



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**ESCUELA DE BIOLOGÍA**

**“EFECTO DE UNA SERIE DE ANÁLOGOS DE  
BRASINOESTEROIDES EN EL DESARROLLO CELULAR  
Y CRECIMIENTO DE MONO Y DICOTILEDÓNEAS”**

**“TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA  
OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIATURA EN  
BIOLOGÍA”**

**PRESENTA:**

**ESTHER ANALY CRUZ HERNÁNDEZ**

**ASESOR DE TESIS**

**DRA. MARICELA RODRÍGUEZ ACOSTA**

**DR. JESÚS SANDOVAL RAMÍREZ**

**SEPTIEMBRE 2015**

## **INDICE GENERAL**

Índice general .....	I
Índice de figuras .....	II
Índice de tablas .....	III
Anexos .....	V
RESUMEN .....	VI
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>3</b>
<b>3. TRABAJOS PREVIOS CON BR y aBR .....</b>	<b>10</b>
<b>4. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>5. HIPÓTESIS.....</b>	<b>14</b>
<b>6. OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
<b>7. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>16</b>
<b>8. RESULTADOS .....</b>	<b>31</b>
8.1 Maíz criollo.....	31
8.2 Maíz híbrido .....	41
8.3 Jitomate .....	51
<b>9. DISCUSIÓN.....</b>	<b>62</b>
<b>10. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>66</b>
<b>11. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>67</b>
<b>12. ANEXOS .....</b>	<b>72</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estructura química de los brasinoesteroides más activos.....	<b>6</b>
<b>Figura 2.</b> Percepción de los brasinoesteroides por la célula.....	<b>7</b>
<b>Figura 3.</b> Planta de maíz.....	<b>16</b>
<b>Figura 4.</b> Desarrollo de la planta de maíz.....	<b>18</b>
<b>Figura 5.</b> Planta de tomate.....	<b>19</b>
<b>Figura 6.</b> Desarrollo de la planta de tomate.....	<b>20</b>
<b>Figura 7.</b> Semillas de maíz.....	<b>21</b>
<b>Figura 8.</b> Maíz criollo de 10 d de crecimiento en laboratorio.....	<b>33</b>
<b>Figura 9.</b> Maíz criollo de 90 d, cultivado en invernadero.....	<b>38</b>
<b>Figura 10.</b> Maíz híbrido de 10 d de crecimiento en laboratorio.....	<b>43</b>
<b>Figura 11.</b> Maíz híbrido de 90 d, cultivado en invernadero.....	<b>48</b>
<b>Figura 12.</b> Tomate híbrido de 20 d de crecimiento en invernadero.....	<b>53</b>
<b>Figura 13.</b> Tomate híbrido de 130 d, cultivado en invernadero.....	<b>58</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Valores medios de los parámetros celulares, biomasa y biométricos de las plantas de maíz criollo, a los 10 días (V2).....	<b>32</b>
<b>Tabla 2.</b> Valores medios de los parámetros celulares, biomasa y biométricos de las plantas de maíz criollo, a los 40 días (V6).....	<b>35</b>
<b>Tabla 3.</b> Valores medios de los parámetros de biomasa y biométricos de las plantas de maíz criollo, a los 90 días (VT) sin aspersion .....	<b>36</b>
<b>Tabla 4.</b> Valores medios de los parámetros de biomasa y biométricos de las plantas de maíz criollo, a los 90 días (VT) con aspersion... ..	<b>37</b>
<b>Tabla 5.</b> Valores medios de los parámetros de biomasa y biométricos de las plantas de maíz criollo, a los 90 días (VT) con y sin aspersion.....	<b>39</b>
<b>Tabla 6.</b> Valores medios del parámetro de biomasa seca total de las plantas de maíz criollo, a los 90 días (VT) con y sin aspersion. ....	<b>41</b>
<b>Tabla 7.</b> Valores medios de los parámetros celulares, de biomasa y biométricos de las plantas de maíz híbrido, a los 10 días (V2).....	<b>43</b>
<b>Tabla 8.</b> Valores medios de los parámetros celulares, de biomasa y biométricos de las plantas de maíz híbrido, a los 40 días (V6) .....	<b>45</b>
<b>Tabla 9.</b> Valores medios de los parámetros de biomasa y biométricos de las plantas de maíz híbrido, a los 90 días (VT) sin aspersion.....	<b>47</b>
<b>Tabla 10.</b> Valores medios de los parámetros de biomasa y biométricos de las plantas de maíz híbrido, a los 90 días (VT) con aspersion.....	<b>48</b>
<b>Tabla 11.</b> Valores medios de los parámetros de biomasa y biométricos de las plantas de maíz híbrido, a los 90 días (VT) con y sin aspersion .....	<b>49</b>
<b>Tabla 12.</b> Valores medios del parámetro de biomasa seca total de las plantas de maíz híbrido, a los 90 días (VT) con y sin aspersion.....	<b>51</b>
<b>Tabla 13.</b> Valores medios de los parámetros de celulares, biomasa y biométricos de las plantas de jitomate, a los 20 días.....	<b>52</b>
<b>Tabla 14.</b> Valores medios de los parámetros celulares, biomasa y biométricos de las plantas de jitomate, a los 40 días.....	<b>55</b>
<b>Tabla 15.</b> Valores medios de los parámetros de biomasa y biométricos de las plantas de jitomate, a los 130 días sin aspersion .....	<b>56</b>

<b>Tabla 16.</b> Valores medios de los parámetros de biomasa y biométricos de las plantas de jitomate, a los 130 días con aspersion.....	<b>57</b>
<b>Tabla 17.</b> Valores medios de los parámetros de biomasa y biométricos de las plantas de jitomate, a los 130 días con y sin aspersion. ....	<b>59</b>
<b>Tabla 18.</b> Valores medios de los parámetros de número y peso de jitomates, a los 130 días con y sin aspersion.....	<b>60</b>
<b>Tabla 19.</b> Valores medios del parámetro de biomasa seca total de las plantas de jitomate, a los 130 días con y sin aspersion.....	<b>61</b>
<b>Tabla 20.</b> Valores medios de los parámetros de biomasa fresca de las plantas de maíz criollo, a los 10 días (V2) .....	<b>77</b>
<b>Tabla 21.</b> Valores medios de los parámetros de biomasa fresca de las plantas de maíz criollo, a los 40 días (V6) .....	<b>78</b>
<b>Tabla 22.</b> Valores medios de los parámetros de biomasa fresca de las plantas de maíz hibrido, a los 10 días (V2). ....	<b>79</b>
<b>Tabla 23.</b> Valores medios de los parámetros de biomasa fresca de las plantas de maíz hibrido, a los 40 días (V6).....	<b>80</b>
<b>Tabla 24.</b> Valores medios de los parámetros de biomasa de las plantas de jitomate, a los 20 días.....	<b>81</b>
<b>Tabla 25.</b> Valores medios de los parámetros de biomasa de las plantas de jitomate, a los 40 días.....	<b>82</b>

## **ANEXOS**

<b>Anexo A:</b> Preparación de las concentraciones de aBR.....	<b>72</b>
<b>Anexo B:</b> Elaboración de sistemas de germinación para semillas de maíz y jitomate.....	<b>73</b>
<b>Anexo C:</b> Maíz criollo (peso fresco). ....	<b>77</b>
<b>Anexo D:</b> Maíz híbrido (peso fresco).....	<b>78</b>
<b>Anexo E:</b> Tomate (peso fresco). ....	<b>80</b>

## RESUMEN

El desarrollo vegetal se encuentra regulado por la acción de fitohormonas, que activan o reprimen determinados procesos fisiológicos, interactuando entre sí. Los brasinoesteroides (BR) son polihidroxiesteroides de 27-29 átomos de carbono, que se encuentran ampliamente distribuidos en el reino vegetal en muy bajas concentraciones, aunque pueden ser obtenidos por síntesis química. Por su modo de acción, se consideran actualmente la sexta clase de hormonas vegetales. Se ha observado una amplia variedad de respuestas fisiológicas con el empleo de BR, incluyendo los efectos sobre la elongación, división celular, desarrollo vascular y reproductivo, polarización de la membrana, así como también la regulación de la diferenciación de las células xilemáticas, incremento de biomasa, estimulación de la actividad fotosintética y modulación del estrés.

La creciente demanda de alimentos debida al aumento de la población mundial conlleva a la utilización de variedades promisorias de importantes especies económicas, que para brindar mejor rendimiento necesitan elevadas cantidades de fertilizantes minerales y plaguicidas; sin embargo la aplicación de dichos insumos contamina irremediablemente a los mantos freáticos y en muchas ocasiones son dañinos para las personas que los aplican o para los habitantes y medio ambiente circundante. Sin embargo, existe actualmente una alternativa no tóxica, que mejora el rendimiento agrícola: la aplicación de brasinoesteroides y análogos.

Para los agricultores uno de los principales objetivos es tener calidad en cultivos, producto y rendimiento; y para lograrlo se ha desarrollado investigación en la síntesis de análogos de brasinoesteroides (aBR), lo que ha obligado a diseñar una mayor variedad de estructuras químicas que rindan mayor cantidad de producto en comparación con los BR naturales.

En el presente trabajo se realizó un estudio de evaluación del efecto de cinco aBR sintetizados en nuestro grupo de trabajo, los cuales fueron seleccionados por sus resultados en pruebas de laboratorio y de invernadero en plantas de maíz,

arroz, frijol y jitomate. Estos compuestos fueron evaluados a nivel de plántula y a nivel de planta madura en el laboratorio y en condiciones de invernadero. El objetivo del trabajo fue conocer los efectos que estos aBR tienen a nivel celular, a través de mediciones del área celular y densidad estomática, así como el efecto a nivel de producción de biomasa y de crecimiento, en dos cultivos de importancia alimenticia perteneciente a las clases mono y dicotiledóneas.

Los resultados mostraron que el aBR18 a la concentración 0.01mg/l, es el que tuvo una mejor respuesta que el resto de análogos en plantas de maíz criollo e híbrido, promoviendo el desarrollo celular, el aumento de biomasa y crecimiento en las plantas, superando el efecto producido por la HBL. Estos efectos promotores de crecimiento vegetal producidos por el aBR18 son consistentes y conserva su actividad sin importar el cambio del tipo de maíz que se utilice, lo cual permite proponer a este compuesto como un candidato a emplearse en pruebas a mayor escala.

De la misma manera el aBR12 a la concentración 0.01mg/l, mostró los mejores efectos en las plantas de jitomate híbrido var. Saladette, promoviendo el desarrollo celular, el aumento de biomasa, crecimiento y la producción de fruto, superando el efecto producido por la HBL.

Las técnicas usadas demostraron ser pruebas confiables para evaluar el efecto promotor del crecimiento de los aBR en los estudios previos a campo. Dado que se buscan promotores de crecimiento vegetal con mayor espectro, se recomienda probar en campo los aBR12 y aBR18, tomando en cuenta que los estudios realizados muestran una respuesta diferencial en las plantas dependiendo de la clase a la que pertenecen (mono o dicotiledóneas).

## 1. INTRODUCCIÓN

México cuenta con una extensión de 198 millones de hectáreas, de las cuales cerca de 30 millones de ellas son tierras de cultivo y 115 millones son de agostadero. La agricultura en México representa un sector productivo importante, a pesar de su baja participación en el PIB nacional, que es de apenas 4% (FAO, 2009). La agricultura es el principal componente ya que aporta mayormente al PIB en relación al sector pesquero, pecuario y acuícola, además permanece vigente durante todo el año con sus distintos cultivos (Escalante *et al.*, 2008).

La agricultura en México es de gran importancia porque provee alimentos, materias primas, y mano de obra al sector agroindustrial, pero demanda gran cantidad de productos industriales para la producción agrícola, como: fertilizantes, herbicidas, plaguicidas, maquinaria, entre otros (Fletes, 2000).

Dentro de la producción agrícola del país, las frutas y hortalizas han concentrado el mayor número de interesados en participar en un modelo de producción condicionado por las tendencias económicas y sociales internacionales. Las categorías de frutas, hortalizas y maíz contribuyen con cerca de la mitad del valor de la producción, es decir, estos productos son los que muestran el mayor dinamismo en el campo mexicano, por otra parte, los cambios en la estructura de la superficie cultivada también reflejan los cambios en la rentabilidad de los cultivos, la cual está estrechamente asociada a las condiciones del mercado internacional (Escalante *et al.*, 2008).

El maíz es el cultivo más importante de México, se utiliza principalmente para la elaboración de tortillas y tamales, pero de él también pueden obtenerse aceite e insumos para la fabricación de barnices, pinturas, cauchos artificiales y jabones. Prueba de ello es que en el 2014, se cosecharon 37,106,425 toneladas producidas en México. Por otra parte el jitomate constituye uno de los ingredientes más utilizados en la cocina de nuestro país y de una buena parte del mundo, por sus frutos es rico en antioxidantes, como el licopeno. En el 2014 se cosecharon 2,875,164 toneladas de jitomate producidas en México (SIAP, 2014).

La agricultura en México representa uno de los grandes problemas nacionales. Su participación en el producto total de la economía ha venido decayendo en las últimas décadas y parte de la población dedicada a esa actividad ha optado por otras fuentes de ingresos (Fletes, 2000).

Con esta problemática en puerta, urge la necesidad de encontrar productos naturales, ecológicamente inocuos, capaces de proteger a las plantas contra estrés y que sean viables para nuestra economía. Algunas moléculas prometedoras por sus efectos protectores son los brasinoesteroides (BR), potentes reguladores del crecimiento vegetal de naturaleza esférica. Estas hormonas tienen diferentes efectos: estimulan el alargamiento celular y la diferenciación de protoplastos, regeneran la pared celular, incrementan la biomasa y el rendimiento, además se ha informado el efecto protector de los BR naturales ante diferentes condiciones de estrés abiótico, como temperaturas altas y bajas, sequía y salinidad (Yanelis *et al.*, 2010).

Los BR constituyen biorreguladores con probada actividad en el crecimiento vegetal y con mecanismos de acción diferentes al de las hormonas clásicas, por lo que ha sido de gran interés en la biotecnología vegetal la síntesis de análogos de brasinoesteroides (aBR) con diferentes estructuras químicas, lo que permitirá validar su acción como reguladores del crecimiento en estudios biológicos y posibilitará su uso en diferentes estudios tanto en condiciones *in vitro* como de campo (Nuñez, 2000).

Desde hace 25 años, se ha mostrado la aplicación práctica de BR con óptimos resultados en diversas plantas cultivadas en campo, como arroz, trigo, cebada, soya, algodón, tabaco, tomate, papa, mostaza, betabel, melón, cacahuate y arándano, entre otros (Khripach *et al.*, 2000).

