ g de PFR con dosis de $100\text{ }\mu\text{L}$; comparado estos valores numéricos con *L. sativa* tratada con la GA comercial, reportó un PFA de $1.0\text{E-}02$ g y un PFR de $5.57\text{E-}02$ g; en tanto que el CR, semilla alimentada con SOMI alcanzó



un PFA de $1.5\text{E}-02$ g y $2.84\text{E}-02$ g del PFR. Los valores que registró el CA, semilla irrigada sólo con agua, fue de $9.0\text{E}-03$ g de PFA y $3.47\text{E}-03$ g de PFR.

Figura 8. Efecto de la posible giberelina de *Azotobacter beijerinckii* (Abg6) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de *Lactuca sativa* a dosis de $100\text{ }\mu\text{L}$ en su biomasa.



Control absoluto=agua + *L. sativa*; control relativo=solución mineral + *L. sativa*;
Giberelina-50 μL =50 μL de giberelina comercial + *L. sativa*;
Abg6-100 μL =100 μL de posible giberelina producida por *A. beijerinckii* + *L. sativa*.

*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.

7.2 Porcentaje de germinación de *Phaseolus vulgaris* tratada con la posible giberelina de *Azotobacter beijerinckii* (Abg) a dosis e $50\text{ }\mu\text{L}$ y $100\text{ }\mu\text{L}$.

En el cuadro 3, señala un porcentaje de germinación de *P. vulgaris*, tratada con la posible GA a dosis de $50\text{ }\mu\text{L}$ alcanzó un 88.9%, en tanto que *P. vulgaris* con la GA comercial registró un 85.2%, valores estadísticamente diferentes; mientras que el



CR, semilla alimentada con SOMI registró un 77.8%, valor que comparado con el CA, semilla irrigada sólo con agua, reportó un 88.9% de germinación.

Además, muestra el porcentaje de germinación de *P. vulgaris*, tratada con la posible GA a dosis de 100 µL donde registró un 94.4%, mientras que *P. vulgaris* con la GA comercial reportó el mismo valor 99.4% y de la misma forma para la semilla CR; *P. vulgaris* alimentada con SOMI, valores que comparados con la semilla CA, *P. vulgaris* irrigada sólo con agua, registró un 88.9% en su germinación; valores estadísticamente diferentes comparados con las semillas tratadas con las GAs.

Cuadro 3. Porcentaje de germinación de *Phaseolus vulgaris* tratada con la posible giberelina transformada por *Azotobacter beijerinckii* (Abg) a dosis de 50 µL y 100 µL.

<i>Phaseolus vulgaris</i>	Germinación (%)	
Abg-50 µL	88.9	a*
Giberelina comercial	85.2	b
Control relativo	77.8	c
Control absoluto	88.9	a
Abg-100 µL	94.4	a*
Giberelina comercial	94.4	a
Control relativo	99.4	a
Control absoluto	88.9	b

Abg-50 µL = 50 µL de la posible giberelina sintetizada por *Azotobacter beijerinckii*;
Abg-100 µL = 100 µL de la posible giberelina sintetizada por *Azotobacter beijerinckii*.

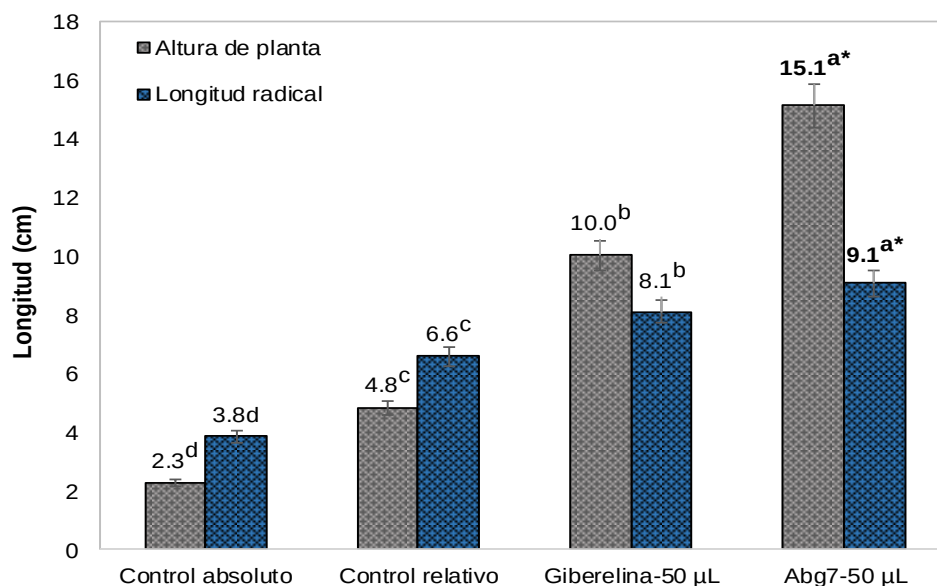
*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.



7.2.1 Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo de una posible giberelina por *Azotobacter beijerinckii* (Abg) en *Phaseolus vulgaris* a dosis de 50 μ L y 100 μ L sobre su fenología.

Los resultados que se muestran en la figura 9, reportó un efecto positivo de la posible GA en *P. vulgaris*, con una respuesta positiva sobre la fenología; donde el valor de la AP fue de 15.1 cm y 9.1 cm de la LR a dosis de 50 μ L; que comparado con la GA comercial; alcanzó una AP de 10.0 cm y una LR de 8.1 cm, valores numéricos que comparados el CR, semilla alimentada con SOMI son estadísticamente diferentes, donde la AP fue de 4.8 cm y la LR de 6.6 cm; mientras que los valores reportados para el CA; registró una AP de 2.3 cm y una LR de 3.8 cm.

Figura 9. Efecto de la posible giberelina de *Azotobacter beijerinckii* (Abg7) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de *Phaseolus vulgaris* a dosis de 50 μ L en su fenología.



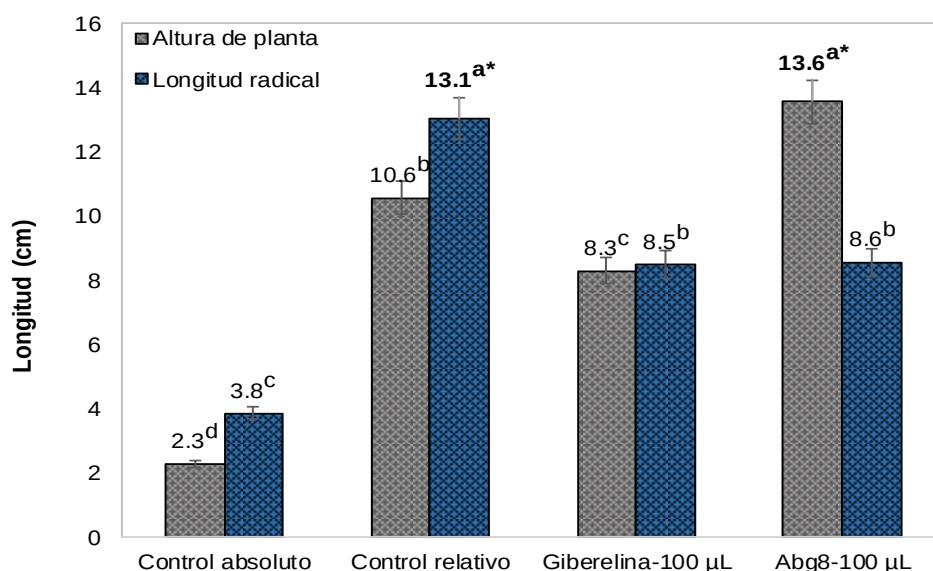
Control absoluto=Agua + *P. vulgaris*; Control relativo=solución mineral + *P. vulgaris*;
Giberelina-50 μ L=50 μ L de Giberelina comercial + *P. vulgaris*;
Abg7-50 μ L=50 μ L de una posible giberelina producida por *A. beijerinckii* + *P. vulgaris*.



*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.

En la figura 10, registró que la posible GA indujo un efecto positivo (Abg8) en *P. vulgaris* sobre su fenología con dosis de 100 µl, donde señala valores con una diferencia estadística en cuanto a la AP de 13.6 cm y una LR de 8.6 cm comparados con la GA comercial, donde reportó una AP de 8.3 cm y una LR de 8.5 cm; mientras que el CR, semilla alimentada con SOMI; registró una AP de 10.6 cm y una LR de 13.1 cm; valores estadísticamente diferentes comparados con el CA donde su AP fue de 2.3 cm y la LR de 3.8 cm.

Figura 10. Efecto de la posible giberelina de *Azotobacter beijerinckii* (Abg8) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de *Phaseolus vulgaris* a dosis de 100 µL en su fenología.



Control absoluto=Agua + *P. vulgaris*; Control relativo=solución mineral + *P. vulgaris*;
Giberelina-100µL=100µL de Giberelina comercial +*P. vulgaris*;
Abg8-100µL=100µL de fitohormona producida por *A. beijerinckii* + *P. vulgaris*.

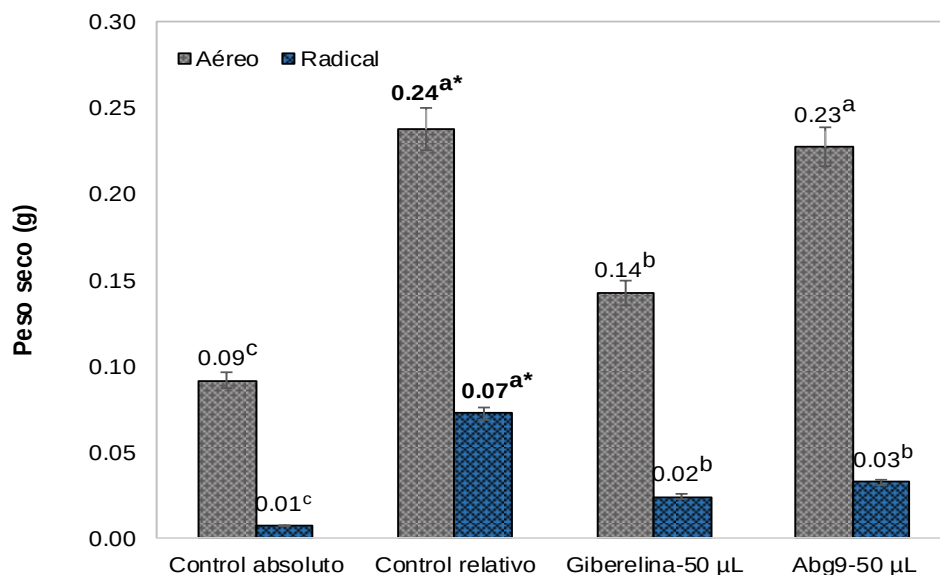
*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.



7.2.2 Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo en posible giberelina por *Azotobacter beijerinckii* (Abg) en *Phaseolus vulgaris* a dosis de 50 μ L y 100 μ L sobre su biomasa.

En la figura 11, muestra que las posibles GA causaron un efecto positivo en *P. vulgaris* sobre su biomasa, donde registró una respuesta eficaz a dosis de 50 μ L; con un PSA de 0.23 g y un PSR de 0.03 g valores estadísticamente diferentes respecto a la GA comercial donde su PSA fue de 0.14 g y el PSR de 0.02 g; en tanto que el CR, semilla alimentada con SOMI ; alcanzó un PSA de 0.24 g y un PSR de 0.07 g, que comparados con el CA, semilla irrigada sólo con agua; donde su PSA fue de 0.09 g y 0.01 g del PSR; valores numéricos estadísticamente diferentes con las semillas tratadas con las GAs.

Figura 11. Efecto de la posible giberelina de *Azotobacter beijerinckii* (Abg9) generada por la conversión de aromáticos de la LIREFATO de *Phaseolus vulgaris* a dosis de 50 μ L en su biomasa.



Control absoluto=Agua + *P. vulgaris*; Control relativo=solución mineral + *P. vulgaris*;

Giberelina-50 μ L=50 μ L de giberelina comercial + *P. vulgaris*;

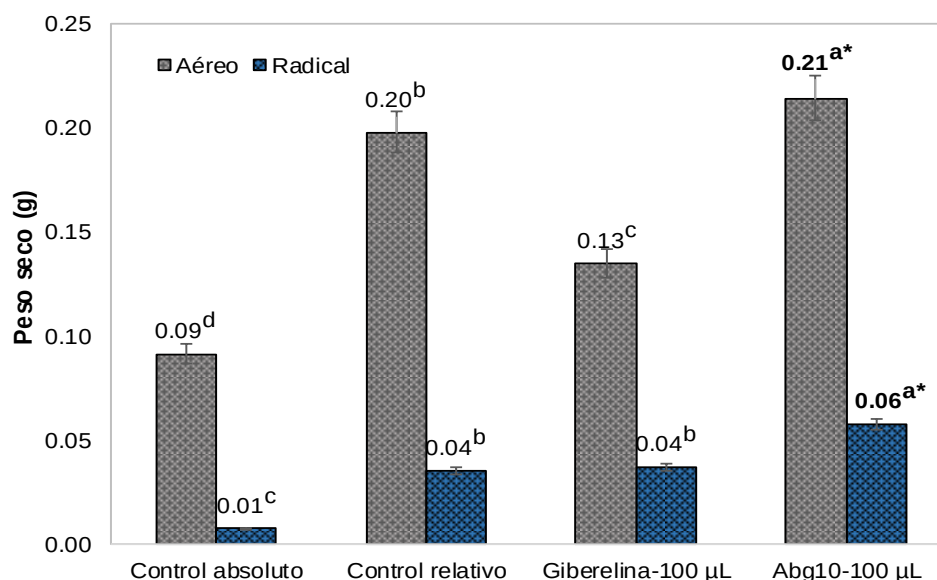
Abg9-50 μ L=50 μ L de una posible giberelina producida por *A. beijerinckii* + *P. vulgaris*.



*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.

En la figura 12, muestra el efecto positivo de la posible GA en *P. vulgaris*, lo cual se ve reflejado sobre su biomasa con dosis de 100 μ L; con un PSA de 0.21 g y un PSR de 0.06 g que, comparados los valores numéricos con *P. vulgaris* tratada con la GA comercial, registró un PSA de 0.13 g y 0.04 g de PSR; en tanto que el CR, *P. vulgaris* alimentada con SOMI; alcanzó un PSA de 0.20 g y un PSR de 0.04 g; en contraste con el CA, *P. vulgaris* irrigada sólo con agua; registró un PSA de 0.09 g y 0.01 g del PSR; valores numéricos estadísticamente diferentes.

Figura 12. Efecto de la posible giberelina de *Azotobacter beijerinckii* (Abg10) generada por la conversión de aromáticos de la LIREFATO de *Phaseolus vulgaris* a dosis de 100 μ L en su biomasa.



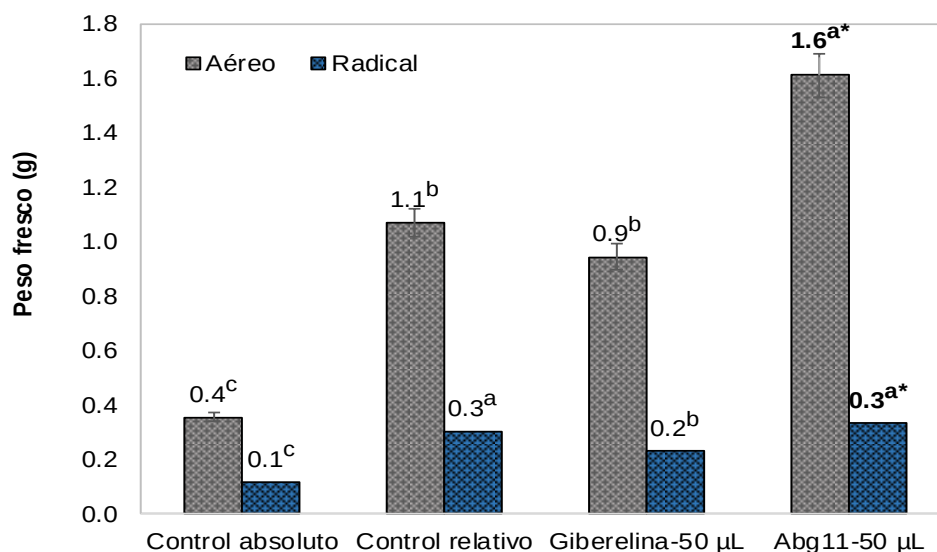
Control absoluto=Agua + *P. vulgaris*; Control relativo=solución mineral + *P. vulgaris*;
Giberelina-100 μ L=100 μ L de giberelina comercial + *P. vulgaris*;
Abg10-100 μ L=100 μ L de una posible giberelina producida por *A. beijerinckii* + *P. vulgaris*.

*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.



En la figura 13, muestra que la posible GA generó un efecto positivo en *P. vulgaris* sobre su biomasa, con un PFA de 1.6 g y un PFR de 0.3 g tratada a dosis de 50 μ L; mientras que la semilla tratada con la GA comercial reportó valores estadísticamente diferentes, donde el PFA fue de 0.9 g y el PFR de 0.2 g; comparados estos resultados son estadísticamente diferentes con el CR, semilla alimentada con SOMI; donde alcanzó un valor de 1.1 g del PFA y 0.3 g del PFR; mientras que el CA, semilla irrigada sólo con agua; reportó 0.4 g del PFA y 0.1 g del PFR.

Figura 13. Efecto de la posible giberelina de *Azotobacter beijerinckii* (Abg11) generada por la conversión de aromáticos de la LIREFATO de *Phaseolus vulgaris* a dosis de 50 μ L en su biomasa.



Control absoluto=Agua + *P. vulgaris*; Control relativo=solución mineral + *P. vulgaris*;

Giberelina-50 μ L=50 μ L de giberelina comercial + *P. vulgaris*;

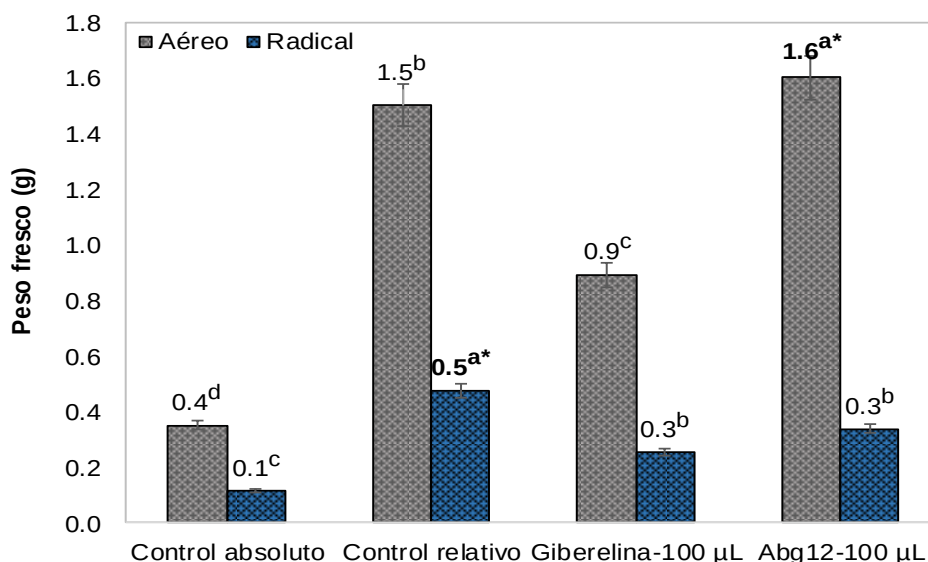
Abg11-50 μ L=50 μ L de una posible giberelina producida por *A. beijerinckii* + *P. vulgaris*.

*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.



En la figura 14, muestra que las posibles GA ocasionaron un efecto positivo en *P. vulgaris* sobre su biomasa con dosis de 100 μ L, con un PFA de 1.6 g y un PFR de 0.3 g; en tanto que *P. vulgaris* tratada con la GA comercial, registró un PFA de 0.9 g y un PFR de 0.3 g; valores que comparados con la semilla CR son estadísticamente diferentes, *P. vulgaris* alimentada con la SOMI; donde la planta registró un PFA de 1.5 g y un PFR de 0.5 g. Los valores que registró la semilla CA, *P. vulgaris* irrigada sólo con agua; son estadísticamente diferentes con valores del PFA de 0.4 g y del PFR de 0.01 g.

Figura 14. Efecto de la posible giberelina de *Azotobacter beijerinckii* (Abg12) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de *Phaseolus vulgaris* a dosis de 100 μ L en su biomasa.



Control absoluto=Agua + *P. vulgaris*; Control relativo=Solución mineral + *P. vulgaris*;
Giberelina-100 μ L=100 μ L de giberelina comercial + *P. vulgaris*;
Abg12-100 μ L=100 μ L de una posible giberelina producida por *A. beijerinckii* + *P. vulgaris*.

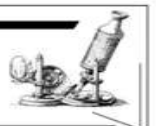
*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.



7.3 Porcentaje de germinación de *Zea mays* tratada con la posible giberelina convertida de *Micromonospora echinospora* (Meg) a dosis de 50 μ L y 100 μ L.

En el cuadro 5, muestra el porcentaje de germinación de *Z. mays* con la posible GA a dosis de 50 μ L, donde reportó un 85.2%, mientras que *Z. mays* con la GA comercial registró un 87.0%; para la semilla CR, *Z. mays* alimentada con SOMI; alcanzó un 33.3%; en tanto que el CA, *Z. mays* irrigada sólo con agua; reportó un 27.8% de germinación. Valores numéricos estadísticamente diferentes.

Donde también expresó el porcentaje de germinación de *Z. mays*, tratada con la posible GA a dosis de 100 μ L; donde alcanzó un 87.0%, en cambio para *Z. mays* con la GA comercial, registró un valor de 88.9%; mientras que el CR, semilla alimentada con SOMI; alcanzó un 31.5%, valores estadísticamente diferentes comparados con el CA, semilla irrigada con agua; registró un 27.9% en su germinación.



Cuadro 4. Porcentaje de germinación de *Zea mays* tratada con la posible giberelina transformada por *Micromonospora echinospora* (Meg) a dosis de 50 μ L.

<i>Zea mays</i>	Germinación (%)	
Meg-50 μ L	85.2	b
Giberelina comercial	87.0	a*
Control relativo	33.3	c
Control absoluto	27.8	d
Meg-100 μ L	87.0	b
Giberelina comercial	88.9	a*
Control relativo	31.5	c
Control absoluto	27.8	d

Abg-50 μ L = 50 μ L de la posible giberelina sintetizada por *Micromonospora echinospora*;
Abg-100 μ L = 100 μ L de la posible giberelina sintetizada por *Micromonospora echinospora*.

*Las letras iguales indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics

Centurion 16.103.

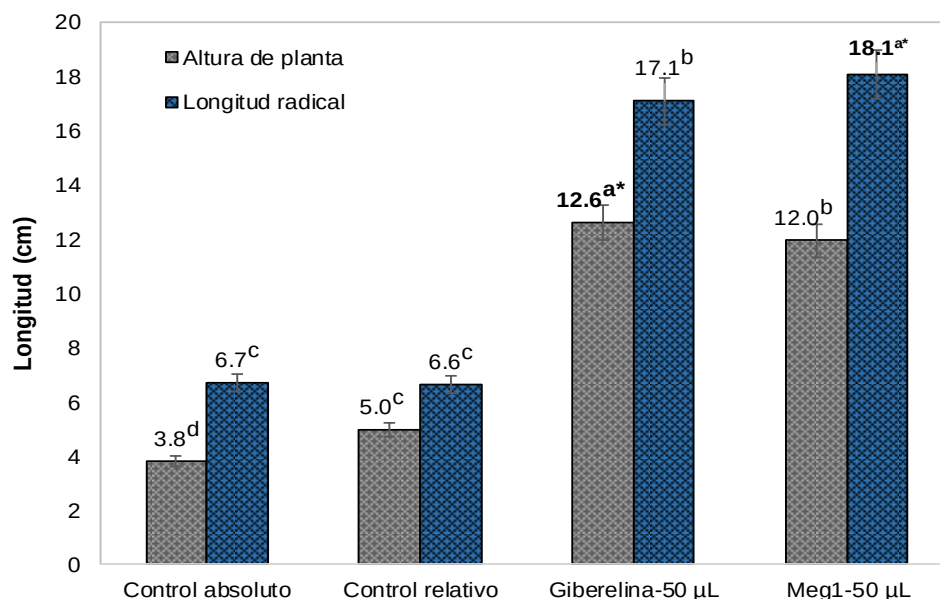
7.3.1 Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo de una posible giberelina por *Micromonospora echinospora* (Meg) en *Zea mays* a dosis de 50 μ L sobre su fenología.