En el presente trabajo se realizó la evaluación del efecto de cinco análogos de brasinoesteroides (aBR), sintetizados por nuestro grupo de trabajo, mediante pruebas de laboratorio y de invernadero en plantas de maíz y jitomate, con el fin de tener un mayor conocimiento sobre la actividad promotora del crecimiento que ejercen estos análogos para su posterior estudio en pruebas de campo y en diversos cultivos de importancia alimenticia y económica para nuestro país.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1 Hormonas vegetales**

Las hormonas vegetales son moléculas simples de composición química diversa: compuestos de indol, terpenos, derivados de adenina, esteroides, hidrocarburos alifáticos, y derivados de carotenoides o ácidos grasos. Al menos dos son gases. Las hormonas vegetales son necesarias en cantidades minúsculas y sus concentraciones en los sitios de actividad están reguladas con precisión. Las fitohormonas a grandes rasgos se diferencian en dos grupos respecto de sus funciones, no a su afinidad química. En un grupo están las hormonas como las auxinas, giberelinas, citoquininas, y brasinoesteroides que están involucradas en actividades que promueven la división celular, la elongación celular, formación de patrones, el crecimiento trópico, la floración, y frutas y desarrollo de la semilla. En el otro grupo las hormonas como el ácido abscísico, etileno, y jasmonatos juegan un papel importante en las respuestas de las plantas a heridas y estrés biótico y abiótico. Algunos compuestos, tales como poliaminas, sisteminas, y ácido salicílico generalmente no son aceptados como hormonas (Srivastava, 2002).

Actualmente dentro de las hormonas vegetales, se considera a los BR como la sexta clase de hormonas esteroidales de las plantas, que son esenciales para su normal crecimiento y desarrollo. Esta familia de compuestos naturales, está ampliamente distribuido en el reino vegetal. Se están estudiando sus efectos en las plantas, y diversas han sido las formas de aplicación y las concentraciones utilizadas (Reyes *et al.*, 2014).

## 2.2 Brasinoesteroides

### 2.2.1 Descubrimiento

Las plantas producen numerosos esteroides, que son un grupo importante de compuestos de naturaleza lipídica y juegan un papel como hormonas esenciales. Un ejemplo de esteroide es el estigmasterol presente en las semillas del frijol soya. La Brasinólida (BL) es la forma más bioactiva de los esteroides vegetales que promueven el crecimiento, y son denominados brasinoesteroides (BR) (Bishop *et al.*, 2002).

En 1970, Mitchell y colaboradores reportaron que algunos extractos del polen de colza (*Brassica napus* L.) producían un poderoso efecto de elongación (alargamiento) en el tallo de frijol. Esta respuesta fue distinta a la que producen algunas giberelinas. Las sustancias que promovieron el crecimiento de manera más activa fueron llamados “brassinás”. Le atribuyeron el estatus de hormona vegetal a las brassinas porque eran compuestos orgánicos específicos, presentes en las plantas que inducían crecimiento cuando eran aplicados en cantidades diminutas a otras plantas (Sáenz *et al.*, 2014).

Grove *et al.* en 1979, del polen de *B. napus* obtuvieron cuatro miligramos de una sustancia que fue identificada por cristalografía de rayos X como lactona esteroideal y fue denominada brasinólida (BL). Dos años después la 24-epi-brasinólida, fue sintetizada químicamente, eliminando la necesidad de una obtención masiva de extracto de plantas (Bishop *et al.*, 2002).

Con una amplia variedad de compuestos sintéticos a la mano, en 1980 los investigadores se enfocaron en determinar sus efectos fisiológicos en una gran diversidad de sistemas biológicos. El interés inicial en los BR se basó en las propiedades que promovían el crecimiento de los extractos de polen estudiados por Mitchell *et al.* en 1970.

Para determinar la actividad de los BR se emplearon bioensayos específicos como el de la inclinación de la lámina de arroz (*Oriza sativa* L.) y el del segundo entrenudo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (Sáenz *et al.*, 2014).

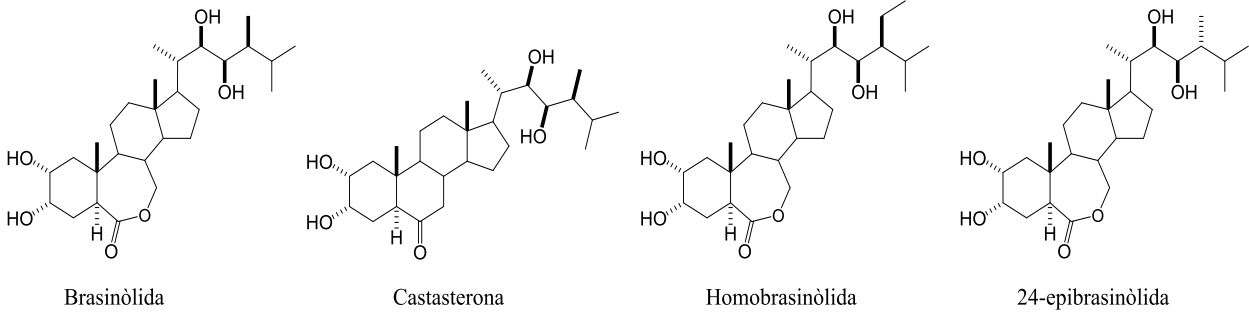
Al comparar los efectos de los BR con los de otras sustancias reguladoras del crecimiento vegetal se destacan características tales como: una actividad a concentraciones extremadamente bajas ( $0.1-0.001 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), que es un rango 100 veces menor que el de los otros reguladores de crecimiento vegetal (Salgado *et al.*, 2008).

## 2.2.2 Estructura de Brasinoesteroides

Se han identificado químicamente más de 70 BR de fuentes vegetales y la brasinólida es hasta ahora la que produce la mayor actividad biológica de todos. Puede sintetizarse empleando como materia prima al campesterol o a través de la síntesis parcial a partir de otros esteroides. Los esteroides vegetales, además de su papel como precursores de los BR, son componentes integrantes de las membranas celulares, donde regulan su fluidez y permeabilidad (Izquierdo, 2011).

Las moléculas de BR cuentan con cuatro anillos (A, B, C y D) y una cadena lateral. Son formados a partir de la condensación de bloques de cinco átomos de carbonos denominados isoprenos. Los BR (Fig.1) son esteroides con 27, 28 o 29 átomos de carbono con diferentes sustituyentes en los anillos A y B y en la cadena lateral (Sáenz *et al.*, 2014).

La BL junto con la 24-epibrasinólida, la catasterona y homobrasinólida (HBL) son los BR naturales más importantes, considerando su amplia distribución en el reino vegetal y sus potentes actividades biológicas (Moreno, 2009). La 24-epibrasinólida, es el BR natural más usado internacionalmente para estudiar los efectos de esta familia de compuestos. La catasterona y la brasinólida son los BR más abundantes en las plantas que se han investigado hasta el momento. La HBL se ha sintetizado a partir del estigmasterol, que es obtenido del aceite de soya el cual es un producto comercial relativamente barato y se encuentra disponible en cantidades suficientes (Salgado *et al.*, 2008).



**Fig. 1.** Estructura química de los BR más activos.

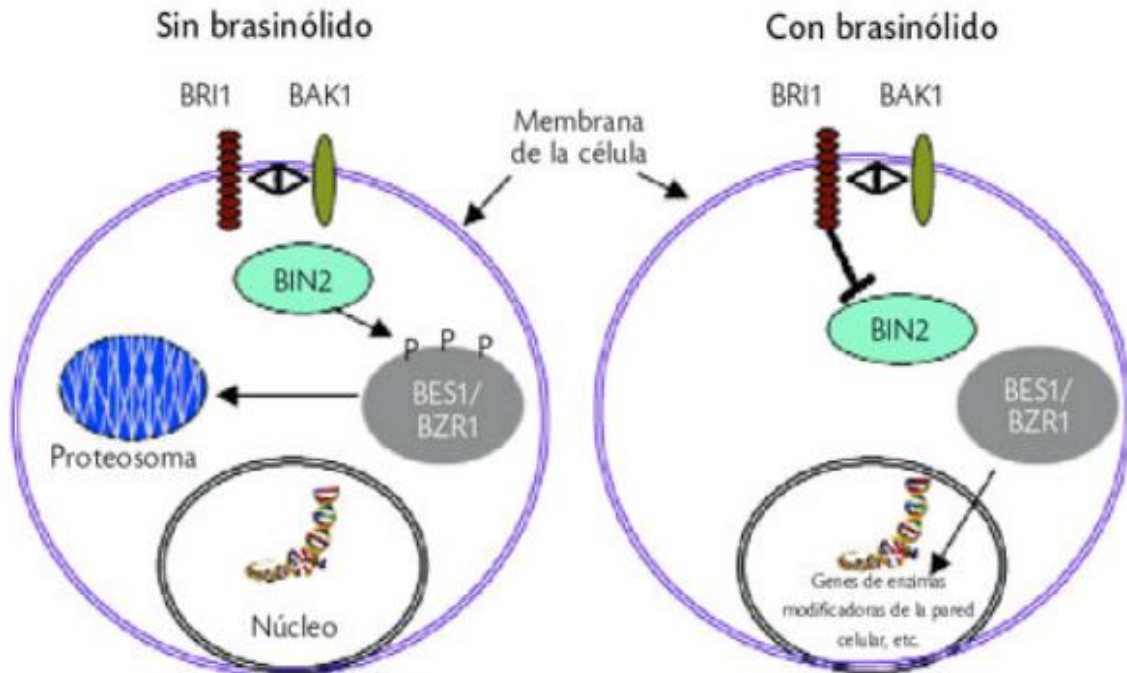
### 2.2.3 Percepción de Brasinoesteroides por la célula

En general, los BR han demostrado que provocan tanto la elongación como la división celular, lo que resulta en el crecimiento, engrosamiento y curvatura en coleóptilos de avena. La expansión celular es un requerimiento crítico para el crecimiento y la formación de órganos en los tejidos vegetales. Se encontró que el efecto de los BR está controlado por la alteración coordinada de las propiedades mecánicas de la pared celular, los procesos bioquímicos y la expresión de genes como las expansinas que probablemente están involucrados en todos los pasos de la regulación del crecimiento celular (Salgado *et al.*, 2008).

La pared primaria en la mayoría de las plantas consiste en microfibrillas de celulosa unidas en una red a la hemicelulosa, los cuales, a su vez, están embebidos en una matriz gelatinosa de pectinas. Para que la expansión celular ocurra, la pared celular debe romper las interacciones con la hemicelulosa, acompañada por la adición de nuevos componentes para prevenir el adelgazamiento y rompimiento de las paredes. Se ha visto que la adición exógena de los BR en explantes vegetales induce la expresión de diferentes genes. Por otro lado, la dirección de la expansión celular está regulada por la orientación de las microfibrillas de celulosa de la pared celular, esta a su vez es controlada por la orientación de microtúbulos corticales. Existen evidencias de que los BR promueven la orientación de los microtúbulos, y de esta manera se acelera la elongación celular. De esta manera se sugiere que éste es un mecanismo por el que los BR inducen el crecimiento de los tejidos vegetales (Sáenz *et al.*, 2014).

## 2.2.4 Señalización de Brasinoesteroides

Para que un compuesto ejerza un efecto fisiológico, es necesario que la célula blanco lo perciba. Esta percepción del compuesto puede ser a través de un receptor localizado en la membrana que rodea a la célula. La proteína *BRI1* (Fig. 2) es el receptor de los BR (Sáenz *et al.*, 2014).



**Fig 2. Percepción de los brasinólidos por la célula.** Para ejercer su función el receptor debe interactuar con otros componentes proteicos. Tal es el caso de un componente denominado *BIN2*, el cual en ausencia del brasinólido le agrega un grupo fosfato a otros componentes conocidos como *BES1/BRZ1*, los cuales al ser fosforilados son degradados por un complejo proteosómico. Por otra parte, si hay presencia de la BL, el componente *BIN2* no actúa: los componentes *BES1/BRZ1* no se fosforilan y por lo tanto no se degradan, y de esta manera estos componentes se acumulan en el núcleo induciendo la expresión de ciertos genes descritos anteriormente, cuyo resultado final es producir una respuesta fisiológica específica (Sáenz *et al.*, 2014).

### 2.2.5 Efectos fisiológicos en plantas.

La aplicación de BR induce un amplio rango de respuestas en las plantas, incluyendo un incremento en la tasa de elongación del tallo, aumento en la expansión de las hojas, crecimiento del tubo polínico, desenrollamiento de las hojas en pastos, reorientación de las microfibrillas de celulosa, así como la adaptación al estrés biótico y abiótico (estrés oxidativo, hídrico, salino, térmico y metales pesados) (Sáenz *et al.*, 2014).

Además los BR juegan un papel importante en la división y expansión celular, la citodiferenciación, la germinación de las semillas, el crecimiento, la dominancia apical, la reproducción, la senescencia, entre otros (Nuñez *et al.*, 2010). Actualmente los BR están siendo investigados durante el proceso de micro propagación, ya que se ha reportado que estimulan la formación de nuevos brotes, la regeneración de plántulas a partir de embriones somáticos, y recientemente se ha determinado que promueven la formación de los embriones somáticos (Sáenz *et al.*, 2014), ver Cuadro 1.

### 2.2.6 Análogos de brasinoesteroides (aBR)

Los análogos de brasinoesteroides (aBR) son compuestos que tienen una estructura similar a los BR naturales y tienen una actividad muy parecida a la BL. Estos análogos en general se caracterizan por reproducir sólo determinadas agrupaciones estructurales presentes en los BR naturales, ya que se conoce que tienen una marcada incidencia en la actividad biológica, lo que ha llevado a la síntesis de aBR no presentes en la naturaleza. Las variaciones estructurales más importantes para mantener su actividad como promotores de crecimiento vegetal son:

- En la cadena lateral es esencial una configuración cis de dos sustituyentes que contienen oxígeno, usualmente grupos hidroxilos, los compuestos con la configuración 22R, 23R muestran una actividad mayor.
- La presencia de un grupo alquilo en el C-24 es importante, el orden generalmente observado de la actividad es CH<sub>3</sub> > C<sub>2</sub>H<sub>5</sub> > H.

- En la parte cíclica de la molécula, una función 7-oxalactona o una función 6-ceto en el anillo B es necesaria, las lactonas son usualmente más activas.
- La mayor actividad es observada cuando existe una orientación  $\alpha$  de dos grupos hidroxilos que están presentes en el C-3 y C-4 del anillo A.
- La unión trans de anillos A-B es más común en compuestos activos (Mandava, 1988).

Las potencialidades de los análogos espirostánicos de BR demuestran que estos compuestos pueden ser aplicados con efectividad a nivel de campo, ya que son capaces de modificar respuestas bioquímicas al estrés, incrementan los rendimientos de las plantas cultivadas, entre otros. Es de gran importancia la significación económica que tiene el hecho de que los BR y aBR sean aplicados para aumentar la productividad de las plantas (Nuñez *et al.*, 2010). En el Cuadro 1 se presentan ejemplos de los efectos de algunos BR y aBR al ser aplicados en plantas de valor agrícola.

**Cuadro 1.** Ejemplos de algunos brasinoesteroides y análogos con potencial agrícola (Tomado de Salgado *et al.*, 2008)

Brasinoesteroide	Concentración (mg·l) <sup>-1</sup>	Efecto	Referencias
<b>Biobras-16</b>	0.1	Incremento del 10-25% en el rendimiento del arroz, ajo, cebolla, papa, maíz, jitomate, soya y vid.	Pozo <i>et al.</i> 1996
<b>24-epibrasinólida</b>	25	Un incremento del 35% en el rendimiento de cebada.	Khripach 1997
<b>24-epibrasinólida</b>	0.1	Organogenesis in vitro(brotos) en <i>Capsicum annuum</i> L. cvs Júpiter y Pimiento Perfection.	Frank-Duchenne <i>et al.</i> 1998
<b>Epibrasinólida</b>	0.25	Resistencia a enfermedades (>33%)	Prusakova y Chizhova 1999
<b>Brasinólida</b>	0.5-1	Mayor rendimiento en arroz (10%)	Khripach <i>et al.</i> 2000
<b>Biobras-16</b>	0.4	Incremento en el rendimiento de semillas (68%)	Vargas-Vázquez e Iñar-Garza 2005
<b>CIDEF-4</b>	0.3	Mayor rendimiento en híbridos fértiles de maíz (2.5 veces)	Torres-Ruiz <i>et al.</i> 2007

### **3. TRABAJOS PREVIOS CON BR Y aBR**

La utilización de compuestos brasinoesteroides, naturales o análogos químicos, ha ganado aceptación en la agricultura, por sus propiedades anti estrés y su efecto intensificador del crecimiento, desarrollo y fructificación a partir de dosis muy reducidas, que los hacen compatibles con las tendencias actuales orientadas hacia formas sostenibles y ecológicas de intensificación de la producción (Salgado *et al.*, 2008). Se han realizado numerosos experimentos para investigar el uso potencial de los BR en la agricultura, confirmando su utilidad como químicos agrícolas.

#### **3.1 Análogos de brasinoesteroides evaluados en el Laboratorio y el Invernadero de investigación del Jardín Botánico de la BUAP.**

Se demostró la actividad de los aBR (aBR1, aBR2, aBR3, aBR4, aBR5, aBR6 y aBR7) a 8 diferentes concentraciones, en la variedad de arroz Morelos A-06, mediante la prueba de la apertura de la inclinación de la lámina de arroz, comparándolo con lo obtenido de la HBL. Los mejores resultados obtenidos fueron en: el aBR1 y aBR4 en la concentración 0.005mg/l, el aBR2, aBR3 y aBR5 en la concentración 0.05mg/l. El aBR6 con la concentración 0.0005mg/l. El aBR7 con dos concentraciones 0.00005mg/l y 0.005mg/l. Se observó que tanto en concentraciones menores y mayores, hay una fuerte actividad en el aumento de la amplitud de los ángulos de inclinación aplicando aBR (Fernández, 2010).

Se evaluó el efecto de cuatro aBR (aBR1, aBR2, aBR3 y aBR4) en tres distintas concentraciones, en la biomasa de dos variedades de maíz criollo (cremoso y amarillo) en invernadero, comparados con el efecto de la HBL. El efecto de 3 aBR (aBR1, aBR2 y aBR4) sobre maíz cultivado en invernadero fue significativo, igualándose o mejorando al provocado por el BR natural. Se concluyó que al aplicar los aBR1, aBR2 y aBR4 se incrementó la biomasa y longitud de la planta mediante la absorción de los brasinoesteroides en maíz criollo cremoso y amarillo (Moreno, 2010).

En otro estudio se determinaron los efectos en la biomasa producida de cuatro aBR (aBR1, aBR2, aBR3 y aBR4) a diferentes concentraciones, en dos variedades de maíz híbrido (TL05B y TL06B) y una variedad de frijol. Se comprobó que los cuatro

análogos de BSS empleados favorecieron el crecimiento de la biomasa y longitud en el maíz híbrido. Las concentraciones que resultaron ser las más efectivas para el maíz varían entre: 0.1 mg/l y 1.0 mg/l. Las concentraciones de 1.0 mg/l no favorecieron el incremento. El aBR4 tuvo una respuesta consistente en el incremento de biomasa tanto en maíz como en frijol (Pérez, 2010).

Se reportó en otro estudio el efecto del aBR4 en frijol, presentando mayor actividad promotora del crecimiento (Hidalgo, 2012).

En un estudio adicional se evaluaron ocho aBR (aBR2, aBR3, aBR4, aBR5, aBR6, aBR7 y aBR8) en las variedades de arroz Morelos A-98 y A-06, utilizando el bioensayo de la inclinación de la lámina de arroz. Las mayores respuestas se obtuvieron con los aBR5 y aBR9. Para la variedad de arroz Morelos A-98 los aBR6 y aBR10, fueron los más activos. El aBR4 obtuvo sus mayores respuestas a la concentración  $1 \times 10^{-2}$  mg/l, esto significa que dicho análogo conserva su actividad sin importar el cambio de variedad de arroz, por lo que los resultados obtenidos permiten proponer a este compuesto como uno de los candidatos a utilizarse en pruebas a mayor escala (Gómez, 2013).

Andrade en 2013, reportó que el aBR4 y la epibrasinólida mostraron mejor respuesta en la apertura de la inclinación de la lámina de la variedad de arroz Morelos A-98 y A-06 que el control. La epibrasinólida mostró su pico máximo a la concentración de 0.1 mg/l. La mayor actividad se presentó cuando se aplicó el aBR4 a las concentraciones de 1 mg/l y 0.1 mg/l. También empleo frijol negro (*Phaseolus vulgaris*) criollo, donde concluye que el aBR4 ejerce efectos a concentraciones de 1 mg/l y 0.1 mg/l, ya que estas concentraciones ayudaron a la planta de frijol a soportar el estrés hídrico, promovieron el crecimiento de la planta y por lo tanto el aumento de la biomasa.

Rivera en el 2013, realizó un estudio del efecto de cuatro aBR (aBR16, aBR17, aBR18, aBR19) en tres variedades de arroz (Morelos A-92, Morelos A-98 y Morelos A-2006), a diferentes concentraciones. Los resultados mostraron que el aBR18, es el que tuvo una mejor respuesta que el resto de los análogos promoviendo un mayor ángulo de inclinación en la lámina de arroz, dado que dicho análogo conservó su actividad indistintamente de la variedad de arroz.

En otro estudio se evaluó la influencia de un grupo de cuatro aBR (aBR12, aBR13, aBR14 y aBR15) a distintas concentraciones, sobre el comportamiento de plántulas de arroz (Morelos A-92, Morelos A-98 y Morelos 2006), mediante el bioensayo de la inclinación de la lámina de arroz. Se determinó que el aBR12 fue el que mostró una actividad mayor en las tres variedades de arroz. Las concentraciones más activas fueron 1 mg/l y 0.1mg/l para la mayoría de los análogos de brasinosteroides (Vázquez, 2014).

Recientemente, se reportó la evaluación del efecto de los análogos de brasinoesteroides en plantas ornamentales como las orquídeas. Los trabajos de Galicia (2014) y Rojas (2015), demuestran que el aBR4 tuvo una buena respuesta en crecimiento, cuando se utilizó a concentraciones de 0.001mg/L y de 0.5mg/L en plántulas de *Laelia anceps* y *Epidendrum ciliare* respectivamente cultivadas *in vitro*.

Uno de los últimos estudios realizados demostró, que los aBR4 y aBR18 evaluados en una variedad de frijol negro, incrementaron el rendimiento del cultivo bajo condiciones de invernadero. El aBR4 aplicado en la imbibición de la semilla y el aBR18 aplicado en la semilla antes de la siembra y una aspersion en la etapa vegetativa de la planta, son candidatos idóneos para ser evaluados en condiciones de campo abierto (Romero, 2015).

#### **4. JUSTIFICACIÓN**

En la agricultura, el maíz y el tomate representan una fuente alimenticia primordial para muchos países. Sin embargo, hay una fuerte disminución en la producción de estos cultivos básicos y por lo tanto se requiere de diferentes estrategias de cultivo y de técnicas para apoyar a la agricultura a mejorar su producción.

El uso de hormonas de las plantas, tales como los aBR debe ser investigado para aumentar la producción de esos cultivos, ya que urge encontrar alternativas que coadyuven al incremento de la producción de esos cultivos y otros, teniendo antecedentes de que los aBR traen beneficios a la agricultura. En este trabajo se plantea la aplicación de aBR en maíz criollo e híbrido y jitomate, con el propósito de evaluar el efecto en su biomasa y a nivel celular, como una forma indirecta de evaluar el rendimiento.

## 5. HIPÓTESIS

Con base a estudios previos que han demostrado que análogos de brasinoesteroides, sintetizados en el Laboratorio por nuestro grupo de trabajo producen efectos favorables en el crecimiento de biomasa de cultivos de frijol, arroz, maíz, entre otros, se predice que los nuevos análogos de brasinoesteroides (que han sido sintetizados tomando en cuenta grupos funcionales fundamentales para la bioactividad), ejercerán un efecto positivo en el desarrollo celular y el aumento de biomasa en las plantas de maíz y jitomate.

## 6. OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el efecto de cinco análogos de brasinoesteroides (aBR4, aBR8, aBR12, aBR16 y aBR18) en el desarrollo celular y la biomasa producida en plantas de maíz (*Zea mays*) y de jitomate (*Solanum lycopersicum*).

### OBJETIVOS PARTICULARES

- Evaluar el efecto de cada análogo de brasinoesteroides en 2 tipos de maíz criollo: (CPue-636 Ixtap-2012) e híbrido (CPue-631 Tlachi-2012) y en jitomate híbrido (SUN 7705) en condiciones de laboratorio e invernadero, a través de mediciones en parámetros celulares (densidad estomática y área celular) y de biomasa.
- Comparar los efectos de la homobrasinólida con cada análogo de brasinoesteroides en los dos tipos de maíz (criollo e híbrido) y jitomate.
- Seleccionar el análogo de brasinoesteroides que presente mejor actividad como promotor del crecimiento vegetal en maíz y jitomate.

## 7. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 7.1 Plantas de estudio

##### 7.1.1 Maíz (*Zea mays*)

#### Clasificación Taxonómica

Reino:	Plantae
División:	Angiospermae
Clase:	Monocotiledóneas
Orden:	Poales
Familia:	Poaceae
Subfamilia:	Panicoideae
Tribu:	Andropogoneae
Género:	<i>Zea</i>
Especie:	<i>Zea mays</i>



Fig. 3. Planta de maíz.

#### Generalidades

El maíz (*Zea mays*) es una planta monocotiledónea, de origen tropical mexicano. Es producido en la mayoría de los países del mundo siendo el tercer cultivo (después del trigo y del arroz). México, es el cuarto mayor productor de maíz del mundo (Salvador, 1997). En 2012, una de cada tres hectáreas cultivadas en el país correspondió al maíz; el 91% de la producción fue de maíz blanco, destinada al consumo humano. Sinaloa y Jalisco aportan la tercera parte de la producción nacional (SAGARPA, 2014).

#### Descripción morfológica

El maíz es de ciclo biológico anual y crecimiento determinado. Tiene la separación de los sexos en distintas estructuras florales. La inflorescencia masculina (espigas) produce pares de espiguillas separadas, cada una de las cuales encierra una flor fértil y otra estéril. La inflorescencia femenina (pistilada), es una espiga que produce pares de espiguillas sobre la superficie de un raquis altamente condensado (eje central u olote).

Cada una de las espiguillas encierra dos flósculos fértiles, uno de cuyos ovarios madurará para dar origen al fruto una vez que haya sido sexualmente fertilizado por el polen. La planta de maíz puede tener un porte que oscila de 0.5 a 5 metros al momento de floración, su madurez la puede alcanzar en un rango de 60 hasta 330 días a partir de la siembra hasta la cosecha, y produce de 1 a 4 mazorcas por planta (SIAP,2014).

La alta productividad del maíz es debida a su considerable área foliar así como a la modificación de su ruta fotosintética. Esta modificación, es conocida como el “síndrome C4”, y consiste en un eficiente mecanismo de intercambio de vapor de agua por dióxido de carbono atmosférico. Con este mecanismo las especies C4 pueden producir más materia seca por unidad de agua transpirada que la producida por aquellas especies que siguen la ruta fotosintética convencional C3 (Mazzilli, 2012).

### **Etapas fenológicas**

El crecimiento y producción depende del potencial genético de la planta de maíz. En su ciclo de vida presenta dos estados fisiológicos:

- El estado vegetativo (de 2 a 3 meses) comienza con la emergencia y culmina con la aparición de la inflorescencia masculina.
- El reproductivo (entre 9 y 10 meses) inicia con la floración femenina y termina con la madurez fisiológica (Mazzilli, 2012).

Estados Vegetativos			Estados Reproductivos		
Estado	Denominación	Descripción	Estado	Denominación	Descripción
VE	Emergencia	Cotiledones sobre la superficie del suelo	R1	Floración Femenina	Emergencia de estigmas
V1			R2	Cuaje	Definición de flores que fueron fecundadas
V2			R3	Llenado de Grano	Grano lechoso
V3			R4		Grano pastoso
V4			R5		Grano duro o indentado
“			R6	Madurez Fisiología	
V6	Encañazón	Elongación de entrenudos			
Vt	Panojamiento	Emergencia de inflorescencia masculina			

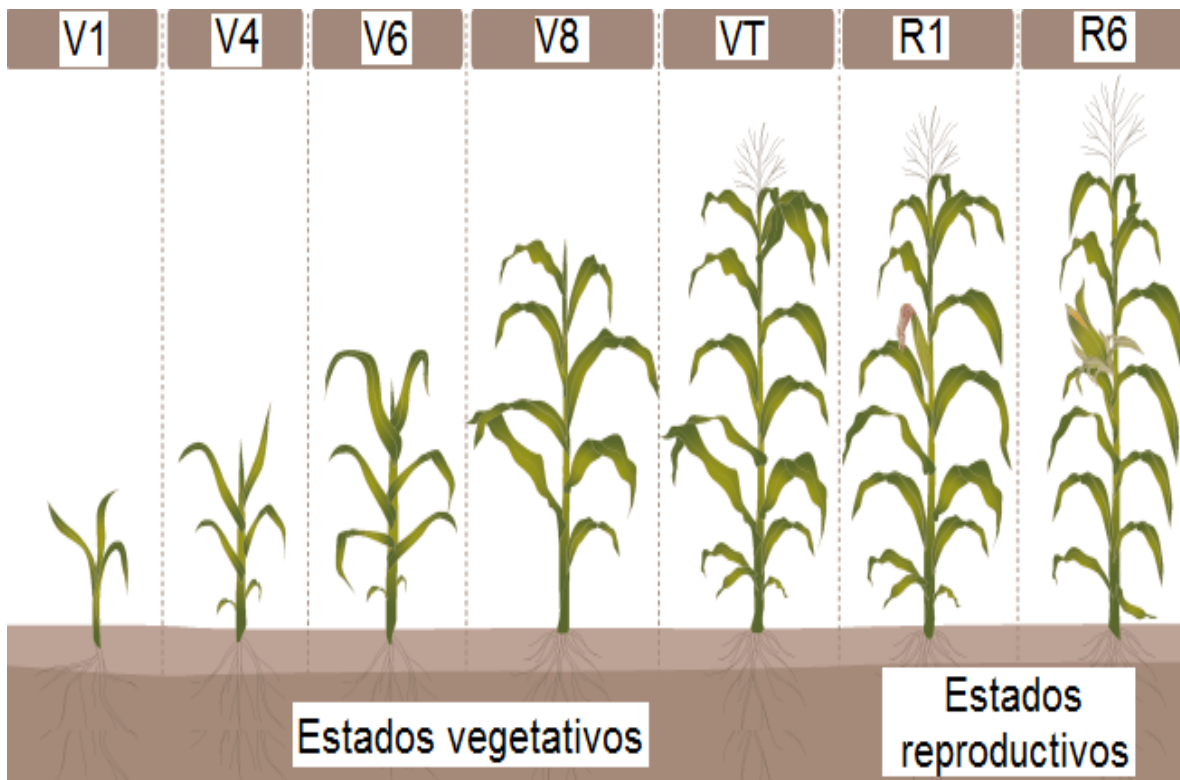


Fig. 4. Escala de desarrollo de la planta de maíz (Tomada de Ritchey y Hanway, 1982).