En la figura 15, señaló que la posible GA produjo un efecto positivo de *Z. mays*, donde se registró una respuesta favorable sobre su fenología, con un valor de la AP de 18.06 cm y una LR de 11.95 cm a dosis de 50 μ L; que comparado con la GA comercial registró 12.61 cm de la AP y 17.09 cm de la LR; en tanto que para el CR, semilla alimentada con SOMI; alcanzó una AP de 4.96 cm y una LR de 6.62 cm. Los



valores registrados para el CA, semilla irrigada sólo con agua; la planta registró una AP de 3.79 cm y una LR de 6.69 cm.

Figura 15. Efecto de la posible giberelina de *Micromonospora echinospora* (Meg1) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de *Zea mays* a dosis de 50 µL en su fenología.



Control absoluto=Agua + *Z. mays*; Control relativo=solución mineral + *Z. mays*;

Giberelina-50µL=50µL de giberelina comercial + *Z. mays*;

Meg1-50µL=50µL de una posible giberelina producida por *M. echinospora* + *Z. mays*.

*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.

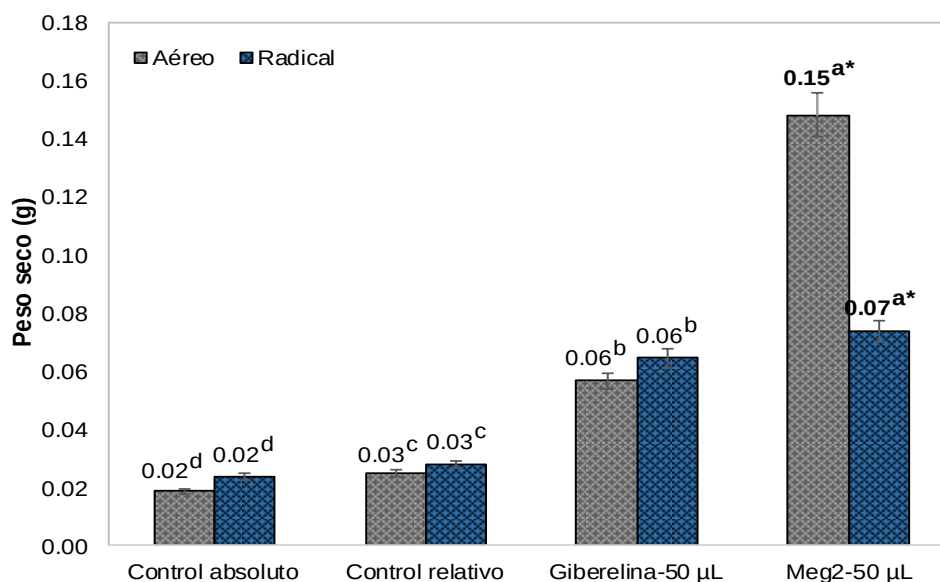
7.3.2 Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo en posible giberelina por *Micromonospora echinospora* (Meg) en *Zea mays* a dosis de 50 µL sobre su biomasa.

En la figura 16, muestra que la posible GA ocasionó un efecto positivo en *Z. mays*, donde reportó una respuesta positiva sobre su biomasa a dosis de 50 µL; con un PSA de 0.15 g y un PSR de 0.07 g valores estadísticamente diferentes respecto a



Z. mays tratada con la GA comercial; donde la planta alcanzó un PSA de 0.06 g y un PSR de 0.06 g; mientras que los valores registrados el CR, el PSA fue de 0.03 g y el PSR de 0.03 g, y para el CA, se obtuvo un PSA de 0.02 g y un PSR de 0.02 g.

Figura 16. Efecto de la posible giberelina de *Micromonospora echinospora* (Meg2) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de *Zea mays* a dosis de 50 μ L en su biomasa.



Control absoluto=Agua + *Z. mays*; Control relativo=solución mineral + *Z. mays*;
Giberelina-100 μ L=100 μ L de giberelina comercial + *Z. mays*;
Meg2-100 μ L=100 μ L de la posible giberelina producida por *M. echinospora* + *Z. mays*.

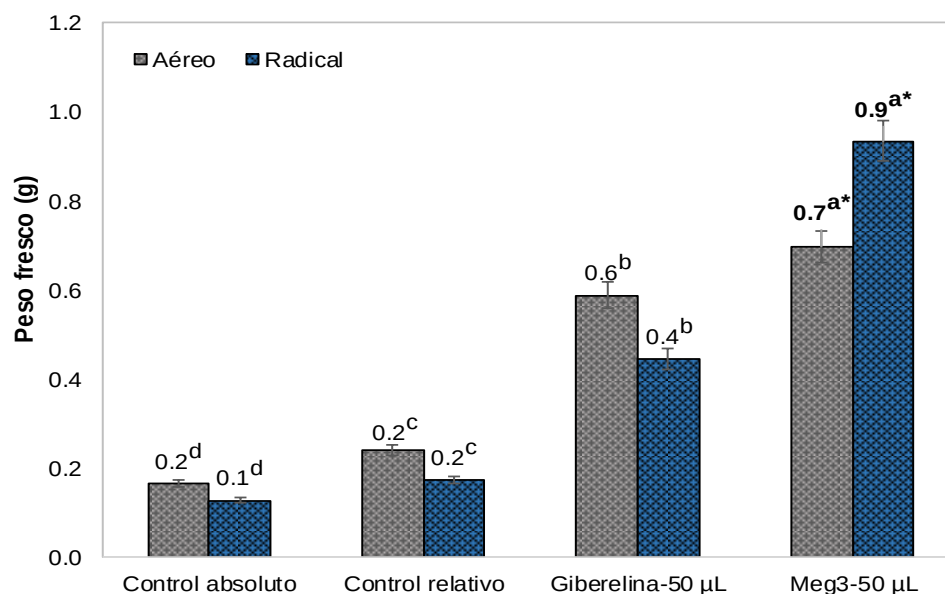
*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.

En la figura 17, se observa que la posible GA produjo un efecto positivo en *Z. mays* sobre su biomasa; con un valor del PFA de 0.7 g y un PFR de 0.9 g a dosis de 50 μ L; mientras que la semilla tratada con la GA comercial reportó valores estadísticamente diferentes, con un PFA de 0.6 g y 0.4 g del PFR; los valores numéricos registrados para la semilla CR, *Z. mays* alimentada con la SOMI; fue de



0.6 g del PFA y 0.4 g del PFR. Los valores de la semilla CA, *Z. mays* irrigada sólo con agua; son estadísticamente diferentes, con un PFA de 0.4 g y un PFR de 0.03 g.

Figura 17. Efecto de la posible giberelina de *Micromonospora echinospora* (Meg3) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de *Zea mays* a dosis de 50 µL en su biomasa.



Control absoluto=Agua + *Z. mays*; Control relativo=Solución mineral + *Z. mays*;

Giberelina-50µL=50µL de giberelina comercial + *Z. mays*;

Meg3-50µL=50µL de fitohormona producida por *M. echinospora* + *Z. mays*.

*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.

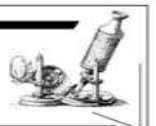


8. Discusión

8.1 Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo en posibles giberelinas por *Azotobacter beijerinckii* y *Micromonospora echinospora* de *Lactuca sativa*, *Phaseolus vulgaris* y *Zea mays* en la fenotipia y biomasa.

Esta investigación consistió en evaluar el efecto de las posibles GA sintetizadas por *A. beijerinckii* y *M. echinospora* en semillas de *L. sativa*, *P. vulgaris* y *Z. mays* en su fenología y biomasa con dosis de 50 μ L y 100 μ L; tratamientos que fueron comparados con una GA pura con la misma dosis de 50 μ L y 100 μ L y a la vez fueron comparadas con el CR y el CA. Los valores numéricos de la fenología y biomasa se analizaron con ANOVA; donde mostró valores estadísticamente diferentes entre las dosis empleadas, comparadas con los valores numéricos de las semilla CR y la semilla CA; GA sintetizadas por *Azotobacter* sp (González *et al.*, 2014); mientras que para *M. echinospora*; este es el primer reporte que señala la capacidad de convertir los ARO en posibles GAs.

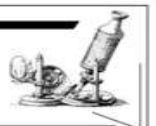
El efecto de las posibles GAs de 50 μ L en el porcentaje de germinación de *L. sativa* reportó el mayor porcentaje de germinación; esto apoya que las posibles GAs sintetizadas a partir de los ARO de la LIREPATO por *A. beijerinckii* incrementan la germinación en semillas y los días a emergencia de plántulas (King *et al.*, 1985); las cuales rompen el estado de latencia de la semilla; es decir las GAs inducen la síntesis de la α -amilasa; enzima que toma de la desintegración de las reservas del almidón durante la germinación de las semillas; debido a que esta función es bien conocida por su uso como promotor o inductor de la germinación en diversos tipos



de plantas (Mandujano *et al.*, 2010). Las GAs están implicadas en la germinación de la semilla, emergencia de la plántula y en la formación del tallo de la planta; es por ello que se ha estudiado la síntesis de esta fitohormona. Se sabe que la aplicación de las GAs de forma exógena en semillas producen resultados favorables en las plantas ya que se caracterizan por ser fitohormonas naturales que regulan el crecimiento (Oller *et al.*, 2002).

En base a los resultados obtenidos, en la figura 3 muestra que fue evidente el efecto positivo de la posible GA en la semilla de *L. sativa* respecto a la parte aérea y radical; dicho efecto se debe a que las GAs promueven tanto la división como el alargamiento celular (Silva *et al.*, 1998); además de que las semillas tratadas con GAs experimentan una elongación considerable de sus tejidos debido al efecto hormonal (De la Vega *et al.*, 1987). Al aplicar la posible GA en *L. sativa*, los resultados finales demostraron una mejor respuesta de la semilla comparado con el CR, semilla alimentada con SOMI y el CA, semilla irrigada sólo con agua; ya que la posible GA causó un incremento de la AP evidente.

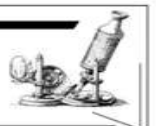
Por su parte en la figura 4, se muestra que la posible GA indujo una acción positiva en *L. sativa* a dosis de 100 μ L, con un incremento significativo en la AP en cuanto al CA, semilla irrigada sólo con agua; mientras que en la LR registró una respuesta en tanto negativa ya que comparada con el CA, no existe mucha diferencia estadística significativa; dicha respuesta de la LR puede deberse a la dosis aplicada de la posible GA, ya que a concentraciones altas inhibe ligeramente el crecimiento de las raíces de las plantas (Hilliger *et al.*, 1976), en otra investigación de igual forma



menciona que las diferentes respuestas que se registraron en las plantas al ser tratadas con GAs, es posible que se deba a la diferencia de la dosis empleada (Leite *et al.*, 2003).