### 7.1.2 Jitomate (*Solanum lycopersicum*)

#### Clasificación taxonómica

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Asteridae
Orden:	Solanales
Familia:	Solanaceae
Género:	<i>Solanum</i>
Especie:	<i>Solanum lycopersicum</i>



Fig. 5. Planta de tomate

#### Generalidades

El jitomate es originario de Perú, Ecuador y Bolivia. Actualmente se considera el segundo vegetal más importante en el mundo después de la papa. México se encuentra en el décimo lugar en producción de jitomate. Durante 2012, el principal estado productor de tomate fue Sinaloa con el 39.9%. Existen tres maneras de clasificar el jitomate, según su forma, madurez y color. De acuerdo a su forma, existen 5 tipos: cherry, saladette, tipo pera, bola estándar y bola grande. El jitomate variedad saladette, es un fruto pequeño bi o trilobular y de tamaño homogéneo de los frutos; es la variedad más producida en el territorio mexicano, representando el 56% del total producido (SAGARPA, 2010).

#### Descripción morfológica

El jitomate (*Solanum lycopersicum*) es una planta dicotiledónea. Según el hábito de crecimiento, se pueden distinguir dos tipos distintos: los determinados (de tipo arbustivo, porte bajo, producción precoz, caracterizado por la formación de las inflorescencias en el extremo del ápice) y los indeterminados (crecen hasta 2 metros o más, la inflorescencia es lateral y tiene tallos axilares de gran desarrollo). En la planta de jitomate indeterminado se distinguen las siguientes partes: un tallo herbáceo, formando la raíz principal que se desarrollará rápidamente a profundidades mayores de un metro y las raíces laterales crecen hasta 40 cm en la profundidad, la hoja está formada por varios pares de hojuelas, en las axilas de las hojas están las yemas que producen

chupones o tallos laterales. En el cogollo nace el racimo que contiene hasta 40 flores bisexuales de color amarillo brillante, el fruto es el ovario desarrollado, conteniendo a la semilla de forma aplanada y de forma lenticelar (SAGARPA, 2010).

### Etapas fenológicas

En el cultivo del tomate, se observan 3 fases durante su ciclo de vida:

- Inicial: comienza con la germinación de la semilla, caracterizado por el rápido aumento en la biomasa y la planta invierte su energía en la síntesis de nuevos tejidos de absorción y fotosíntesis.
- Vegetativa: se inicia a partir de los 21 días después de la germinación y dura entre 25 a 30 días antes de la floración. Requiere de mayores cantidades de nutrientes para satisfacer las necesidades de las hojas y ramas en crecimiento y expansión.
- Reproductiva: inicia a partir de la fructificación, dura entre 30 o 40 días, y se caracteriza porque el crecimiento de la planta se detiene y los frutos extraen los nutrientes necesarios para su crecimiento y maduración (Pérez *et al.*, 2002).

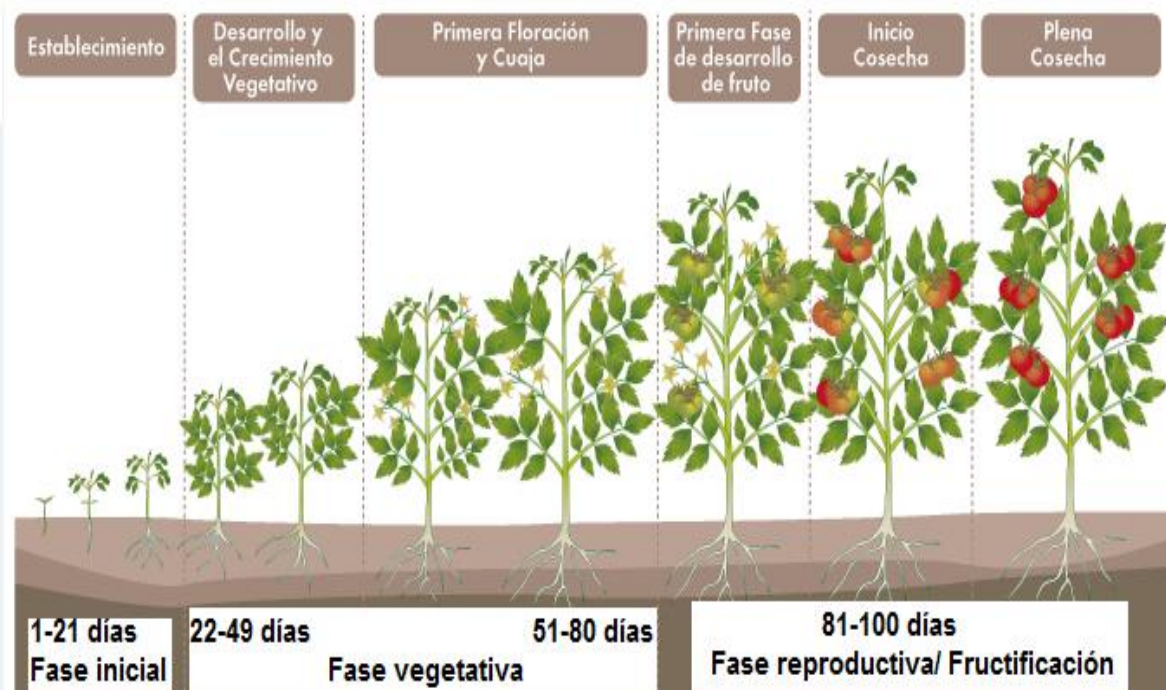


Fig. 6. Escala de desarrollo de la planta de tomate (Tomada de Pérez *et al.*, 2002)

## 7.2 Material biológico

Se utilizaron semillas de maíz (*Zea mays*) de 2 tipos: criollo (CPue-636 Ixtap-2012) e híbrido (CPue-631 Tlachi-2012), que fueron proporcionadas por el Colegio de Posgraduados (COLPOS). Las semillas de jitomate (*Solanum lycopersicum*) híbrido de la variedad saladette (SUN 7705) fueron adquiridas en Agroquímicos y semillas de Puebla.



Fig. 7. Semillas de maíz (izquierda maíz criollo y derecha maíz híbrido)

## 7.3 Análogos de brasinoesteroides

En este estudio se utilizaron los aBR4, aBR8, aBR12, aBR16 y aBR18, proporcionados y sintetizados por el Laboratorio de “Síntesis y modificación de productos naturales” de la Facultad de Ciencias Químicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. La HBL fue adquirida en la compañía Sigma-Aldrich.

### Especificaciones químicas.

aBR4 ( $C_{33}H_{50}O_7$ ), aBR8 ( $C_{31}H_{48}O_6$ ), aBR12 ( $C_{27}H_{44}O_4$ ), aBR16 ( $C_{29}H_{44}O_5$ ), aBR18 ( $C_{31}H_{48}O_6$ ); cetonas esteroideas polihidroxiladas. Sólidos blancos (polvo o cristales); muy poco soluble en agua; soluble en acetona. pH: Neutro. Son estables bajo almacenamiento a temperatura ambiente, en frasco ámbar bien cerrado bajo atmósfera de argón y protegido de la luz.

## **7.4 Diseño experimental**

El presente proyecto se realizó en el Laboratorio de Investigación del Herbario y Jardín Botánico de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, en el periodo comprendido del mes de noviembre 2013 a octubre 2014.

El trabajo de investigación se llevó a cabo en laboratorio e invernadero para la especie vegetal de maíz criollo e híbrido, y para el jitomate en invernadero.

### **Etapas 1.**

**1.1** Evaluación a los 10 días de crecimiento, de plantas de maíz (criollo e híbrido) en Laboratorio.

Para evaluar los parámetros celulares y de biomasa, el diseño experimental utilizado fue por bloques al azar, 1 lote experimental, 7 tratamientos (aBR4, aBR8, aBR12, aBR16, aBR18, HBL y control), 5 repeticiones y 6 individuos, dando un total de 210 semillas ( $7 \times 6 \times 5 = 210$ ) por cada tipo de maíz.

**1.2** Evaluación a los 40 días de crecimiento, de plantas de maíz (criollo e híbrido) en Invernadero.

El diseño experimental utilizado fue por bloques al azar, 1 lote experimental, con 7 tratamientos (aBR4, aBR8, aBR12, aBR16, aBR18, HBL y control) y 9 individuos, dando un total de 63 plantas ( $7 \times 9 = 63$ ) por cada tipo de maíz. De las 63 plantas por cada tipo de maíz, se utilizaron 3 plantas al azar de cada uno de los 7 tratamientos ( $7 \times 3 = 21$ ). Los parámetros celulares y de biomasa de las plantas se evaluaron en 21 plantas.

**1.3** Aplicaciones foliares a las plantas de maíz (criollo e híbrido) a los 40 días de crecimiento.

Las 42 plantas que restaron en el invernadero sin evaluar, se dividieron en 2 grupos de 21 plantas, utilizando 3 plantas de cada uno de los 7 tratamientos (aBR4, aBR8, aBR12, aBR16, aBR18, HBL y control). A un grupo de 21 plantas se le aplicó aspersion

foliar con los cinco aBR y la HBL. Al otro grupo de 21 plantas solo se le aplicó aspersion foliar con agua.

**1.4** Evaluación a los 90 días de crecimiento, de plantas de maíz (criollo e hibrido) en Invernadero.

Los parámetros de biomasa fueron evaluados en el grupo de plantas que se le aplicó con aspersion foliar con los cinco aBR y la HBL y el grupo de plantas que solo se le aplicó aspersion foliar con agua.

## **Etapas 2.**

**2.1** Evaluación a los 20 días de crecimiento, de plantas de jitomate en Invernadero.

Para la evaluación de los parámetros celulares y de biomasa, el diseño experimental utilizado fue por bloques al azar: 1 lote experimental, con 7 tratamientos (aBR4, aBR8, aBR12, aBR16, aBR18, HBL y control) y 60 individuos ( $7 \times 60 = 420$ ).

**2.2** Evaluación a los 40 días de crecimiento, de plantas de jitomate en Invernadero.

El diseño experimental utilizado fue por bloques al azar, 1 lote experimental, con 7 tratamientos (aBR4, aBR8, aBR12, aBR16, aBR18, HBL y control) y 9 individuos ( $7 \times 9 = 63$ ), dando un total de 63 individuos. De las 63 plantas de jitomate, se utilizaron 3 plantas al azar de cada uno de los 7 tratamientos ( $7 \times 3 = 21$ ). Los parámetros celulares y de biomasa se evaluaron en 21 plantas.

**2.3** Aplicaciones foliares a las plantas de jitomate de 40 días de crecimiento.

Las 42 plantas de jitomate que restaron en el invernadero sin evaluar, se dividieron en 2 grupos de 21 plantas, utilizando 3 plantas de cada uno de los 7 tratamientos (aBR4, aBR8, aBR12, aBR16, aBR18, HBL y control). A un grupo de plantas se le aplicó aspersion foliar con los cinco aBR y HBL. Al otro grupo solo se le aplicó aspersion foliar con agua.

**2.4** Evaluación a los 130 días de crecimiento, de plantas jitomate en Invernadero.

Los parámetros de biomasa fueron evaluados en el grupo de 21 plantas que se le aplicó con aspersión foliar con los cinco aBR y la HBL y el grupo de 21 plantas que solo se le aplicó aspersión foliar con agua.

#### **7.4.1 Parámetros evaluados**

Los parámetros evaluados para maíz y jitomate fueron: celulares y de crecimiento (biomasa y biométricos). Para la evaluación de los parámetros se segmentaron la parte aérea y raíces.

- **Parámetros celulares:** Se midió el área celular (células anexas y células largas) y la densidad estomática por mm<sup>2</sup>.

Se utilizó la técnica de “Impresión celular” que consiste en cubrir con una ligera capa de esmalte transparente el haz de la hoja en la parte media, posteriormente con cinta adhesiva se desprende el esmalte y se coloca en un porta objetos, muestra que se tomó en cada planta. Las muestras obtenidas se observaron en un Microscopio óptico (AxioVision Rel. 4.8) y se tomaron las fotografías (Objetivo 50x) para realizar el análisis de cada imagen; en donde se delimitó 1 mm<sup>2</sup> para la densidad estomática. También se escogieron al azar 10 células largas y 10 células anexas, de las que se obtuvo la media aritmética del área por cada imagen.

- **Parámetros de crecimiento (biomasa y biométricos):** Se evaluó la biomasa fresca y seca de la parte aérea y raíz; y en lo biométrico se midió la longitud de la parte aérea y de raíz principal.

Los pesos frescos fueron obtenidos inmediatamente después de concluido el tiempo determinado de crecimiento, y para pesar cada plántula se empleó una balanza granataría. Para la evaluación de las longitudes se utilizó un flexómetro. Para cuantificar el peso seco, se procedió a secar las plantas en bolsas de papel en una

cámara secadora, durante 48 h a 75 °C y posteriormente se pesó cada uno de los conjuntos por cada réplica, en una balanza analítica. El rendimiento por planta se obtuvo solo de jitomate y se pesó en bolsas de plástico.

Se evaluaron parámetros celulares y de biomasa en las plantas de maíz (criollo e híbrido) a los 10 y 40 días de crecimiento; y en las plantas de jitomate a los 20 y 40 días de crecimiento.

En invernadero se evaluó el crecimiento de las plántulas de jitomate a los 20 días, porque durante esta fase inicial la planta invierte toda su energía en desarrollar nuevos tejidos de absorción y fotosíntesis. La planta de tomate se evaluó a los 40 días debido a que se encuentra en desarrollo vegetativo (Axayacatl, 2012).

El maíz se evaluó cuando apareció la sexta hoja, ya que es cuando la planta cambia de estado vegetativo a estado reproductivo (Presello *et al.*, 2006).

Se evaluaron parámetros de biomasa en las plantas de maíz y jitomate a los 90 y 130 días de crecimiento respectivamente.

## 7.5 Homogeneización de semillas.

Con el fin de reducir las variaciones de masa por cada individuo en los resultados experimentales, se determinó un rango específico de masa de las semillas. Para ello se tomó una muestra aleatoria de 100 semillas que se pesaron en balanza analítica para obtener el rango de la muestra y mediante la fórmula de Sturges (ecuación 1). Se calculó el número de celdas en que se divide la muestra para finalmente determinar el rango más abundante y se trabajó con el rango obtenido. Los resultados fueron 0.43-0.50 g para el maíz criollo y 0.61-0.68 g para el maíz híbrido.

Ecuación 1:  $K= 1 + 3.322 \log (N)$  Donde N: tamaño de muestra (100)

## **7.6 Preparación de soluciones Stock de aBR.**

Solución madre: 1 mg de aBR, se disuelve en 2 mL de acetona al 2% y se afora a 100 mL con agua a una temperatura de  $38\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  obteniendo la solución madre, de la cual se derivarán las demás soluciones. Este procedimiento se realizó hasta obtener la concentración requerida para este trabajo 0.01mg/l. El control consistió en una solución de acetona al 2%, la cual se preparó aforando 2 ml de acetona pura a 100 ml de solución acuosa.

## **7.7 Sistemas de germinación.**

### **7.7.1 Germinación de maíz en laboratorio.**

El sistema utilizado para la germinación de maíz fue el propuesto por Moreno (1984), el cual fue modificado en el laboratorio por Rodríguez *et al.* (2009), debido a la forma en la que crecen las semillas de maíz. El método llamado “Técnica de las muñecas”, consiste en colocar las semillas entre papel, de tal manera que las semillas mantengan humedad constante. En las pruebas de germinación, el papel filtro es el mejor sustrato para proveer humedad adecuada y sostén a las semillas durante su germinación. Las hojas de papel filtro se segmentan y doblan a modo de formar un acordeón y en posición vertical se introducen en los tubos de PVC de 25 cm de altura y 5 cm de diámetro, que a su vez se colocaran en frascos colectores de plástico de 100 ml conteniendo 60 ml de agua, esto para ayudar al desarrollo adecuado de la planta, durante 10 días.

### **7.7.2 Germinación de las semillas de jitomate en invernadero**

Se utilizaron contenedores forestales de 49 conos (modelo M-49), cada cono con medidas de 19x4 cm y con una capacidad de 125 mL. A cada cono se le agregó sustrato (peatmoss y agrolita en la proporción 2:1) y se colocó una semilla. Para mantener la humedad se realizaron riegos, administrando 30 mL de agua cada 24 h hasta culminar los 20 días de germinación.

### **7.7.3 Germinación de las semillas de maíz y jitomate en invernadero**

Para la germinación de maíz y jitomate se utilizaron macetas, de dimensiones: 20 cm diámetro superior externo, 17 cm diámetro inferior y 16 cm de altura. A cada maceta se le agregó 1.5 kg de sustrato (arena y peatmoss, en proporción 2:1), se optó por este sustrato debido a que retiene la humedad y tiene condiciones idóneas para el desarrollo de las plantas, además de tener un pH de 7.0 que se encuentra dentro del rango requerido para maíz y jitomate. La siembra se realizó de manera manual enterrando la semilla a una profundidad de 3 cm (Domínguez *et al.*, 2001) para maíz y de 1 cm para jitomate. Se realizaron riegos cada 48 h, administrando 400 mL de agua hasta los 40 días de crecimiento, posteriormente se agregó 500 mL de agua cada 24 h hasta los 90 días de crecimiento.

### **7.8 Desinfección de las semillas.**

Las semillas de maíz se desinfectaron con el fin de prevenir o disminuir la aparición de hongos en las pruebas de germinación en laboratorio e invernadero, se sumergieron por 30 segundos en solución al 33% de hipoclorito de sodio comercial (Cloralex®).

### **7.9 Tratamiento de las semillas de maíz y jitomate con el aBR.**

Después de homogeneizar y desinfectar las semillas, se siguió con la imbibición de las semillas de maíz y jitomate con el aBR.

El tiempo de imbibición para las semillas de maíz fue de 5 horas, y para las semillas de jitomate fue de 7 horas. Cabe mencionar que los tiempos de imbibición se determinaron en base a un estudio de absorción de las semillas de maíz híbrido realizado por Rodríguez y colaboradores en 2008.

La imbibición se realizó en vasos de plástico con capacidad de 100 ml, colocando en cada uno de los vasos 8 semillas, 30 ml de la concentración 0.01 mg/l de aBR, HBL y la solución control (acetona al 2%). Una vez embebidas las semillas de maíz (criollo e

hibrido) y jitomate se colocaron dentro de una incubadora a  $25 \pm 1$  °C, con una humedad relativa de 50% - 60%.

### 7.10 Germinación

Para la germinación de las semillas de maíz, se realizó en una cámara de germinación (germinadora con fotoperiodo y control-regulador de humedad relativa) en la cual las condiciones de temperatura fueron a  $25 \pm 1$  °C, con 12 horas-luz y 12 horas-oscuridad y una humedad relativa de 50%-60% durante 10 días.

### 7.11 Análisis estadístico

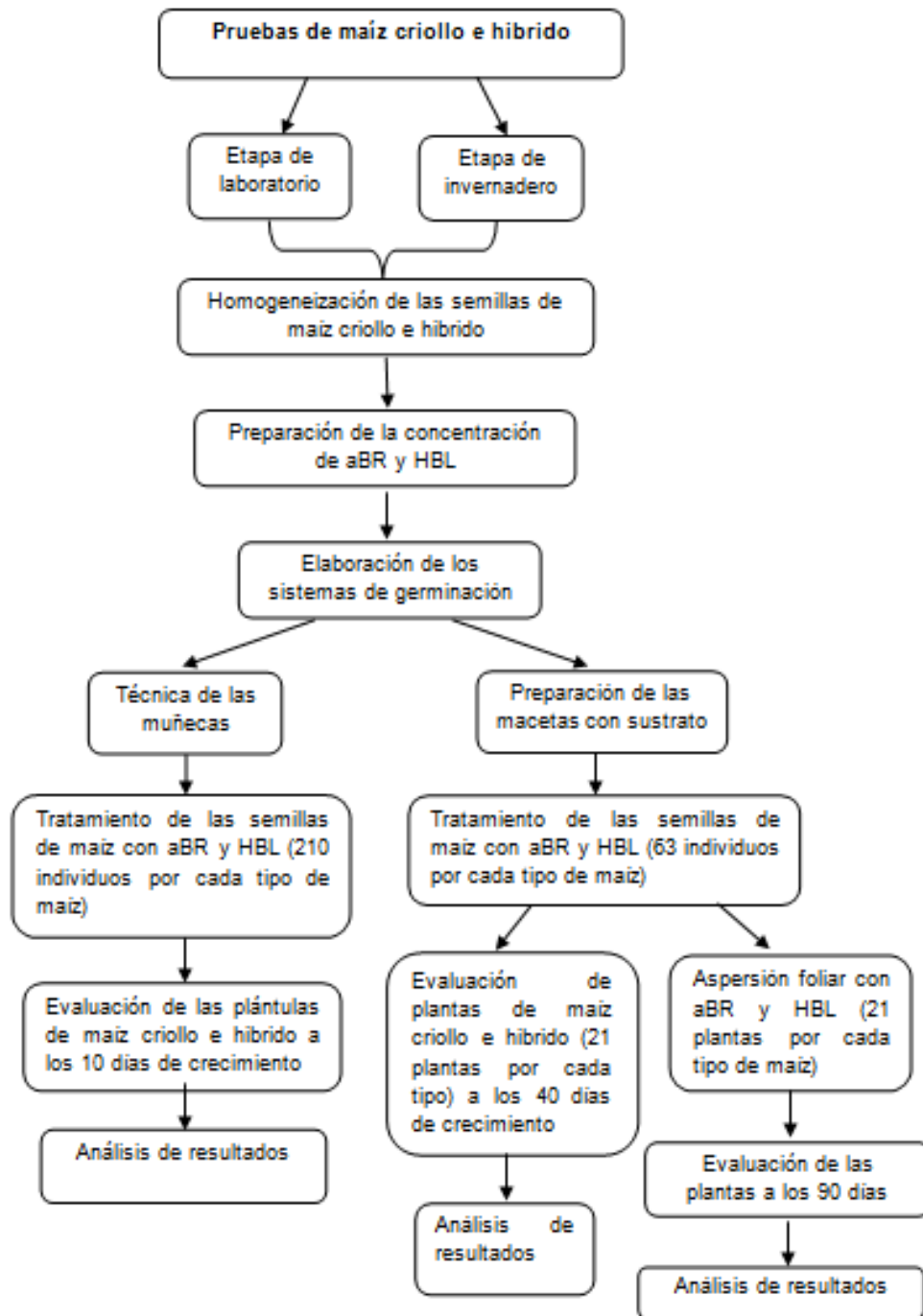
Los resultados obtenidos en cada etapa evaluada se analizaron para determinar cuál aBR fue el que presentó mayor actividad en los parámetros celulares y de biomasa. Se obtuvo la media aritmética para luego poder obtener la desviación estándar y los porcentajes de incremento en las plantas de maíz y tomate. El porcentaje se calculó con la fórmula 1.

$$\text{Fórmula 1. } \% = \frac{(T-NT)}{NT} \times 100$$

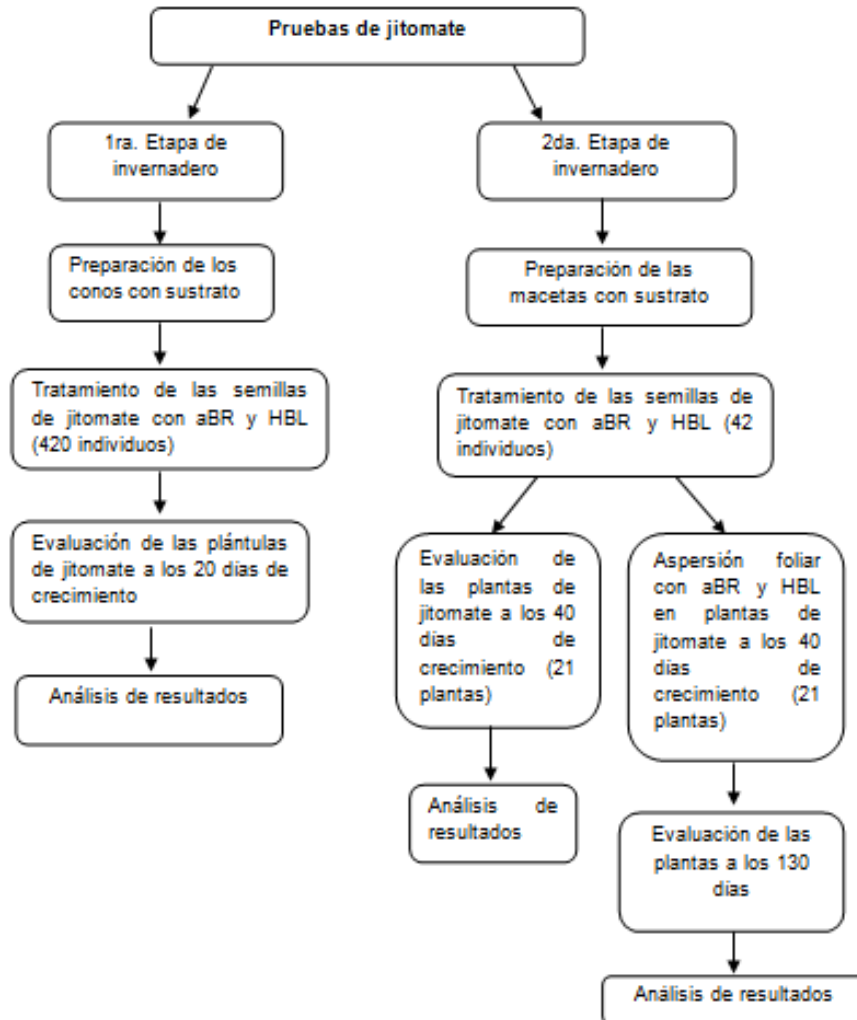
Donde: T= Tratado  
NT= No tratado

Los datos se analizaron estadísticamente mediante t-Student, ANOVA y la prueba de TUKEY a través del programa Prism 5. Ver gráficos y tablas en los resultados.

## 7.12 Diagrama de flujo de material y métodos



**Esquema 1.** Diagrama de flujo de las etapas realizadas en las pruebas con maíz criollo e híbrido.



**Esquema 2.** Diagrama de flujo de las etapas realizadas en las pruebas con tomate.

## 8 RESULTADOS

En este apartado se describen los resultados de las evaluaciones de los 5 aBR y de la HBL en las diferentes etapas de crecimiento de maíz criollo, maíz híbrido y jitomate.

### 8.1 Maíz criollo

#### Efecto de los aBR en maíz criollo a los 10 días en pruebas de laboratorio.

- Parámetros celulares

Densidad estomática: los resultados indican que todas las plantas tratadas con los aBR y HBL aumentaron su número de estomas por  $\text{mm}^2$  significativamente comparándolos con el control. El aBR12 promovió el mayor número de estomas por  $\text{mm}^2$  incrementando de 36.5 a 48.6, que corresponde al 33% con respecto al control, e incrementó un 6% al aumentar de 45.7 a 48.6 estomas por  $\text{mm}^2$  con respecto a la HBL (Tabla 1).

Área celular: todas las plantas tratadas con los aBR y HBL tuvieron en el área de células anexas una diferencia significativa comparándolos con el control. El aBR18 promovió más el incremento en el área celular en un 45.3%, aumentando de 2511.5 a 3651.5  $\mu\text{m}^2$  con respecto al control y un 8.9% con respecto a la HBL incrementando de 3352.7 a 3651.5  $\mu\text{m}^2$ . El área de células largas se incrementó en todos los aBR con respecto al control, con excepción del aBR4. Las células largas más grandes se produjeron por el aBR18 incrementándolas hasta un 41%, aumentando de 2685.8 a 3787.6  $\mu\text{m}^2$  respecto al control y un 11.8% con respecto a la HBL incrementando de 3386.9 a 3787.6  $\mu\text{m}^2$  (Tabla 1).