En la figura 5, se muestra un efecto positivo de la posible GA en *L. sativa* con una respuesta efectiva en su biomasa; donde el PSA mostró el mayor valor en cuanto al CR, semilla alimentada con SOMI y CA, semilla irrigada sólo con agua; lo cual implica que las posibles GAs modifican los procesos reproductivos de los vegetales (González *et al.*, 2007); además causan efectos secundarios, como el incremento de su peso seco, debido al aumento del tamaño foliar y a otras superficies fotosintéticas (Hilliger *et al.*, 1976). Respecto al PSR la respuesta que se registró es mucho menor en cuanto al PSA; esto puede deberse a que las posibles GAs no estimulan el crecimiento radicular, por lo que la regulación del crecimiento del vástago y de las raíces es esencialmente diferente (Hilliger *et al.*, 1976). Esto indica que la posible GA utilizada en esta investigación corresponde a la GA₃; ya que al ser aplicada acelera el crecimiento, lo que da como resultado una mayor elongación y mayor desarrollo vegetativo; así como una altura de la planta de hasta dos o tres veces más que las plantas normales (Hilliger *et al.*, 1976).

De la misma forma en la figura 6, se registró un efecto positivo de la posible GA en *L. sativa* a dosis de 100 µL, con una respuesta positiva en el PSA y PSR; que comparados con el CR, semilla alimentada con SOMI y el CA, semilla irrigada sólo con agua; los mayores rendimientos los registró *L. sativa* tratada con la posible GA, cabe señalar que aún fue mejor para el PSA; este hecho se debe a que la elongación



de la parte aérea por la aplicación de la GA estimula la división celular aumentando su tamaño (Hilliger *et al.*, 1976), y por ello el rendimiento del PSA es mejor. Así mismo (Cárdenas-Hernández *et al.*, 2010) en su trabajo menciona que las GAs incrementan tanto la elongación como la división celular.

En la figura 7, se muestra que la posible GA indujo una acción positiva en *L. sativa* sobre su biomasa con dosis de 50 μ L; donde el PFA y el PFR muestran valores numéricos similares; es decir no existe mucha diferencia estadística, el efecto de la posible GA en ambas partes de la planta fue similar en relación a la figura 4 y 5, donde la respuesta de *L. sativa* registró lo contrario. Un factor importante ante dicho efecto como lo menciona en su trabajo (Silva *et al.*, 1998), es el nivel endógeno de hormona que determina que una concentración dada de aplicación, al sumarse a la hormona endógena puede variar en sus efectos. También cabe la posibilidad de que estén interactuando otras posibles GAs que ejerzan una mayor actividad en la parte radical lo cual ocasiona que el PFR sea similar al PFA.

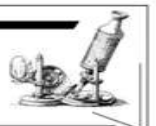
En cuanto a la figura 8, se muestra un efecto positivo de la posible GA con una respuesta favorable en su biomasa a dosis de 100 μ L, donde el PFA comparados con el CR, semilla alimentada con SOMI y el CA, semilla irrigada sólo con agua; registró valores numéricos estadísticamente diferentes y de igual forma con su análogo, un GA comercial. Donde el rendimiento del peso fresco fue mucho mejor y respecto al PFR el rendimiento aún fue mejor para el PFA. Varios trabajos informan que las plantas provenientes de semillas tratadas con GAs experimentan una elongación considerable de sus tejidos debido al efecto hormonal de estas (De



la Vega *et al.*, 1987), por otro lado las GAs producen un efecto secundario en las plantas como el incremento de su peso verde o fresco debido al aumento del área foliar; sin embargo el uso del GA₃ estimula la división celular así como el aumento de estas (Hilliger *et al.*, 1976).

En la figura 9, muestra un efecto positivo de la posible GA en *P. vulgaris* en su fenología con dosis de 50 µL, con un incremento superior en la AP comparado con su análogo, una GA pura y con el CR, semilla alimentada con SOMI y el CA, semilla irrigada sólo con agua; dicha respuesta de la AP pudo deberse a que las semillas tratadas con GAs experimentan una elongación considerable de los tejidos, mientras que para el CR y el CA su respuesta pudo deberse al retraso en la germinación por la presencia de inhibidores endógenos en la germinación al no ser tratadas con GAs (De la Vega *et al.*, 1987). Respecto a la LR, su elongación es favorable comparada con el CR, semilla alimentada con SOMI y el CA, semilla irrigada sólo con agua; mientras que para su análogo la GA pura su crecimiento es similar, esto explica la acción de una posible GA en la parte radical de la planta. Aunque no existe información muy clara que hable sobre el efecto de las GAs en la parte radical de las plantas.

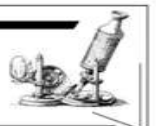
En la figura 10, se muestra un efecto positivo de la posible GA en *P. vulgaris* sobre su fenología a dosis de 100 µL. Donde el efecto en cuanto al incremento de la AP es evidente comparado con el CA, semilla irrigada sólo con agua y a su análogo una GA pura, mientras que para el CR, semilla alimentada con SOMI; registró un incremento igual. Cabe señalar que en trabajos realizados por (Salisbury *et al.*,



1994), mencionan que las GA aumentan el crecimiento porque promueven la división celular y por su parte (Silva *et al.*, 1998) explica que el incremento del número de células da lugar al crecimiento más rápido del tallo. En tanto que para la LR sigue resultando no tan favorable su elongación en relación con la AP, pero comparada con su análogo una GA pura la respuesta es igual lo que implica que hay acción de una GA, que posiblemente no se trate de la misma que actúa sobre la elongación de la parte aérea de la planta.

En la figura 11, *P. vulgaris* tratada con la posible GA mostró un efecto positivo en su biomasa a dosis de 50 μ L ya que comparado con su análogo una GA pura o comercial el efecto que se registró fue similar. Lo anterior señala que el uso de las posibles GAs tienen efectos positivos sobre la semilla; es decir, una vez que germinan ayudan a mejorar su nutrición brindando un mayor desarrollo dándole a la planta una mayor capacidad de absorber agua y nutrientes minerales en un mayor volumen (Fuentes *et al.*, 2006) y brindándole a la planta un incremento de su peso seco, debido al aumento del aérea foliar (Hilliger *et al.*, 1976). Se ha demostrado que la aplicación de las GA₃ sobre las semillas se obtiene una producción precoz, reduce el número de nudos y por ende alarga la longitud de los mismos (González *et al.*, 2007).

En cuanto a la figura 12, muestra un efecto positivo de la posible GA en *P. vulgaris* sobre su biomasa a dosis de 100 μ L, donde se observa un incremento mucho mayor que su análogo una GA pura o comercial y respecto al CA, semilla irrigada sólo con agua; mientras que para el CR, semilla alimentada con SOMI; se observó que el



efecto es el mismo. Estos resultados comprueban que las GAs desempeñan un papel importante en la estimulación de la elongación, división celular, metabolismo celular y expansión celular (Sachs *et al.*, 1887); lo que le confiere a la planta un aumento en su biomasa. De la misma forma lo menciona (Cárdenas-Hernández *et al.*, 2010) en su trabajo, donde explican que las GA₃ incrementan la elongación y la división celular; así como también (Taiz & Zeiger, 2002) expresan que las GAs cumplen un importante papel fisiológico en la elongación de los brotes y tallos.

En la figura 13, se muestra un efecto positivo de la posible GA en *P. vulgaris* a dosis de 50 µL, donde se registró una respuesta favorable con un incremento evidente de su biomasa comparado con su análogo una GA pura o comercial y el CR, semilla alimentada con SOMI y CA, semilla irrigada sólo con agua. Dichos resultados demuestran una vez más que las GA tienen un efecto sobre la semilla confiriéndole a la planta un mayor crecimiento de los tallos y hojas así como en la promoción del crecimiento de las raíces y la abundancia de los pelos radicales; además cabe señalar que en la mayoría de estos procesos, las GAs actúan en combinación con otras fitohormonas y factores de reguladores adicionales, de manera que las vías están altamente integradas (Bottini *et al.*, 2004), gracias a este conjunto de acciones se obtuvieron respuestas favorables.

En la figura 14, se representa el efecto de la posible GA en *P. vulgaris* sobre su biomasa a dosis de 100 µL, que comparada con su análogo una GA pura o comercial se muestra una respuesta menor; mientras que para el CR, semilla alimentada con SOMI, donde su respuesta es igual.



De acuerdo a estos resultados obtenidos en esta figura puede deberse a la dosis aplicada de la posible GA; ya que como menciona en su trabajo (Cárdenas-Hernández *et al.*, 2010) que las GAs producen efectos influenciados por los cambios de concentración de la hormona aplicada. De la misma forma (Sachs *et al.*, 1887) explica que este tipo de fitohormonas actúan mejor en bajas concentraciones.

Por otra parte en la figura 15, representa el efecto positivo de la posible GA en *Z. mays* con una respuesta favorable sobre su fenología; donde se observa que *Z. mays* tratada con una GA pura o comercial presenta una respuesta muy similar sobre la AP y lo mismo se registró para la LR; mientras que para el CR, semilla alimentada con SOMI y el CA, semilla irrigada sólo con agua; la respuesta no es igual de favorable; ya que los resultados obtenidos en este bioensayo y comparados con los anteriores, muestran un mayor efecto de la GA; esto explica como las GAs son esenciales en muchos aspectos del crecimiento y desarrollo de las plantas, tales como la germinación de semillas y la elongación del tallo (Leite *et al.*, 2003), así también lo demuestra en su trabajo (Saldívar-Iglesias *et al.*, 2010) que las GAs están implicadas directamente en el control y promoción de las semillas; el GA₃ puede romper la latencia de las semillas y reemplazar la necesidad de estímulos ambientales, tales como la temperatura y la luz. Además (Hilliger *et al.*, 1976) en su investigación señala que el efecto más característico del GA₃ sobre las plantas, es el acelerado crecimiento que provoca en el tallo, lo que ocasiona una elongación de estos y un mayor desarrollo vegetativo. Las semillas tratadas con GAs pueden



alcanzar un crecimiento de la altura dos veces o tres veces más que las semillas sin tratar.

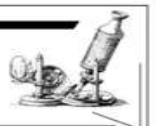
En la Figura 16, se muestra el efecto de la posible GA sobre su biomasa de *Z. mays* a dosis de 50 μ L, donde PSA, donde se observó un incremento evidente de su biomasa comparado con su análogo *Z. mays* con una GA pura o comercial y con el CR, semilla alimentada con SOMI y CA, semilla irrigada sólo con agua. Con la respuesta de *Z. mays* se demuestra que el efecto positivo que presentan las posibles GA en *Z. mays* se debe a que estas sustancias son biológicamente activas en estimular la división celular o el alargamiento celular o ambas acciones (West *et al.*, 1960). Cabe señalar que las GA además están involucradas en la promoción del crecimiento de las raíces y en la abundancia de los pelos radicales (Bottini *et al.*, 2004), lo que promueve un incremento en la biomasa de la planta.

En la figura 17, demuestra el efecto positivo de la posible GA en *Z. mays* sobre su biomasa con una respuesta favorable, ya que se observó un incremento en su biomasa comparado con su análogo una GA pura o comercial y respecto al CR, semilla alimentada con SOMI y el CA, semilla irrigada sólo con agua. Como se ha descrito en algunos trabajos realizados el GA₃ tiene la capacidad de incrementar la actividad de un gran número de enzimas en las células de la aleurona en la semilla; debido a esta función es bien conocido su uso como promotor o inductor de la germinación en diversos tipos de plantas (Mandujano *et al.*, 2007). Esto acción favorece a las plantas ya que les proporciona el beneficio de obtener un mayor incremento en su elongación celular por su efecto hormonal.



9. Conclusión

De acuerdo a la hipótesis planteada se comprobó que las posibles GAs sintetizadas por *A. beijerinckii* y *M. echinospora* causaron un efecto positivo en *L. sativa*, *P. vulgaris* y *Z. mays*; ya que su efecto es similar al ser comparado con una giberelina pura o comercial; dichos resultados indicaron que *A. fumigatus* convirtió el LIREPATO en ARO, hecho que se comprueba por el mecanismo de degradación de enzimas extracelulares como la lacasa; mientras que *A. beijerinckii* y *M. echinospora* los transformó en posibles GA, hormonas que causaron un efecto positivo sobre la fenología y biomasa de semillas vegetales.

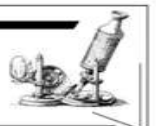


10. Referencias

1. Arora, D. S., Sharma, R. K., & Chandra, P. 2011. Biodelignification of wheat straw and its effect on in vitro digestibility and antioxidant properties. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 65: 352-358.
2. Ávalos Flores, E. 2015. Despolimerización de lignina residual de paja de trigo por *Penicillium chrysogenum* y su conversión en sustancias promotoras de crecimiento vegetal por *Azotobacter* spp. Laboratorio de Microbiología Ambiental. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Congreso Nacional del XX Verano de la Investigación Científica y Tecnológica del Pacífico. Programa Interinstitucional para el Fortalecimiento de la Investigación y el Posgrado del Pacífico (DELFIN). (Inédita).
3. Baltierra-Trejo, E., Sánchez-Yáñez, J. M., Buenrostro-Delgado, O., & Márquez-Benavides, L. 2015. Production of short-chain fatty acids from the biodegradation of wheat straw lignin by *Aspergillus fumigatus*. 196: 418-425.
4. Baltierra-Trejo, E., Silva-Espino, E., Márquez-Benavides, L., & Sánchez-Yáñez J.M. 2016. Inducción de la degradación de lignina de paja de trigo en aromáticos por *Aspergillus* spp. y *Penicillium chrysogenum*. *Journal of the Selva Andina Research Society*. 7:10-19.



5. Bonilla, F. S., Márquez-Benavides, L., & Sánchez-Yáñez, J. M. 2013. Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos de trigo de una biorrefinería: pretratamiento. Laboratorio de Residuos Sólidos y Medio Ambiente, Instituto de Investigaciones Agrícolas y Forestales. V Congreso Interamericano de Residuos Sólidos. Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental con su División Técnica-DIRSA y la Asociación Peruana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Lima Perú.
6. Bottini, R., Cassán, F., & Piccoli, P. (2004). Gibberellin production by bacteria and its involvement in plant growth promotion and yield increase. *Applied microbiology and biotechnology*, 65: 497-503.
7. Candau, R., Bejarano, E. R., & Cerda-Olmedo, E. 1991. In vivo channeling of substrates in an enzyme aggregate for beta-carotene biosynthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 88: 4936-4940.
8. Cárdenas-Hernández, J. F., Álvarez-Herrera, J. G., Barragán, Q., & Rivera, C. M. 2010. Effect of gibberellic acid and 6-bencilaminopurine on bud development of cacao grafts (*Theobroma cacao* L.). *Agronomía Colombiana*, 28: 19-27.



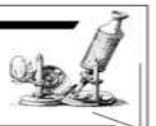
9. Cassán, F. D., Piccoli, P., & Bottini, R. (2003). Promoción del crecimiento vegetal por *Azospirillum* sp. a través de la producción de giberelinas. Un modelo alternativo para incrementar la producción agrícola. Microbiología Agrícola. Un aporte de la investigación en Argentina para la sociedad. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago. 1-16.
10. Chasquibol Silva, N., Arroyo Benites, E., & Morales Gomero, J. C. (2008). Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. Ingeniería Industrial. 26.
11. Dashtban, M., Schraft, H., Syed, T. A., & Qin, W. 2010. Fungal biodegradation and enzymatic modification of lignin. International Journal of Biochemistry and Molecular Biology. 1: 36-50.
12. Debi, B. R., Chhun, T., Taketa, S., Tsurumi, S., Xia, K., Miyao, A., & Ichii, M. 2005. Defects in root development and gravity response in the *aem1* mutant of rice are associated with reduced auxin efflux. Journal of Plant Physiology. 162: 678-685.
13. De la Vega, B. (1987). Efecto del ácido giberélico y del preenfriamiento sobre la ruptura del reposo en semillas de salvia (*Salvia splendens*). Agronomía Costarricense, 11: 89-95.



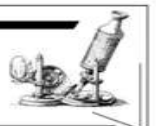
14. Dekker, R. F., Barbosa, A. M., & Sargent, K. 2002. The effect of lignin-related compounds on the growth and production of laccases by the ascomycete, *Botryosphaeria* sp. *Enzyme and Microbial Technology*. 30: 374-380.
15. Domínguez, J. M. O. (2003). Efecto de los productos de degradación originados en la explosión por vapor de biomasa de chopo sobre "Kluyveromyces marxianus". CIEMAT.
16. Espino, E. S., Trejo, E. B., Yañez, J. M. S., & Benavides, L. M. 2015. Evaluación de la capacidad de los hongos *Penicillium* y *Aspergillus* spp en la producción de aromáticos y ácidos orgánicos variando la concentración de lignina residual de paja de trigo. XIII encuentro.
17. FAO. FAOSTAT (Database Internet). Food and Agriculture Organization of the United Nations (2012). Disponible en: <http://faostat.fao.org>.
18. González Hernández, U. 2014. Despolimerización de lignina residual de paja de trigo con hongos mitosporicos y su conversión en fitohormonas por *Azotobacter* spp. Memoria de residencias profesionales en el Laboratorio de Microbiología Ambiental; Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Para obtener el título de Ingeniero Bioquímico en el Tecnológico Estado de Michoacán. (Inédito).



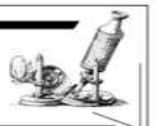
19. Hedden, P., MacMillan, J., & Phinney, B. O. 1978. The metabolism of the gibberellins. Annual Review of Plant Physiology. 29: 149-192.
20. Hilliger Rojas, G. (1976). Aplicación de ácido giberélico a semilla y plántulas de tres cultivares de palto (*Persea americana* Mill) usados como portainjerto, para obtener un mayor crecimiento en altura y diámetro en el momento de ser injertados.
21. http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo4/104_07.pdf
22. <https://w3.ual.es/GruposInv/myco-ual/ascos.htm>
23. Kim, S., & Dale, B. E. (2004). Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues. Biomass and bioenergy. 26: 361-375.
24. Leite, V. M., Rosolem, C. A., & Rodrigues, J. D. (2003). Gibberellin and cytokinin effects on soybean growth. Scientia Agricola. 60: 537-541.
25. Li, L., Li, X. Z., Tang, W. Z., Zhao, J., & Qu, Y. B. (2008). Screening of a fungus capable of powerful and selective delignification on wheat straw. Letters in applied microbiology, 47: 415-420.



26. Martínez, M. J., Guillén, F., Gutiérrez, A., & Del Río, J. (2005). Biodegradation of lignocelluloses: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin. *International Microbiology*. 8: 195-204.
27. Oller López, J. L., Fernández Barrero, A., Cerdá Olmedo, E., Ávalos Cordero, J., & Oltra Ferrero, E. (2005). Método de producción de giberelinas GA3, mediante fermentaciones con la estirpe silvestre IMI58289 del hongo *Gibberella fujikuroi*.
28. Preussler, C. A., Shimizu, E., Villalba, L. L., & Zapata, P. D. 2009. Inducción con cobre de la enzima lacasa en el hongo de pudrición blanca *Trametes villosa* (Sw.: Fr.) Kreisel. *Revista de Ciencia y Tecnología*. 12: 09-16.
29. Quintero-Núñez, M., & Moncada-Aguilar, A. 2008. Contaminación y control de las quemadas agrícolas en Imperial, California, y Mexicali, Baja California. *Región y sociedad*. 20: 3-24.
30. Sánchez-Yáñez, J. M. 2007. Breve Tratado De Microbiología Agrícola, Teoría y Práctica. Instituto de Investigaciones Biológicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, CONSUSTENTA, SA de CV, Centro de Investigación y Desarrollo del Estado de Michoacán. 130-133. ISBN. Morelia, Mich. México.



31. Silva Garza, M. A. (1998). Efecto de cuatro fitorreguladores en el crecimiento y rendimiento del girasol (*Helianthus annuus* L.).
32. Steenhoudt, O., & Vanderleyden, J. 2000. *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. FEMS Microbiology Reviews. 24: 487-506.
33. Talebnia, F., Karakashev, D., & Angelidaki, I. 2010. Production of bioethanol from wheat straw: An overview on pretreatment, hydrolysis and fermentation. 101: 4744-4753.
34. Tuyen VD, Cone JW, Baars JJB. 2012. Sonnenberg ASM, Hendriks WH. Fungal strain and incubation period affect chemical composition and nutrient availability of wheat straw for rumen fermentation. 2012; 111: 336-342.
35. West, C. A. (1960). Gibberellins as native plant growth regulators. Annual Review of Plant Physiology, 11: 411-436.
36. Xu, F., Sun, J. X., Sun, R., Fowler, P., & Baird, M. S. 2006. Comparative study of organosolv lignins from wheat straw. Industrial and Products. 23: 180-193.



37. Yanni, Y. G., Rizk, R. Y., El-Fattah, F. K. A., Squartini, A., Corich, V., Giacomini, A., & Vega-Hernandez, M. 2001. The beneficial plant growth-promoting association of *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii* with rice roots. *Functional Plant Biology*. 28: 845-870.



Anexo I – Glosario

Aromático

Son aquellos hidrocarburos que poseen las propiedades especiales asociadas con el núcleo o anillo del benceno, en cual hay seis grupos de carbono-hidrógeno unidos a cada uno de los vértices de un hexágono.

Celulosa

Componente mayoritario de las paredes celulares de las fibras de madera, es un polímero lineal de β -D-Glucosa con un peso molecular de aproximadamente 500.000.

Citoquinina

Son un grupo de compuestos naturales que regulan la división y diferenciación celular en tejidos no meristemáticos de plantas superiores.

Giberelina

Las giberelinas (GAs) constituyen un amplio grupo de compuestos naturales (ácidos diterpenos tetracíclicos) que regulan diversos procesos en el crecimiento y desarrollo de las plantas, tales como la germinación, el alargamiento caulinar, la floración y la fructificación. (Cassán *et al.*, 2003).



Hemicelulosa

Están constituidas por polímeros de unidades de anhidroazúcares unidas por enlaces glucosídicos, formadas por más de un tipo de azúcar (hexosas o pentosas).

Hongo mitosporico

También llamados deuteromicetos, hongos imperfectos o anamorfos, carecen de fase sexual (puede que nunca la tuvieran, que la hayan perdido o que no se la hayamos encontrado aún), y se reproducen exclusivamente por medio de conidios.

Lacasa

Es una fenoloxidasa, enzima que cataliza la oxidación de un amplio espectro de compuestos fenólicos y aminas aromáticas utilizando el oxígeno molecular como aceptor de electrones, reduciéndolo a agua. (Preussler *et al.*, 2009)

Lignina

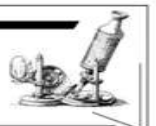
Es un polímero heterogéneo de los tejidos vasculares de las plantas superiores, es el más recalcitrante de todos los químicos orgánicos producidos naturalmente. (Preussler *et al.*, 2009).

Micelio

Es la masa de hifas que constituyen el cuerpo vegetativo del hongo.

Pectina

Es una sustancia natural que se forma principalmente en la pared primaria y en los tejidos de frutos y vegetales. (Chasquibol *et al.*, 2008).



Anexo - II

Porcentaje de germinación de *Lactuca sativa* tratada con la posible giberelina convertida por *Azotobacter beijerinckii* (Abg) a dosis 150 μ L.

En la tabla 1, se muestra el porcentaje de germinación de *L. sativa*, tratada con la posible giberelina a dosis de 150 μ L con 79.2%, en tanto que *L. sativa* con GA comercial a dosis de 150 μ L alcanzó un 79.2%; mientras que la semilla CR mostró un 87.5%, comparados con la semilla CA, *L. sativa* irrigada sólo con agua, registró un 66.7% de germinación.

Cuadro 1. Porcentaje de germinación de *Lactuca sativa* tratada con la posible giberelina transformada por *Azotobacter beijerinckii* (Abg) a dosis de 150 μ L.

Tratamientos	Germinación (%)	
Abg-100 μ L	79.2	b
Giberelina comercial	79.2	b
Control relativo	87.5	a*
Control absoluto	66.7	c

Abg-100 μ L=100 μ L de una posible giberelina producida por *A. beijerinckii* + *P. vulgaris*.