- Parámetros de biomasa y biométricos

Peso seco: el peso seco de la parte aérea de las plantas se incrementó con respecto al control por todos los tratamientos, sin embargo este incremento solo fue significativo en las plantas tratadas con los aBR12 y aBR18. De estos análogos, el aBR18 fue el que promovió el mayor peso seco de la parte aérea, superando el peso del control en un 96% incrementando de 0.113 g a 0.222 g, y aumentando de 0.168 g a 0.222 g que

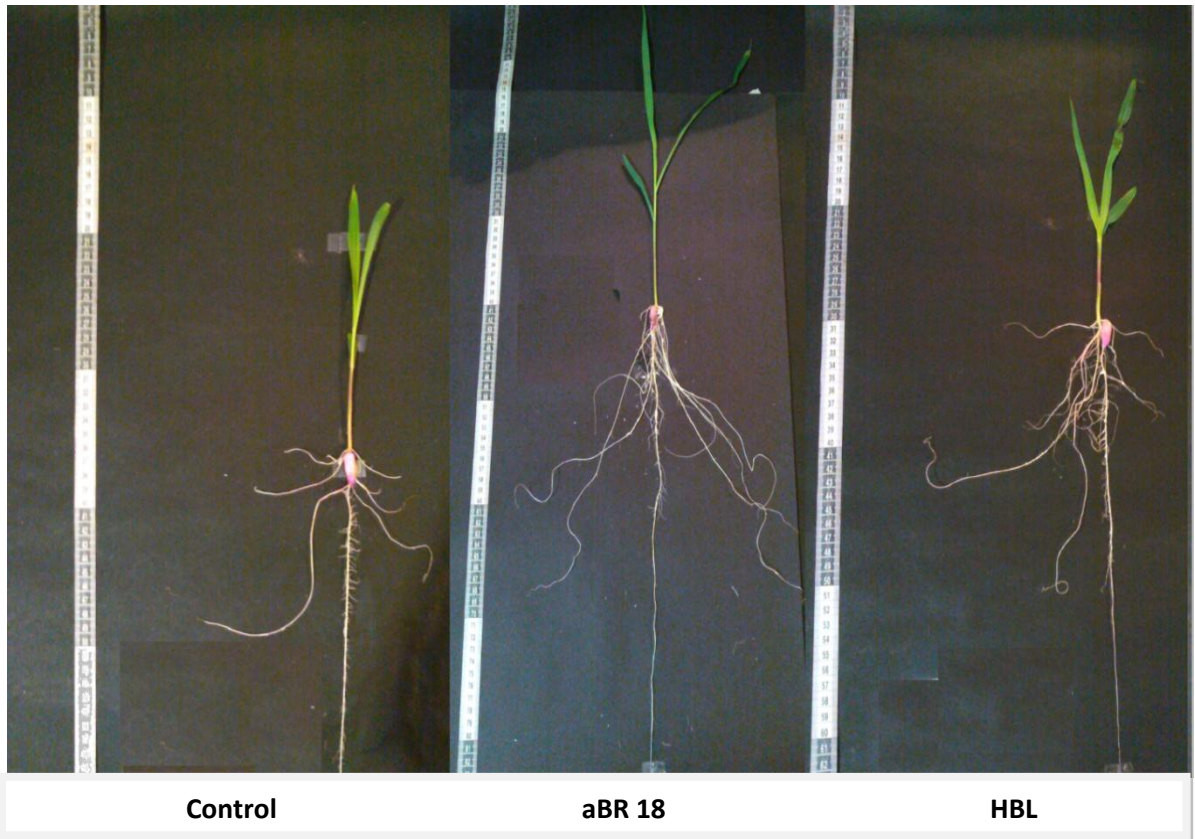
corresponde a un 32.1% con respecto a la HBL. El peso seco de la raíz de las plantas se incrementó en todos los tratamientos con respecto al control, sin embargo este incremento solo fue significativo en las plantas tratadas con los aBR8 y aBR18. El aBR18 promovió el mayor peso seco de la raíz, aumentando de 0.231 g a 0.298 g incrementado un 29% comparándolo con el control, y favoreció el incremento en un 19.2% al aumentar de 0.25 g a 0.289 g con respecto a la HBL (Tabla 1).

Longitud: la longitud de la parte aérea, fue incrementada en todos los tratamientos con respecto al control, con excepción del aBR4, el cuál aumentó pero no fue significativamente diferente. De todos los tratamientos, el aBR18 promovió una mayor longitud de la parte aérea en las plantas, incrementándolas de 27.2 cm a 35.6 cm que corresponde a un 30.8% comparándolo con el control, y de 32.2 cm a 35.6 cm que corresponde al 10.5% con respecto a la HBL. La longitud de la raíz principal de las plantas, se incrementó en todos los tratamientos con respecto al control, sin embargo este incremento solo fue significativo en las plantas tratadas con los aBR12, aBR18 y HBL. De estos últimos compuestos, el aBR18 y la HBL promovieron más la longitud de la raíz principal en las plantas, incrementándolas en un 20.4% al aumentar de 29.4 cm a 35.4 cm en ambos casos, comparándolos con el control (Tabla 1 y Figura 8).

**Tabla 1.** Valores medios de los parámetros celulares, de biomasa y biométricos de las plantas de maíz criollo, a los 10 días (V2)

TRATAMIENTOS	DENSIDAD ESTOMÁTICA mm <sup>2</sup> (±) DE	ÁREA CÉLULAS ANEXAS µm <sup>2</sup> (±) DE	ÁREA CELULAS LARGAS µm <sup>2</sup> (±) DE	PESO SECO PARTE AÉREA g (±) DE	PESO SECO RAÍZ g (±) DE	LONGITUD PARTE AÉREA cm (±) DE	LONGITUD RAÍZ PRINCIPAL cm (±) DE
V2 (10 DÍAS)							
CONTROL	36.5 ± 3.7	2511.5 ± 151.6	2685.8 ± 215.2	0.113 ± 0.01	0.231 ± 0.04	27.2 ± 2.3	29.4 ± 1.3
HBL	45.7 ± 5.0***	3352.7 ± 227.4***	3386.9 ± 151.1**	0.168 ± 0.05	0.25 ± 0.06	32.2 ± 2.3***	35.4 ± 3.6***
aBR 4	46.1 ± 2.8***	2955.0 ± 97.1***	2913.9 ± 155.9	0.138 ± 0.14	0.251 ± 0.06	28.8 ± 2.2	30.5 ± 1.8
aBR 8	45.1 ± 3.6***	3210.0 ± 183.4***	3244.2 ± 162.6**	0.137 ± 0.14	0.285 ± 0.08 *	30.1 ± 4.8**	31.1 ± 3.3*
aBR 12	48.6 ± 2.0***	3054.3 ± 147.8***	3180.4 ± 97.2*	0.184 ± 0.09 *	0.234 ± 0.06	29.5 ± 2.3*	30.5 ± 1.9
aBR 16	45.5 ± 1.3***	3232.3 ± 226.8***	3455.4 ± 121.6***	0.151 ± 0.03	0.235 ± 0.05	31.0 ± 2.9***	30.1 ± 1.5
aBR 18	47.3 ± 4.2***	3651.5 ± 172.8***	3787.6 ± 227.8***	0.222 ± 0.05 ***	0.298 ± 0.04 **	35.6 ± 2.0***+	35.4 ± 1.6***

\*Representan los tratamientos que difieren significativamente del control P≤0.5; + Representan los tratamientos significativamente superiores de HBL P≤0.5.



**Fig. 8.** Maíz criollo de diez días cultivado en laboratorio: control, y tratados con aBR 18 y HBL.

### **Efecto de los aBR en maíz criollo a los 40 días en pruebas de invernadero**

- Parámetros celulares

Densidad estomática: Las plantas tratadas con los aBR4, aBR8, aBR12 y aBR18 tuvieron diferencias significativas en el número de estomas por mm<sup>2</sup>, comparándolas con el control. El aBR18 promovió el mayor número de estomas por mm<sup>2</sup> de 23.3 a 39, que corresponde a un incremento del 67.3% con respecto al control; y con respecto a la HBL aumentó un 41.3%, al incrementar de 27.6 a 39 estomas por mm<sup>2</sup> (Tabla 2).

Área celular: Todas las plantas tratadas con los aBR y HBL tuvieron una diferencia significativa en el área de células anexas comparándolas con el control. El aBR18 promovió el mayor crecimiento de las células anexas, incrementándolas de 4331.2 μm<sup>2</sup> a 5364.1 μm<sup>2</sup>, que corresponde a un 23.8% con respecto al control y aumentó de 5330.2 μm<sup>2</sup> a 5365.1 μm<sup>2</sup> con solo un 0.6% de diferencia comparada con la HBL. El

área de células largas, fue incrementada por todos los aBR y HBL, con excepción del aBR4 que no tuvo diferencia significativa. El aBR18 promovió el mayor crecimiento de las células largas en las plantas, incrementándolas de 4798.5  $\mu\text{m}^2$  a 5638.3  $\mu\text{m}^2$  que corresponde al 17.5% con respecto al control, y se incrementó un 2.7% comparándolo con la HBL al aumentar las células de 5489.9  $\mu\text{m}^2$  a 5638.3  $\mu\text{m}^2$  (Tabla 2).

- Parámetros de biomasa.

Peso seco: El peso seco de la parte aérea y de la raíz se incrementó con respecto al control en todas las plantas tratadas con los aBR y HBL, con excepción del aBR16 que aumentó de peso pero no fue significativamente diferente. De estos análogos, el aBR18 promovió el mayor peso seco de la parte aérea, incrementando de 2.08 g a 3.6 g y aumentó un 73% con respecto al control, e incrementó en un 19.2% comparándolo con la HBL al aumentar el peso de 3.02 g a 3.6 g. De la misma manera el aBR18 aumentó el peso seco de la raíz de 1.55 g a 3.52 g, incrementando un 127% con respecto al control, y promovió el incremento en un 44.8% comparándolo con la HBL al aumentar de 2.43 g a 3.52 g (Tabla 2).

Longitud: La longitud de la parte aérea, fue incrementada en todas las plantas tratadas con los aBR y HBL respecto al control, con excepción del aBR16 que aumentó pero no fue significativamente diferente. De todos los tratamientos, el aBR18 promovió la mayor longitud de la parte aérea en las plantas, incrementándolas de 50.6 cm a 75.6 cm al aumentar en un 49.4% comparándolo con el control, e incrementó el tamaño de la raíz de 65.9 cm a 75.6 cm que corresponde a un 14.7% con respecto a la HBL. La longitud de la raíz principal de todas las plantas tratadas con los aBR y HBL, tuvieron diferencias significativas comparados con el control. Las plantas que tuvieron las raíces más largas fueron las tratadas con el aBR18 que incrementaron de 58.6 cm a 98.6 cm aumentando en un 68.3% con respecto al control, y promovió el incremento en un 11.8% al aumentar de 88.2 cm a 98.6 cm comparado con la HBL (Tabla 2).

**Tabla 2.** Valores medios de los parámetros celulares, de biomasa y biométricos de las plantas de maíz criollo, a los 40 días (V6).

TRATAMIENTOS	DENSIDAD ESTOMÁTICA mm <sup>2</sup> (±) DE	ÁREA CÉLULAS ANEXAS µm <sup>2</sup> (±) DE	ÁREA CELULAS LARGAS µm <sup>2</sup> (±) DE	PESO SECO PARTE AÉREA g (±) DE	PESO SECO RAÍZ g (±) DE	LONGITUD PARTE AÉREA cm (±) DE	LONGITUD RAÍZ PRINCIPAL cm (±) DE
<b>V6 (40 DÍAS)</b>							
CONTROL	23.3 ± 0.5	4331.2 ± 60.12	4798.5 ± 94.4	2.08 ± 0.1	1.55 ± 0.0	50.6 ± 1.5	58.6 ± 6.50
HBL	27.6 ± 1.5	5330.2 ± 52.07***	5489.9 ± 89.9***	3.02 ± 0.2***	2.43 ± 0.0***	65.9 ± 1.6***	88.2 ± 2.82 ***
aBR 4	29.3 ± 1.5*	4958.6 ± 165.95***	5179.8 ± 140.5	2.9 ± 0.1***	2.84 ± 0.0***+	66.0 ± 3.8***	87.9 ± 2.40 ***
aBR 8	29.6 ± 2.5*	4994.6 ± 169.09***	5326.8 ± 255.4***	2.98 ± 0.1***	3.22 ± 0.0***+	62.3 ± 4.0**	85.2 ± 4.8 ***
aBR 12	32 ± 1.7**	4981.8 ± 105.88***	5434.5 ± 134**	3.38 ± 0.0***	1.83 ± 0.1*	66.5 ± 3.7***	88.6 ± 2.88 ***
aBR 16	26.3 ± 2.0	5160.1 ± 140.81***	5248.2 ± 113*	2.30 ± 0.0	1.71 ± 0.1	58.5 ± 1.4	82.7 ± 2.67 ***
aBR 18	39 ± 3***+	5365.1 ± 56.39***	5638.3 ± 58.2***	3.60 ± 0.0***+	3.52 ± 0.0***+	75.6 ± 3.6***+	98.6 ± 3.9 ***

\*Representan los tratamientos que difieren significativamente del control P≤0.5; + Representan los tratamientos significativamente superiores de HBL P≤0.5

**Efecto de los aBR en maíz criollo a los 90 días (sin aspersión foliar) en pruebas de invernadero.**

- Parámetros de biomasa.

Peso seco: El peso seco de la parte aérea y de raíz de las plantas tratadas se incrementó significativamente con respecto al control, para todos los tratamientos de aBR y HBL, sin embargo este incremento no fue significativo con el aBR16. De estos análogos, el aBR18 promovió el mayor peso seco de la parte aérea, superando el peso del control en un 42.1% al aumentar de 26.63 g a 37.8 g, y aumentó el peso de 30.46 g a 37.8 g que corresponde a un 24.3% con respecto a la HBL. De la misma manera el aBR8 promovió el mayor peso seco de la raíz, incrementándolo de 8.23 g a 12.37 g que corresponde a un 50.3% comparándolo con el control, e incrementó en un 24% con respecto a la HBL al aumentar el peso seco de 9.97 g a 12.37 g (Tabla 3).

Longitud: La longitud de la parte aérea y la longitud de la raíz principal fueron incrementadas significativamente en todas las plantas tratadas con aBR y HBL con respecto al control. De todos los tratamientos, el aBR18 promovió la mayor longitud de

la parte aérea en las plantas, incrementándolas de 94.1 cm a 120.6 cm que corresponde al 28.1% comparándolo con el control, y aumentó la longitud aérea de 109.6 cm a 120.6 cm, incrementando un 10% con respecto a la HBL. De la misma manera el aBR12 promovió la mayor longitud de la raíz principal comparándola con el control un 29.1% al incrementar de 86.4 cm a 111.6 cm, y con respecto a la HBL aumentó un 8.6% al incrementar de 102.7 cm a 111.6 cm (Tabla 3).

**Tabla 3.** Valores medios de los parámetros de biomasa y biométricos de las plantas de maíz criollo, a los 90 días (VT) sin aspersion.

TRATAMIENTOS	PESO SECO PARTE AÉREA g (±) DE	PESO SECO RAÍZ g (±) DE	LONGITUD PARTE AÉREA cm (±) DE	LONGITUD RAÍZ PRINCIPAL cm (±) DE
<b>VT (90 DÍAS) SIN ASPERSIÓN</b>				
CONTROL	26.63 ± 0.3	8.23 ± 0.0	94.1 ± 1.2	86.4 ± 1.0
HBL	30.46 ± 0.3***	9.97 ± 0.1***	109.6 ± 2.5***	102.7 ± 1.1***
aBR 4	29.13 ± 0.3**	10.13 ± 0.2***	111.3 ± 2.0***	100.4 ± 1.2***
aBR 8	28.93 ± 0.8**	12.37 ± 0.3*** +	106.6 ± 0.5***	94.9 ± 1.1***
aBR 12	31.3 ± 0.6***	9.77 ± 0.0***	113.6 ± 1.5***	111.6 ± 1.8***+
aBR 16	28 ± 0.6	8.47 ± 0.1	102.3 ± 1.5***	92 ± 0.8**
aBR 18	37.8 ± 0.7***+	10.23 ± 0.2***	120.6 ± 1.5***+	104.5 ± 1.3***

\*Representan los tratamientos que difieren significativamente del control  $P \leq 0.5$ ; + Representan los tratamientos significativamente superiores de HBL  $P \leq 0.5$ .