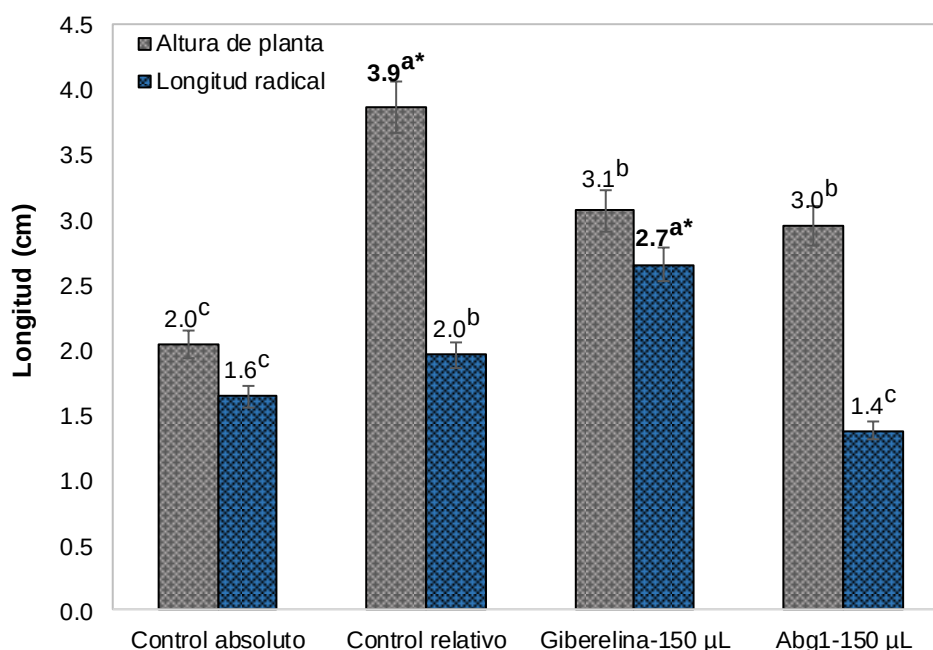
*Las letras iguales indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.



Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo de una posible giberelina por *Azotobacter beijerinckii* (Abg) en *Lactuca sativa* a dosis de 150 μ L sobre su fenología.

En la figura 1, muestra que hubo un efecto positivo de la posible GA en *L. sativa* sobre su fenología a dosis de 150 μ L con una AP de 3.0 cm y una LR de 1.4 cm; mientras que la semilla tratada con la GA pura con dosis de 150 μ L reportó valores estadísticamente diferentes, donde la AP fue de 3.1 cm y la LR de 2.7 cm; que comparados con el CR, reportó valores de la AP de 3.9 cm y en la LR de 2.0 cm y el CA registró una AP de 2.0 cm y una LR de 1.6 cm.

Figura 1. Efecto de la posible giberelina de *Azotobacter beijerinckii* (Abg1) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de *Lactuca sativa* a dosis de 150 μ L en su fenología.



Control absoluto=agua + *L. sativa*; Control relativo=solución mineral + *L. sativa*;
Giberelina-150 μ L=150 μ L de giberelina comercial + *L. sativa*;
Abg1-150 μ L=150 μ L de la posible giberelina producida por *A. beijerinckii* + *L. sativa*.

*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.

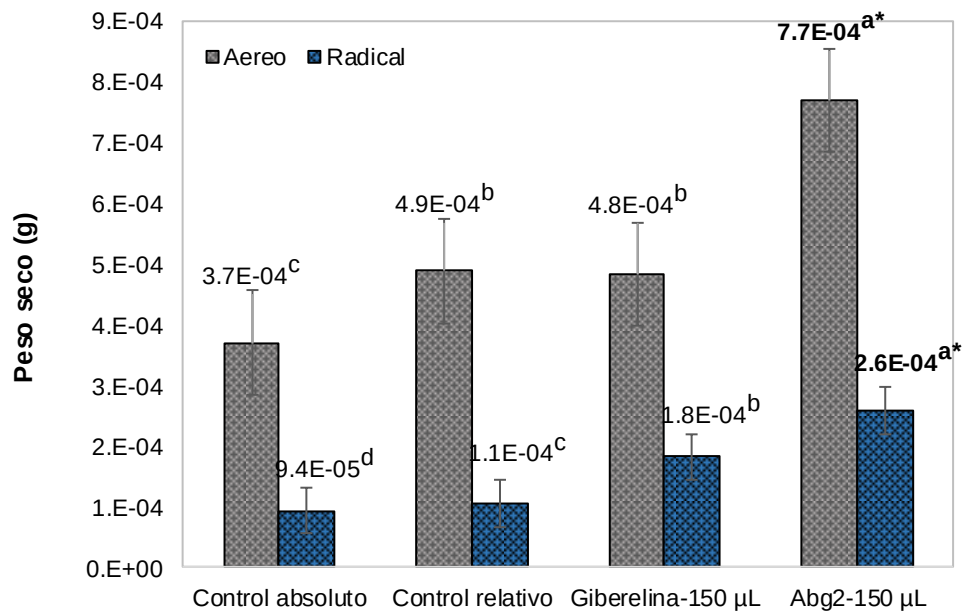


Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo de una posible giberelina por *Azotobacter beijerinckii* (Abg) sobre *Lactuca sativa* a dosis de 150 μ L sobre su biomasa.

En la figura 2, se señala un efecto positivo de la posible GA en *L. sativa* sobre su biomasa, donde reportó valores del PSA de 7.7E-04 g y 2.6E-04 g del PSR a dosis de 150 μ L; mientras que la semilla con la GA pura reportó valores estadísticamente diferentes, con un PSA de 4.8E-04 g y un PSR de 1.8E-04 g y que comparados con *L. sativa* alimentada con SOMI, registró un PSA de 4.9E-04 g y un PSR de 1.1E-04 g y el CA, mostró un PSA de 3.7E-04 g y un 9.4E-05 g del PSR.



Figura 2. Efecto de la posible giberelina de *Azotobacter beijerinckii* (Abg2) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de *Lactuca sativa* a dosis de 150 μ L en su biomasa.



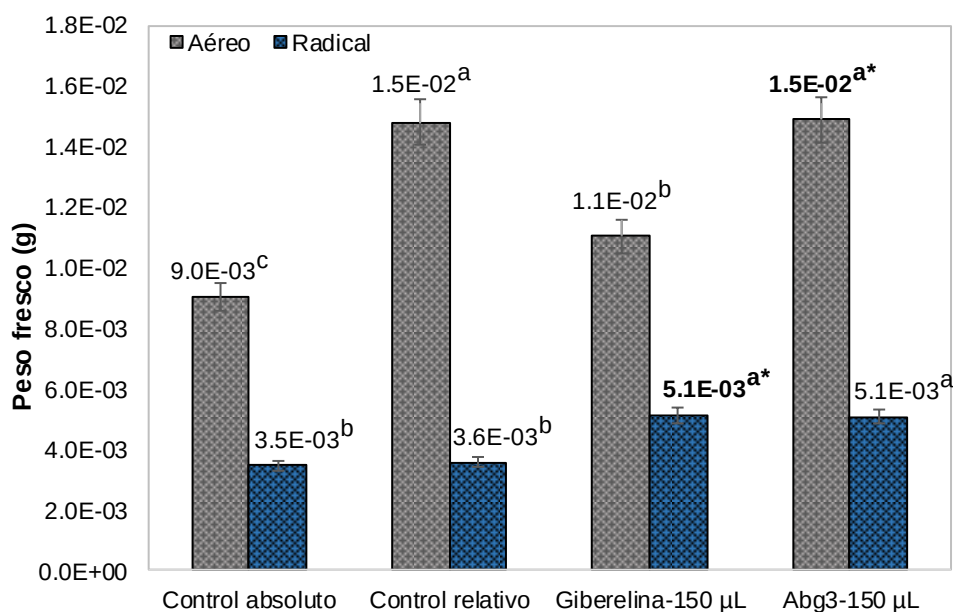
Control absoluto=agua + *L. sativa*; Control relativo=solución mineral + *L. sativa*;
 Giberelina-150 μ L=150 μ L de giberelina comercial + *L. sativa*;
 Abg2-150 μ L=150 μ L de la posible giberelina producida por *A. beijerinckii* + *L. sativa*.

*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.



En la figura 3 se muestra una acción positiva de las posibles GA en *L. sativa* sobre su biomasa a dosis de 150 μL , donde reportó un PFA de $1.5\text{E-}02$ g y $5.08\text{E-}03$ g del PFR; valores estadísticamente diferentes, que comparados con *L. sativa* con la GA pura, registró un PFA de $1.1\text{E-}02$ g y un PFR de $5.14\text{E-}03$ g; mientras que para el CR, expresó valores del PFA de $1.5\text{E-}02$ g y $3.58\text{E-}03$ g del PFR y el CA, registró un PFA de $9.0\text{E-}03$ g y un PFR de $3.47\text{E-}03$ g, valores estadísticamente diferentes.

Figura 3. Efecto de la posible giberelina de *Azotobacter beijerinckii* (Abg3) generada por la conversión de aromáticos de la LIREFATO de *Lactuca sativa* a dosis de 150 μL en su biomasa.



Control absoluto=Agua + *L. sativa*; Control relativo=Solución mineral + *L. sativa*;

Giberelina-150 μL =150 μL de giberelina comercial + *L. sativa*;

Abg3-150 μL =150 μL de posible giberelina producida por *A. beijerinckii* + *L. sativa*.

*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.



Porcentaje de germinación de *Phaseolus vulgaris* tratada con la posible giberelina convertida de *Azotobacter beijerinckii* (Abg) a dosis 150 μ L.

En la tabla 2, se registró el porcentaje de germinación de *P. vulgaris* a dosis de 150 μ L tratada con la posible GA con un 90.7%, mientras que *P. vulgaris* con la GA pura reportó un valor 88.9%; para el CR, semilla alimentada con la SOMI, el porcentaje de germinación fue de 94.4%, en tanto los valores del CA, *P. vulgaris* irrigada sólo con agua, fue de 88.9%.

Cuadro 2. Porcentaje de germinación de *Phaseolus vulgaris* tratada con la posible giberelina transformada por *Azotobacter beijerinckii* (Abg) a dosis de 150 μ L.

Tratamientos	Germinación (%)	
Abg-100 μ L	90.7	b
Giberelina comercial	88.9	c
Control relativo	94.4	a*
Control absoluto	88.9	c

Abg-100 μ L=100 μ L de una posible giberelina producida por *A. beijerinckii* + *P. vulgaris*.

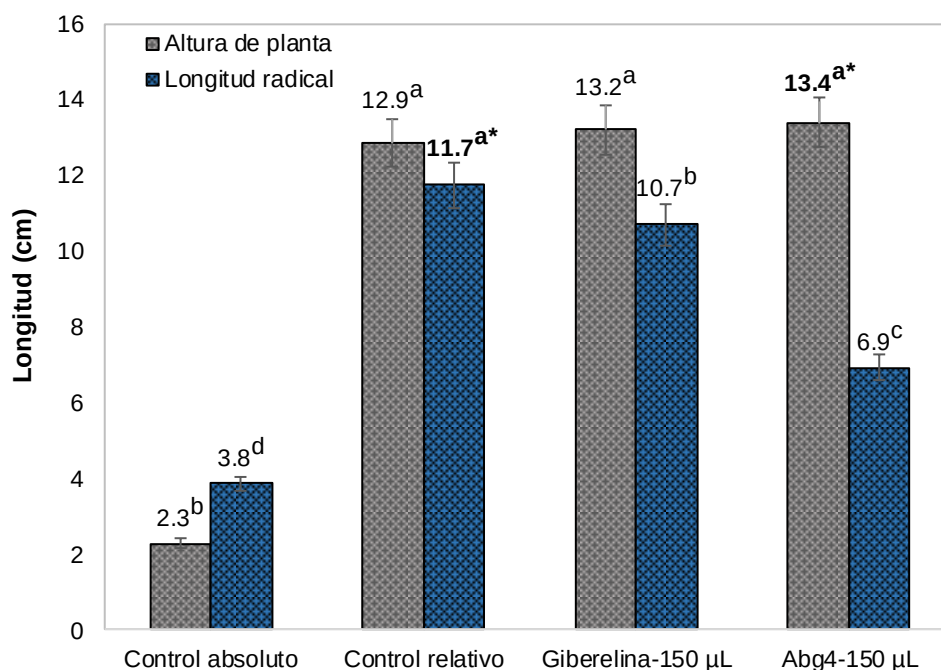
*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.



Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo de una posible giberelina por *Azotobacter beijerinckii* (Abg) sobre *Phaseolus vulgaris* a dosis de 150 μ L sobre su fenología.

En la figura 4, se muestra el efecto positivo de las posibles GA en la semilla de *P. vulgaris* sobre su fenología a dosis de 150 μ L; donde la AP fue de 13.4 cm y la LR de 6.9 cm valores estadísticamente diferentes comparados con la GA pura con una AP de 13.2 cm y una LR de 10.7 cm; mientras que los valores registrados para el CR, fue de 12.9 cm para la AP, 11.7 cm de la LR y para el CA, registró una una AP de 2.3 y una LR de 3.8 cm.

Figura 4. Efecto de la posible giberelina de *Azotobacter beijerinckii* (Abg4) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de *Phaseolus vulgaris* a dosis de 150 μ L en su fenología.



Control absoluto=Agua + *P. vulgaris*; Control relativo=solución mineral + *P. vulgaris*;
Giberelina-50 μ L=50 μ L de giberelina comercial + *P. vulgaris*;
Abg4-50 μ L=50 μ L de una posible giberelina producida por *A. beijerinckii* + *P. vulgaris*.

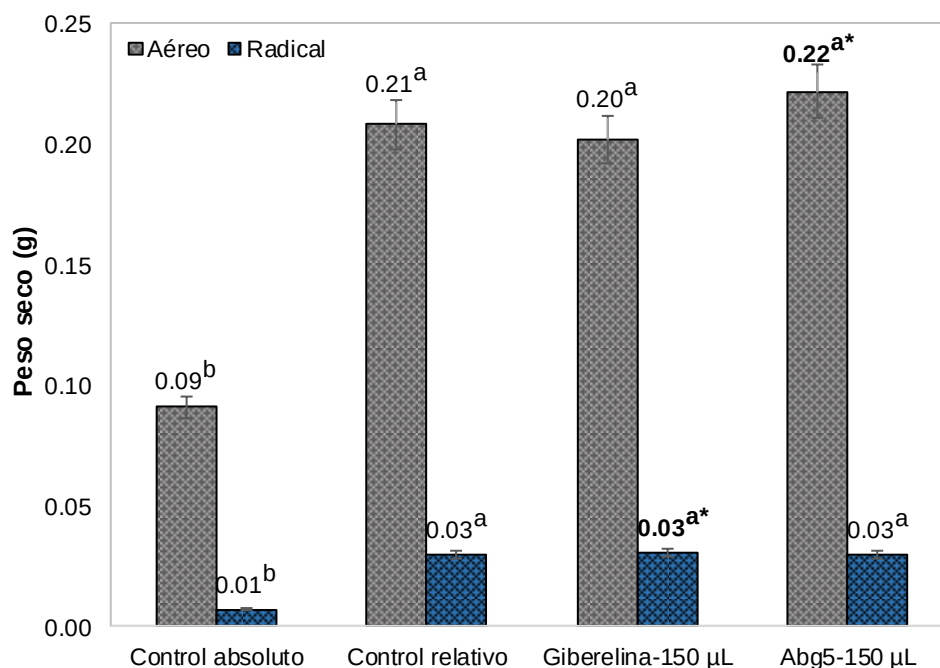


*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.

Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo en posible giberelina por *Azotobacter beijerinckii* (Abg) sobre *Phaseolus vulgaris* a dosis de 150 μ L sobre su biomasa.

En la figura 5, muestra un efecto positivo de la posible GA en *P. vulgaris* sobre su biomasa a dosis de 150 μ L; con un PSA de 0.22 g y un PSR de 0.03 g, valores estadísticamente diferentes contra *P. vulgaris* tratada con la GA pura, donde reportó un PSA de 0.20 g y 0.03 g del PSR; mientras que los valores registrados para el CR, el PSA fue de 0.21 g y el PSR de 0.03 g y el CA, registró un valor del PSA de 0.09 g y 0.01 g para el PSR.

Figura 5. Efecto de la posible giberelina de *Azotobacter beijerinckii* (Abg5) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de *Phaseolus vulgaris* a dosis de 150 μ L en su biomasa.



Control absoluto=Agua + *P. vulgaris*; Control relativo=solución mineral + *P. vulgaris*;
Giberelina-150 μ L=150 μ L de giberelina comercial + *P. vulgaris*;

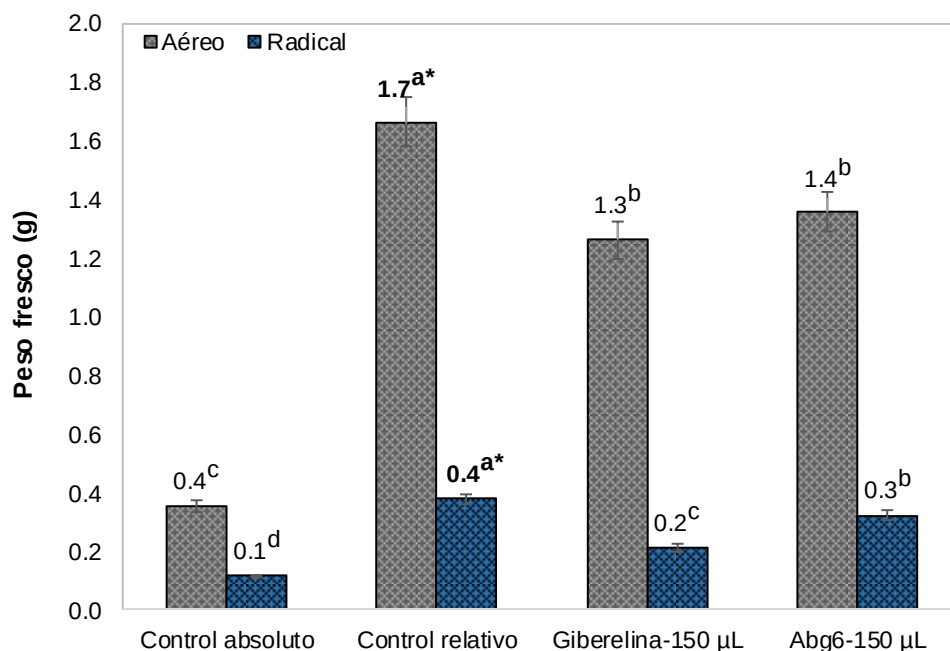


Abg5-150µL=150µL de una posible giberelina producida por *A. beijerinckii* + *P. vulgaris*.

*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.

En la figura 6, muestra un efecto positivo de la posible GA en *P. vulgaris* sobre la biomasa, donde se registró un PSA de 1.4 g y un PSR de 0.3 g a dosis de 150 µL; mientras que la semilla tratada con la GA pura reportó valores estadísticamente diferentes, con un PSA de 1.3 g y un PSR de 0.2 g y que comparados con el CR, reportó un PSA de 1.7 g y 0.4 g del PSR y el CA, registró un valor del PSA de 0.4 g y 0.1 g del PSR.

Figura 6. Efecto de la posible giberelina de *Azotobacter beijerinckii* (Abg6) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de *Phaseolus vulgaris* a dosis de 150 µL en su biomasa.



Control absoluto=Agua + *P. vulgaris*; Control relativo=Solución mineral + *P. vulgaris*;
Giberelina-150µL=150µL de giberelina comercial + *P. vulgaris*;
Abg6-150µL=150µL de una posible giberelina producida por *A. beijerinckii* + *P. vulgaris*.

*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.



Porcentaje de germinación de *Zea mays* tratada con la posible giberelina convertida de *Micromonospora echinospora* (Meg) a dosis 150 μ L.

En la tabla 3 se observa el porcentaje de germinación de *Z. mays* a dosis de 150 μ L de la posible GA con un valor de 92.6 %; mientras que para *Z. mays* con la GA pura el porcentaje de germinación fue del 100 %, en tanto que la semilla CR mostró un 27.8 % y el CA, *Z. mays* irrigada sólo con agua, alcanzó un valor del 27.8 %.

Cuadro 3. Porcentaje de germinación de *Zea mays* tratada con la posible giberelina transformada por *Micromonospora echinospora* (Meg) a dosis de 150 μ L.

Tratamientos	Germinación (%)	
Meg-100 μ L	92.6	b
Giberelina comercial	100	a*
Control relativo	27.8	c
Control absoluto	27.8	c

Meg-100 μ L=100 μ L de una posible giberelina producida por *M. echinospora* + *Z. mays*.

*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.

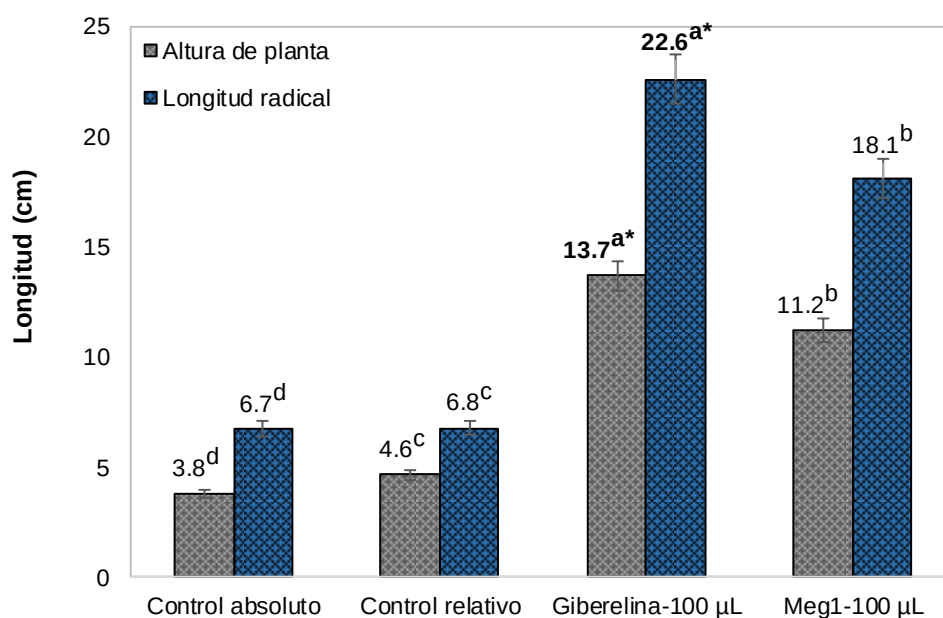
Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo de una posible giberelina por *Micromonospora echinospora* (Meg) en *Zea mays* a dosis de 100 y 150 μ L sobre su fenología.

En la figura 7, muestra un efecto positivo de la posible GA en *Z. mays* sobre su fenotipia, con un valor de la AP de 11.19 cm y una LR de 18.07 cm a dosis de 100 μ ; valores que fueron estadísticamente diferentes con la GA pura, donde la AP fue



de 13.68 cm y 22.59 cm de la LR, que comparados estos resultados con el CR, registró una AP de 4.63 cm y una LR de 6.76 cm y los valores del CA; mostró una AP de 3.79 cm y una LR de 6.69 cm; resultados que son estadísticamente diferentes.

Figura 7. Efecto de la posible giberelina de *Micromonospora echinospora* (Meg1) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de *Zea mays* a dosis de 100 µL en su fenología.



Control absoluto=Agua + *Z. mays*; Control relativo=solución mineral + *Z. mays*;
Giberelina-100µL=100µL de giberelina comercial + *Z. mays*;
Meg1-100µL=100µL de una posible giberelina producida por *M. echinospora* + *Z. mays*.