### Efecto de aBR en maíz criollo a los 90 días (con aspersion foliar) en pruebas de invernadero.

- Parámetros de biomasa.

Peso seco: El peso seco de la parte aérea y de raíz de las plantas se incrementó significativamente con respecto al control en todos los tratamientos con los aBR y HBL. De todos los análogos probados, el aBR18 fue el que promovió el mayor peso seco de la parte aérea, superando el peso del control en un 46.8% al incrementar de 26.63 g a 39.1 g, y aumentó un 22.3% con respecto a la HBL al promover el peso de 31.96 g a 39.1 g. El aBR8 promovió el mayor peso seco de la raíz, incrementando de 8.23 g a

13.57 g que corresponde a un 64.8% comparado con el control, y se incrementó en un 33.4% al aumentar el peso de 10.17 g a 13.57 g con respecto a la HBL (Tabla 4).

Longitud: La longitud de la parte aérea y la longitud de la raíz principal fueron incrementadas de forma significativa en todas las plantas tratadas con los aBR y HBL con respecto al control. De todos los tratamientos empleados, el aBR18 promovió la mayor longitud de la parte aérea en las plantas, incrementándolas en un 29.5% al aumentar de 94.1 cm a 121.9 cm comparándolo con el control, e incrementó un 10.6% con respecto a la HBL al incrementar de 110.2 cm a 121.9 cm. De la misma manera el aBR12 incrementó la mayor longitud de la raíz principal comparándola con el control en un 29.6%, al aumentar de 86.4 cm a 112 cm, y con respecto a la HBL aumentó un 8.6% al incrementar la raíz de 103.1 cm a 112 cm (Tabla 4 y Figura 9).

**Tabla 4.** Valores medios de los parámetros de biomasa y biométricos de las plantas de maíz criollo, a los 90 días (VT) con aspersión.

TRATAMIENTOS	PESO SECO PARTE AÉREA g (±) DE	PESO SECO RAÍZ g (±) DE	LONGITUD PARTE AÉREA cm (±) DE	LONGITUD RAÍZ PRINCIPAL cm (±) DE
<b>VT (90 DÍAS) CON ASPERSIÓN</b>				
CONTROL	26.63 ± 0.3	8.23 ± 0.0	94.1 ± 1.2	86.4 ± 1
HBL	31.96 ± 0.5***	10.17 ± 0.0***	110.2 ± 0.1***	103.1 ± 0.0***+
aBR 4	30.36 ± 0.3***	10.97 ± 0.1***	112 ± 1.1***	101.2 ± 0.1***
aBR 8	31.16 ± 0.3***	13.57 ± 0.0***+	107.6 ± 0.3***	95.5 ± 0.1***
aBR 12	33.23 ± 0.2***+	10.07 ± 0.0***	114.3 ± 0.2***+	112 ± 0.0***+
aBR 16	29.56 ± 0.4***	9.47 ± 0.0***	103.9 ± 0.2***	93.7 ± 0.1***
aBR 18	39.1 ± 0.1***+	11.43 ± 0.0***+	121.9 ± 0.0***+	105.1 ± 0.0***+

\*Representan los tratamientos que difieren significativamente del control  $P \leq 0.5$ ; + Representan los tratamientos significativamente superiores de HBL  $P \leq 0.5$ .



**Fig. 9.** Maíz criollo de novena días de crecimiento en invernadero: control, y tratados con aBR18 y HBL.

### **Efecto comparativo de los aBR en maíz criollo a los 90 días con y sin aspersion foliar en pruebas de invernadero.**

Para evaluar las diferencias de tamaño y peso entre las plantas asperjadas y las no asperjadas, con los tratamientos de los aBR y HBL se realizó una prueba t-Student.

- Parámetros de biomasa.

Peso seco: El peso seco de la parte aérea varió entre el maíz asperjado y el no asperjado. Sin embargo los incrementos fueron significativos solo en las plantas tratadas con los aBR4, aBR12 y HBL. El peso seco de la raíz tuvo incrementos en el maíz asperjado a diferencia del no asperjado, sin embargo la diferencia fue significativa con los aBR8, aBR12, aBR16 y aBR18. Por lo que la aspersion foliar con el aBR12

promueve el aumento de biomasa seca en ambas partes de la planta tanto parte aérea y raíz (Tabla 5).

Peso seco: El peso seco de la parte aérea varió entre el maíz asperjado y el no asperjado. Sin embargo los incrementos fueron significativos solo en las plantas asperjadas con los aBR4, aBR12 y HBL. El peso seco de la raíz tuvo incrementos significativos en el maíz asperjado a diferencia del no asperjado, con los aBR8, aBR12, aBR16 y aBR18. Por lo que la aspersion foliar con el aBR12 promueve el aumento de biomasa seca en ambas partes de la planta tanto de la parte aérea y la raíz (Tabla 5).

Longitud: La aspersion foliar con el aBR8 promovió el crecimiento significativo de la parte aérea en las plantas de maíz asperjadas, a diferencia de las plantas que no fueron asperjadas, cabe mencionar que este análogo fue el único de toda la serie que mostró diferencia significativa, a pesar de que todos los análogos superaron el crecimiento con respecto al control. La longitud de la raíz principal fue más grande en las plantas tratadas con aBR y HBL, no obstante esta diferencia no fue significativa entre el maíz criollo asperjado y el maíz criollo sin asperjar (Tabla 5).

**Tabla 5.** Valores medios de los parámetros de biomasa y biométricos de las plantas de maíz criollo, a los 90 días (VT) con aspersion y sin aspersion.

TRATAMIENTOS	PESO SECO PARTE AÉREA g (±) DE		PESO SECO RAÍZ g (±) DE		LONGITUD PARTE AÉREA cm (±) DE		LONGITUD RAÍZ PRINCIPAL cm (±) DE	
	VT (90 DÍAS)							
	SIN ASPERSION	CON ASPERSION	SIN ASPERSION	CON ASPERSION	SIN ASPERSION	CON ASPERSION	SIN ASPERSION	CON ASPERSION
CONTROL	26.63 ± 0.3	26.63 ± 0.3+	8.23 ± 0.0	8.23 ± 0.0+	94.1 ± 1.2	94.1 ± 1.2+	86.4 ± 1.0	86.4 ± 1+
HBL	30.46 ± 0.3***b	31.96 ± 0.5***a	9.97 ± 0.1***	10.17 ± 0.0***	109.6 ± 2.5***	110.2 ± 0.1***	102.7 ± 1.1***	103.1 ± 0.0***+
aBR 4	29.13 ± 0.3**b	30.36 ± 0.3***a	10.13 ± 0.2***	10.97 ± 0.1***	111.3 ± 2.0***	112 ± 1.1***	100.4 ± 1.2***	101.2 ± 0.1***
aBR 8	28.93 ± 0.8**	31.16 ± 0.3***	12.37 ± 0.3*** + <sup>b</sup>	13.57 ± 0.0***+ <sup>a</sup>	106.6 ± 0.5***b	107.6 ± 0.3***a	94.9 ± 1.1***	95.5 ± 0.1***
aBR 12	31.3 ± 0.6***b	33.23 ± 0.2***+ <sup>a</sup>	9.77 ± 0.0***b	10.07 ± 0.0***a	113.6 ± 1.5***	114.3 ± 0.2***+	111.6 ± 1.8***+	112 ± 0.0***+
aBR 16	28 ± 0.6	29.56 ± 0.4***	8.47 ± 0.1 <sup>b</sup>	9.47 ± 0.0***a	102.3 ± 1.5***	103.9 ± 0.2***	92 ± 0.8**	93.7 ± 0.1***
aBR 18	37.8 ± 0.7***+	39.1 ± 0.1***+	10.23 ± 0.2***b	11.43 ± 0.0***+ <sup>a</sup>	120.6 ± 1.5***+	121.9 ± 0.0***+	104.5 ± 1.3***	105.1 ± 0.0***+

\*Representan los tratamientos que difieren significativamente del control P≤0.5; + Representan los tratamientos significativamente superiores de HBL P≤0.5. <sup>a y b</sup> indican diferencias significativas entre los valores medios de los tratamientos por etapas.

### **Biomasa seca total (parte aérea y raíz) de maíz criollo.**

Los resultados de la biomasa seca total de las plantas tratadas a los 10 días con los aBR y la HBL en pruebas de laboratorio, indican que aunque todas las plantas tratadas promovieron el aumento de biomasa seca comparándolas con el control, solo el aBR18 tuvo diferencias significativas incrementando el peso seco de 0.34 g a 0.52 g, lo que corresponde a un 52.9% con respecto al control, y aumentó un 26.8% comparándolo con la HBL, incrementando la biomasa total de 0.41 g a 0.52 g.

El efecto de los aBR en maíz criollo a los 40 días en pruebas de invernadero, demuestran que hubo diferencias significativas en la biomasa seca total de todas las plantas tratadas con los aBR y la HBL con respecto al control, con excepción del aBR16. El aBR18 promovió el mayor aumento de biomasa comparándolo con el control al aumentar en un 97.2%, incrementando de 3.6 g a 7.1 g, y aumentó con respecto a la HBL en un 31.3% al incrementar de 5.4 g a 7.1 g.

La biomasa seca total de las plantas tratadas con los aBR y la HBL a los 90 días sin aspersión foliar en invernadero, indica que en todos los tratamientos el incremento fue significativo con respecto al control, con excepción del aBR16. El aBR18 promovió el mayor aumento de la biomasa seca en las plantas con respecto al control con un 37.9% al incrementar el peso de 34.8 g a 48 g, y favoreció el incremento un 20% comparado con la HBL, al aumentar de 40 g a 48 g.

El efecto de los aBR y la HBL en las plantas de maíz con aspersión foliar a los 90 días en pruebas de invernadero, indican que todos los tratamientos tuvieron diferencias significativas con respecto al control en la biomasa seca total. De todos los análogos, el aBR18 promovió la mayor biomasa total en las plantas al ser asperjado comparado con el control, incrementando en un 45.1% al aumentar de 34.8 g a 50.5 g, y se incrementó con respecto a la HBL en un 19.9%, promoviendo una diferencia de 42.1 g a 50.5 g.

La prueba T-Student indica que las diferencias entre los tratamientos de las plantas de maíz criollo asperjadas y las no asperjadas son significativas, por lo que la aplicación de la aspersión foliar promovió el aumento de la biomasa seca total.

**Tabla 6.** Valores medios del parámetro de biomasa seca total de las plantas de maíz criollo, a los 90 días (VT) con aspersión foliar y sin aspersión foliar.

BIOMASA SECA TOTAL g (±) DE				
TRATAMIENTOS	V2 (10 DÍAS)	V6 (40 DÍAS)	VT SIN ASPERSIÓN (90 DÍAS)	VT CON ASPERSIÓN (90 DÍAS)
CONTROL	0.34 ± 0.04	3.6 ± 0.18	34.8 ± 0.40	34.8 ± 0.40
HBL	0.41 ± 0.08	5.4 ± 0.26***	40.0 ± 0.49***b	42.1 ± 0.51***a
aBR 4	0.38 ± 0.15	5.7 ± 0.15***	39.2 ± 0.13***b	41.3 ± 0.11***a
aBR 8	0.42 ± 0.16	6.2 ± 0.18***+	41.3 ± 1.11***b	44.7 ± 0.32***a+
aBR 12	0.41 ± 0.13	5.2 ± 0.18***	41.0 ± 0.55***b	43.3 ± 0.2***a+
aBR 16	0.38 ± 0.06	4.0 ± 0.12	36.4 ± 0.73 <sup>b</sup>	39.0 ± 0.45***a
aBR 18	0.52 ± 0.07***+	7.1 ± 0.04***+	48.0 ± 0.55***b+	50.5 ± 0.05***a+

\*Representan los tratamientos que difieren significativamente del control  $P \leq 0.5$ ; + tratamientos significativamente superiores de HBL  $P \leq 0.5$ .<sup>a y b</sup> indican diferencias significativas entre los valores medios de los tratamientos por etapas

## 8.2 Maíz híbrido

### Efecto de los aBR en maíz híbrido a los 10 días en pruebas de laboratorio.

- Parámetros celulares

Densidad estomática: Los resultados obtenidos en todas las plantas tratadas con los aBR y HBL, fueron significativamente diferentes comparados con el control. El aBR12 promovió el mayor número de estomas por  $\text{mm}^2$ , incrementando con respecto al control en un 75%, al aumentar de 32.4 a 56.7 estomas, y favoreció el incremento con respecto a la HBL en un 31.8%, al aumentar de 43 a 56.7 estomas por  $\text{mm}^2$  (Tabla 7).

Área celular: El área de las células anexas en todas las plantas tratadas con los aBR y la HBL tuvieron diferencias significativas comparadas con el control. El aBR8 promovió el mayor incremento en el área celular con respecto al control en un 26.4%, al aumentar de  $2675.4 \mu\text{m}^2$  a  $3383.6 \mu\text{m}^2$ , y con respecto a la HBL se incrementó en un 9.2%, al aumentar de  $3095.7 \mu\text{m}^2$  a  $3383.6 \mu\text{m}^2$ . El área de las células largas se incrementó significativamente para todos los aBR y la HBL respecto al control, con excepción del aBR18. Las células largas más grandes se produjeron por el aBR4 incrementando en un 20% con respecto al control, al aumentar de  $2830.8 \mu\text{m}^2$  a  $3397.5$

$\mu\text{m}^2$ , y al favorecer el incremento del área de células largas con respecto a la HBL en un 4.5%, al aumentar de 3249.6  $\mu\text{m}^2$  a 3397.5  $\mu\text{m}^2$  (Tabla 7).

- Parámetros de biomasa.

**Peso seco:** El peso seco de la parte aérea de las plantas se incrementó con respecto al control por todos los tratamientos, sin embargo solo fue significativo en las plantas tratadas con el aBR4 y HBL. La HBL tuvo el mayor peso seco de la parte aérea, superando el peso del control en un 61.3%, al incrementar de 0.088 g a 0.142 g. El peso seco de la raíz de las plantas se incrementó en todos los tratamientos con respecto al control, sin embargo solo fue significativo en las plantas tratadas con los aBR8 y aBR18. El aBR8 promovió el mayor peso seco de la raíz comparado con el control, al incrementar en un 35% al aumentar de 0.221 g a 0.30 g, y favoreció el incremento con respecto a la HBL incrementando en un 36.3%, al aumentar de 0.22 g a 0.30 g (Tabla 7).

**Peso seco:** El peso seco de la parte aérea de las plantas se incrementó con respecto al control por todos los tratamientos, sin embargo solo fue significativo en las plantas tratadas con el aBR4 y la HBL. La HBL tuvo el mayor peso seco de la parte aérea, superando el peso del control en un 61.3%, al incrementar de 0.088 g a 0.142 g. El peso seco de la raíz de las plantas se incrementó en todos los tratamientos con respecto al control, sin embargo solo fue significativo en las plantas tratadas con los aBR8 y aBR18. El aBR8 promovió el mayor peso seco de la raíz, comparado con el control al aumentar de 0.221 g a 0.30 g, lo que corresponde a un 35%, y promovió un 36.3% el incremento con respecto a la HBL al aumentar de 0.22 g a 0.30 g (Tabla 7).