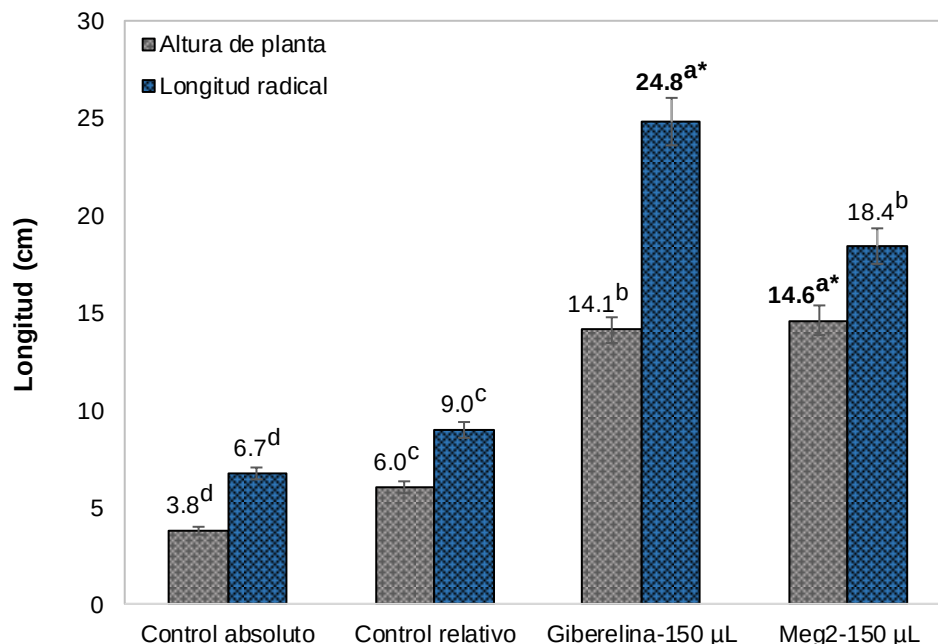
*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.

En la figura 8, muestra un efecto positivo de la posible GA en *Z. mays* sobre su biomasa, a dosis de 150 µL; donde la AP fue de 14.58 cm y la LR de 18.41 cm valores estadísticamente diferentes a los de la GA pura con una AP de 14.09 cm y una LR de 28.84 cm; en tanto que los valores registrados para el CR, reportó una



AP de 5.97 cm y una LR de 8.95 cm y la semilla CA, registró una AP de 3.79 cm y una LR de 6.69 cm.

Figura 8. Efecto de la posible giberelina de *Micromonospora echinospora* (Meg2) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de *Zea mays* a dosis de 150 μ L en su fenología.



Control absoluto=Agua + *Z. mays*; Control relativo=solución mineral + *Z. mays*
 Giberelina-150 μ L=150 μ L de giberelina comercial + *Z. mays*
 Meg2-150 μ L=150 μ L de una posible giberelina producida por *M. echinospora* + *Z. mays*

*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.

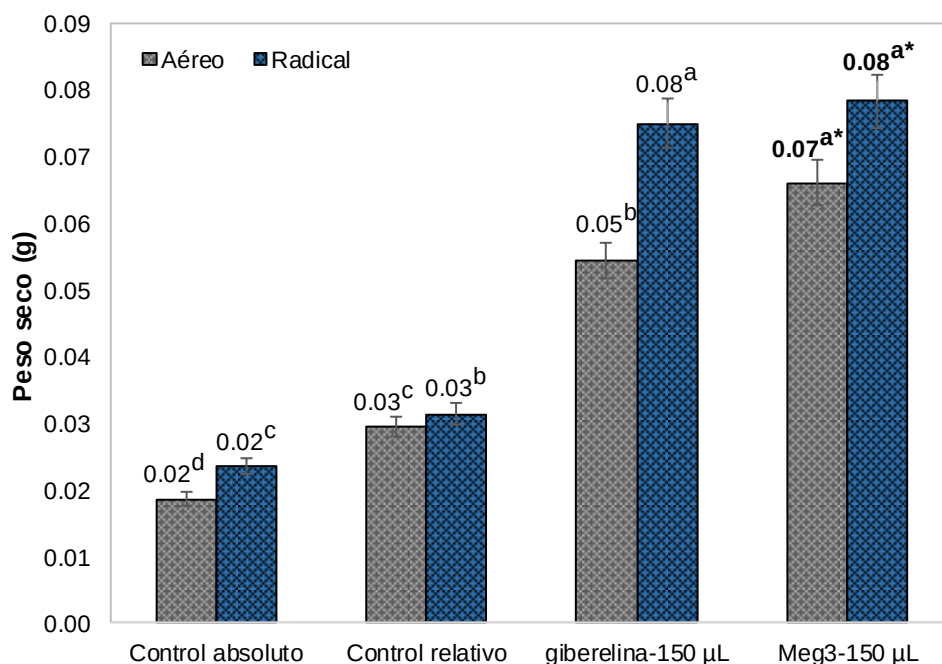
Efecto del transformado de la lignina residual de paja de trigo en posible giberelina por *Micromonospora echinospora* (Meg) sobre *Zea mays* a dosis de 150 μ L sobre su biomasa.

En la figura 9, se mostró un efecto positivo de la posible GA en *Z. mays* sobre su biomasa a dosis de 150 μ L; donde el PSA fue de 0.07 g y el PSR de 0.08 g, comparados estos valores con *Z. mays* tratada con la GA pura reportó un PSA de



0.05 g y un PSR de 0.08 g; en tanto que los valores registrados para el CR, registró un PSA de 0.03 g y un PSR de 0.03 g, mientras que el CA, mostró una diferencia estadística con un valor del PSA de 0.02 g y 0.02 g para el PSR.

Figura 9. Efecto de la posible giberelina de *Micromonospora echinospora* (Meg3) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de *Zea mays* a dosis de 150 μ L en su biomasa.



Control absoluto=Agua + *Z. mays*; Control relativo=solución mineral + *Z. mays*;
Giberelina-150 μ L=150 μ L de giberelina comercial + *Z. mays*;
Meg3-150 μ L=150 μ L de la posible giberelina producida por *M. echinospora* + *Z. mays*.

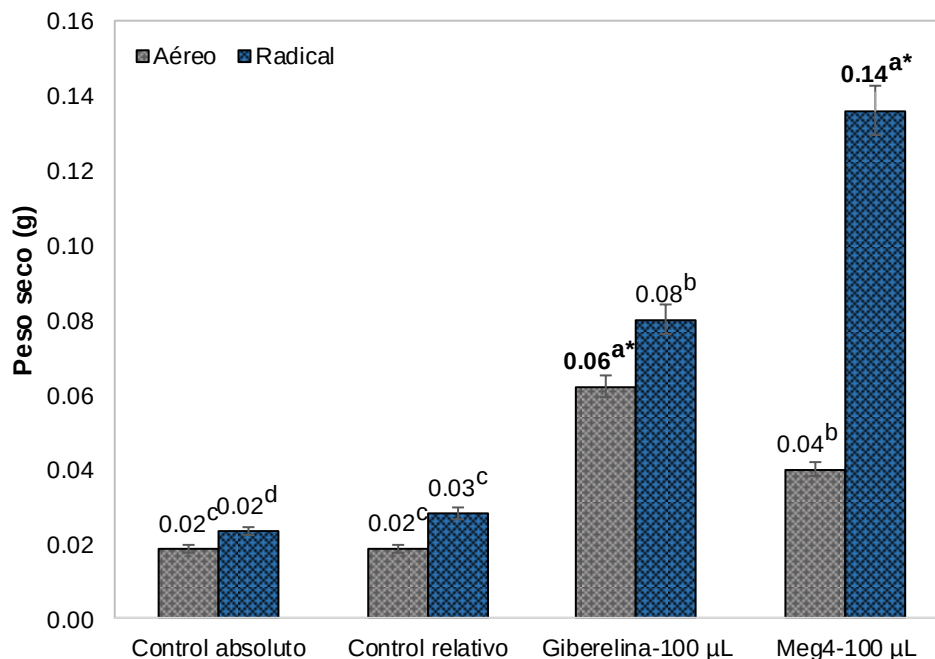
*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.

En la figura 10, se mostró un efecto positivo de la posible GA a dosis de 100 μ L en *Z. mays* sobre su biomasa; donde el PSA fue de 0.04 g y el PSR de 0.14 g, valores que comparados con *Z. mays* tratada con la GA pura muestran una diferencia significativa, con un PSA de 0.06 g y 0.08 g de PFR; mientras que los valores del



CR, reportó un PSA de 0.02 g y un PSR de 0.03 g y la semilla CA, mostró un PSA de 0.02 g y 0.02 g de PSR.

Figura 10. Efecto de la posible giberelina de *Micromonospora echinospora* (Meg4) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de *Zea mays* a dosis de 100 μ L en su biomasa.



Control absoluto=Agua + *Z. mays*; Control relativo=solución mineral + *Z. mays*;
Giberelina-100 μ L=100 μ L de giberelina comercial + *Z. mays*;
Meg4-100 μ L=100 μ L de una posible giberelina producida por *M. echinospora* + *Z. mays*.

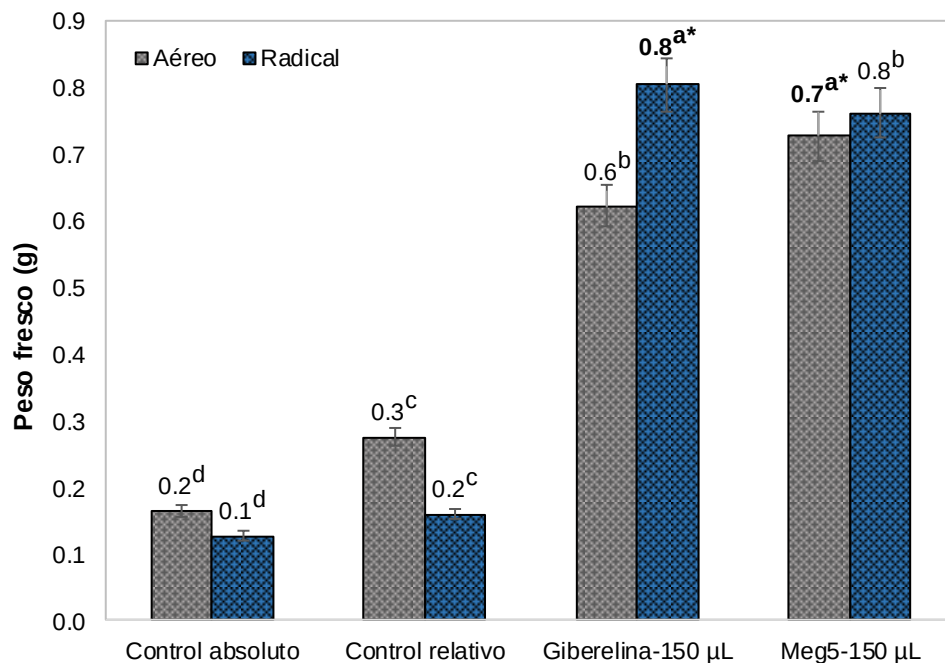
*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.

En la figura 11, se muestra un efecto positivo de la posible GA a dosis de 150 μ L en *Z. mays* sobre su biomasa con un PFA de 0.7 g y un PFR de 0.8 g; mientras que la semilla tratada con la GA comercial se reportó un valor estadísticamente diferente,



donde el PFA fue de 0.6 g y el PFR de 0.8 g; en cuanto al CR, alcanzó un PFA de 0.3 g y un PFR de 0.2 g, y para el CA el PFA fue de 0.2 g y 0.1 g del PFR.

Figura 11. Efecto de la posible giberelina de *Micromonospora echinospora* (Meg5) generada por la conversión de aromáticos de la LIREPATO de *Zea mays* a dosis de 150 μ L en la biomasa.



Control absoluto=agua + *Z. mays*; Control relativo=solución mineral + *Z. mays*;
Giberelina-150 μ L=150 μ L de giberelina comercial + *Z. mays*;
Meg5-150 μ L=150 μ L de la posible giberelina producida por *M. echinospora* + *Z. mays*.

*Las letras distintas indican una diferencia estadística al 5.0 % según el Software de Statgraphics Centurion 16.103.