**Longitud:** La longitud de la parte aérea, fue incrementada en todos los tratamientos con respecto al control, pero fue significativo solo para los aBR4, aBR12 y HBL. El aBR12 promovió la mayor longitud de la parte aérea en las plantas, incrementando un 18.9% comparado con el control, al aumentar de 27.4 cm a 32.6 cm, y favoreció el crecimiento de la parte aérea con respecto a la HBL un 7.5%, al aumentar de 30.3 cm a 32.6 cm. La longitud de la raíz principal de las plantas, se incrementó en todos los tratamientos con respecto al control, sin embargo solo fue significativo en las plantas tratadas con los aBR4, aBR12 y aBR18. El aBR12 promovió la mayor longitud de la raíz principal en

las plantas, incrementando en un 26.5% comparado con el control, al aumentar de 29.4 cm a 37.2 cm, y favoreció el incremento de la raíz con respecto a la HBL en un 16.9%, al aumentar de 31.8 cm a 37.2 cm (Tabla 7 y Figura 10).

**Tabla 7.** Valores medios de los parámetros celulares, biomasa y biométricos de las plantas de maíz híbrido, a los 10 días (V2).

TRATAMIENTOS	DENSIDAD ESTOMÁTICA mm <sup>2</sup> (±) DE	ÁREA CÉLULAS ANEXAS µm <sup>2</sup> (±) DE	ÁREA CELULAS LARGAS µm <sup>2</sup> (±) DE	PESO SECO PARTE AÉREA g (±) DE	PESO SECO RAÍZ g (±) DE	LONGITUD PARTE AÉREA cm (±) DE	LONGITUD RAÍZ PRINCIPAL cm (±) DE
V2 (10 DÍAS)							
CONTROL	32.4 ± 2.9	2675.4 ± 267.7	2830.8 ± 165.3	0.088 ± 0.02	0.221 ± 0.05	27.4 ± 2.7	29.4 ± 1.3
HBL	43.0 ± 2.6***	3095.7 ± 209.6***	3249.6 ± 174.6***	0.142 ± 0.02*	0.224 ± 0.03	30.3 ± 2.4*	31.8 ± 2.6
aBR 4	50.9 ± 2.7***+	3091.4 ± 222.8***	3397.5 ± 156.5***	0.126 ± 0.06*	0.26 ± 0.06	31.7 ± 7.0***	33.2 ± 7.7**
aBR 8	40.7 ± 2.8***	3383.6 ± 245.3***+	3169.8 ± 223.4***	0.109 ± 0.02	0.30 ± 0.08***	29.2 ± 3.2	30.3 ± 3.5
aBR 12	56.7 ± 3.5***+	2724.0 ± 263.1***	2884.7 ± 226.2	0.116 ± 0.03	0.266 ± 0.06	32.6 ± 3.5***	37.2 ± 4.6***
aBR 16	45.4 ± 3.5***	3225.7 ± 197.6***	3283.4 ± 220.8***	0.115 ± 0.01	0.247 ± 0.05	27.4 ± 2.2	31.0 ± 1.7
aBR 18	46.1 ± 3.9***+	3329.5 ± 299.0***+	3295.2 ± 184.1***	0.121 ± 0.03	0.286 ± 0.02***	28.5 ± 2.6	35.0 ± 2.3***

\*Representan los tratamientos que difieren significativamente del control P≤0.5; + Representan los tratamientos significativamente superiores de HBL P≤0.5.



**Fig. 10.** Maíz híbrido de diez días cultivado en laboratorio: control, y tratados con aBR12 y HBL.

## **Efecto de los aBR en maíz híbrido a los 40 días en pruebas de invernadero.**

- **Parámetros celulares**

Densidad estomática: Las plantas tratadas con los aBR y HBL tuvieron mayor cantidad de estomas por mm<sup>2</sup> con respecto al control, pero esta diferencia fue significativa solo en los aBR4, aBR12 y aBR18. El aBR18 promovió el mayor número de estomas por mm<sup>2</sup> con respecto al control, incrementando en un 68%, al aumentar de 25 a 42 estomas, y favoreció el incremento con respecto a la HBL en un 55.5%, al aumentar de 27 a 42 estomas por mm<sup>2</sup> (Tabla 8).

Área celular: Los resultados indican que todas las plantas tratadas con los aBR y HBL tuvieron una diferencia significativa comparándolas con el control en el área de células anexas, con excepción del aBR12. Los aBR8 y aBR18 promovieron el mayor crecimiento de las células anexas con respecto al control, incrementando en un 23.6%, al aumentar de 4365.56  $\mu\text{m}^2$  a 5399.07  $\mu\text{m}^2$ , y favorecieron el incremento del área de las células anexas comparada con la HBL en un 7.4%, al aumentar de 5024.65  $\mu\text{m}^2$  a 5399.07  $\mu\text{m}^2$ . El área de las células largas, fue incrementada significativamente por todos los aBR y HBL, con excepción del aBR12. El aBR8 promovió el mayor crecimiento de las células largas en las plantas, incrementándolas con respecto al control en un 15.8%, al aumentar de 4850.82  $\mu\text{m}^2$  a 5622.05  $\mu\text{m}^2$ , y favoreció el incremento comparado con la HBL en un 3.5%, al aumentar de 5430.18  $\mu\text{m}^2$  a 5622.05  $\mu\text{m}^2$  (Tabla 8).

- **Parámetros de biomasa.**

Peso seco: El peso seco de la parte aérea fue incrementado significativamente en todas las plantas tratadas con los aBR y HBL con respecto al control, con excepción del aBR12 que aunque aumentó de peso no fue significativamente diferente. De estos análogos, el aBR18 promovió el mayor peso seco de la parte aérea, incrementando con respecto al control en un 63.6%, al aumentar de 1.54 g a 2.52 g, y favoreció el aumento de peso seco comparado con la HBL en un 3.2%, al aumentar de 2.44 g a 2.52 g. El peso seco de la raíz de las plantas se incrementó significativamente en todos los tratamientos con respecto al control, sin embargo este incremento no fue significativo

en las plantas tratadas el aBR16. El aBR18 promovió el mayor peso seco de la raíz comparado con el control en un 97.1% al aumentar de 1.77 g a 3.49 g, y favoreció el incremento de peso seco de la raíz con respecto a la HBL en un 55.1%, al aumentar de 2.25 g a 3.49 g (Tabla 8).

Longitud: La longitud de la parte aérea, fue incrementada en todas las plantas tratadas con los aBR y HBL respecto al control, con excepción del aBR16 que aumentó pero no fue significativamente diferente. De todos los tratamientos, el aBR18 promovió la mayor longitud de la parte aérea en las plantas, incrementando en un 48.1% comparado con el control, al aumentar de 48.8 cm a 72.3 cm, y favoreció el crecimiento con respecto a la HBL en un 12.6%, al aumentar de 64.2 cm a 72.3 cm. La longitud de la raíz principal de todas las plantas tratadas con los aBR y HBL tuvieron diferencias significativas comparadas con el control. Las plantas que tuvieron las raíces más largas, fueron las tratadas con el aBR18 que incrementó en un 41.6% con respecto al control, al aumentar de 66.2 cm a 93.8 cm, y favoreció el crecimiento de raíz comparado con la HBL en un 10.8%, al aumentar de 84.6 cm a 93.8 cm (Tabla 8).

**Tabla 8.** Valores medios de los parámetros celulares, de biomasa y biométricos de las plantas de maíz híbrido, a los 40 días (V6).

TRATAMIENTOS	DENSIDAD ESTOMÁTICA mm <sup>2</sup> (±) DE	ÁREA CÉLULAS ANEXAS μm <sup>2</sup> (±) DE	ÁREA CELULAS LARGAS μm <sup>2</sup> (±) DE	PESO SECO PARTE AÉREA g (±) DE	PESO SECO RAÍZ g (±) DE	LONGITUD PARTE AÉREA cm (±) DE	LONGITUD RAÍZ PRINCIPAL cm (±) DE
<b>V6 (40 DÍAS)</b>							
CONTROL	25 ± 1.73	4365.56 ± 190.94	4850.82 ± 128.72	1.54 ± 0.06	1.77 ± 0.03	48.8 ± 3.3	66.2 ± 6.1
HBL	27 ± 2	5024.65 ± 239.74**	5430.18 ± 143.62***	2.44 ± 0.05***	2.25 ± 0.05***	64.2 ± 2.4***	84.6 ± 2.9***
aBR 4	36.7 ± 2.33***+	5102.64 ± 158.16***	5411.87 ± 146.56***	1.91 ± 0.06**	2.9 ± 0.15***	62.1 ± 2.5***	88.8 ± 2.2***
aBR 8	25.3 ± 2.33	5399.07 ± 33.74***	5622.05 ± 94.07***	1.95 ± 0.12**	3.28 ± 0.07***	49 ± 4**	81.1 ± 0.7**
aBR 12	37 ± 1***+	4373.66 ± 152.34	4866.49 ± 55.05	1.78 ± 0.08	2.65 ± 0.15***	62.8 ± 2.2***	90.9 ± 3.3***
aBR 16	25.7 ± 1.52	5140.64 ± 155.44***	5439.14 ± 58.65***	1.89 ± 0.15**	1.93 ± 0.10	51.1 ± 2.4	80.1 ± 2.0**
aBR 18	42 ± 1***+	5374.51 ± 85.1***	5565.46 ± 147.04***	2.52 ± 0.08***	3.49 ± 0.05***	72.3 ± 2.6***+	93.8 ± 3.7***

\*Representan los tratamientos que difieren significativamente del control P≤0.5; + Representan los tratamientos significativamente superiores de HBL P≤0.5.

## **Efecto de los aBR en maíz híbrido a los 90 días (sin aspersión foliar) en pruebas de invernadero.**

- Parámetros de biomasa.

**Peso seco:** El peso seco de la parte aérea de las plantas se incrementó significativamente con respecto al control por todos los tratamientos de aBR y HBL. De estos análogos, el aBR18 promovió el mayor peso seco de la parte aérea, superando el peso del control en un 42.4%, al aumentar de 25 g a 35.6 g, y favoreció el aumento con respecto a la HBL en un 5.9%, al aumentar de 33.6 g a 35.6 g. El peso seco de la raíz aumentó significativamente en todos los tratamientos, con excepción del aBR16. El aBR8 promovió en las plantas el mayor peso seco de la raíz, aumentando en un 32.9% al incrementar el peso de 7.9 g a 10.5 g con respecto al control, y favoreció en un 16.6% el peso seco con respecto a la HBL, al aumentar de 9 g a 10.5 g (Tabla 9).

**Longitud:** La longitud de la parte aérea fue incrementada en todas las plantas tratadas con aBR y HBL con respecto al control, pero dicho incremento fue significativo para los aBR12, aBR18 y HBL. De todos los tratamientos, el aBR18 promovió la mayor longitud de la parte aérea en las plantas, incrementando en un 30.9% comparado con el control, al aumentar de 87.5 cm a 114.6 cm, y favoreció el crecimiento con respecto a la HBL en un 4.5%, al aumentar de 109.6 cm a 114.6 cm. La longitud de la raíz principal fue incrementada significativamente por todos los tratamientos con excepción del aBR16. Las plantas tratadas con el aBR12 tuvieron la mayor longitud de la raíz principal, incrementando en un 24.6% comparado con el control, al aumentar de 86.8 cm a 108.2 cm, y favoreció el crecimiento en un 9.6% con respecto a la HBL, al aumentar de 98.7 cm a 108.2 cm (Tabla 9).

**Tabla 9.** Valores medios de los parámetros de biomasa y biométricos de las plantas de maíz híbrido, a los 90 días sin aspersión (VT).

TRATAMIENTOS	PESO SECO PARTE AÉREA g (±) DE	PESO SECO RAÍZ g (±) DE	LONGITUD PARTE AÉREA cm (±) DE	LONGITUD RAÍZ PRINCIPAL cm (±) DE
<b>VT SIN ASPERSIÓN (90 DÍAS)</b>				
CONTROL	25 ± 0.2	7.9 ± 0.01	87.5 ± 0.6	86.8 ± 0.26
HBL	33.6 ± 0.15***	9 ± 0.01***	109.6 ± 2.2***	98.7 ± 3.8***
aBR 4	27.7 ± 0.25***	9.36 ± 0.05***	94.9 ± 1.3*	102.7 ± 0.9***
aBR 8	28.9 ± 0.34***	10.5 ± 0.51***+	92.4 ± 1.10	94.0 ± 1.2**
aBR 12	31.2 ± 1.1***	8.73 ± 0.15**	101.3 ± 3.5***	108.2 ± 2***+
aBR 16	27.0 ± 0.25**	8.13 ± 0.05	90.0 ± 2.6	91.0 ± 2.1
aBR 18	35.6 ± 0.55***+	9.56 ± 0.05***	114.6 ± 2.3***	103.6 ± 1.6***

\*Representan los tratamientos que difieren significativamente del control  $P \leq 0.5$ ; + Representan los tratamientos significativamente superiores de HBL  $P \leq 0.5$ .

**Efecto de los aBR en maíz híbrido a los 90 días (con aspersión foliar) en pruebas de invernadero.**

- Parámetros de biomasa.

Peso seco: El peso seco de la parte aérea y de raíz de las plantas se incrementó significativamente con respecto al control por todos los tratamientos de aBR y HBL. De todos los análogos probados, el aBR18 promovió el mayor peso seco de la parte aérea, superando el peso del control en un 45.3%, al aumentar de 25 g a 36.3 g, y favoreció el incremento con respecto a la HBL en un 4.6%, al aumentar de 34.7 g a 36.3 g. El aBR8 promovió el mayor peso seco de la raíz, comparado con el control incrementó en un 53.1% al aumentar de 7.9 g a 12.1 g, y favoreció el peso seco con respecto a la HBL en un 26.9%, al aumentar de 9.53 g a 12.1 g (Tabla 10).

Longitud: La longitud de la parte aérea y la longitud de la raíz principal fueron incrementadas de forma significativa en todas las plantas tratadas con los aBR y HBL con respecto al control, con excepción del aBR16 que en ambos parámetros no tuvo diferencia significativa. De todos los tratamientos el aBR18 promovió la mayor longitud de la parte aérea en las plantas, comparado con el control incrementó en un 34.4%, al aumentar de 87.5 cm a 117.6 cm, y favoreció el crecimiento con respecto a la HBL en

un 4.9%, al aumentar de 112.1 cm a 117.6 cm. El aBR12 promovió la mayor longitud de la raíz principal, comparado con el control aumentó en un 26.9%, al incrementar de 86.8 cm a 110.1 cm, y favoreció el crecimiento con respecto a la HBL en un 9.6%, al aumentar de 100.4 cm a 110.1 cm (Tabla 10 y Figura 11).

**Tabla 10.** Valores medios de los parámetros de biomasa y biométricos de las plantas de maíz híbrido, a los 90 días con aspersion foliar (VT).

TRATAMIENTOS	PESO SECO PARTE AÉREA g (±) DE	PESO SECO RAÍZ g (±) DE	LONGITUD PARTE AÉREA cm (±) DE	LONGITUD RAÍZ PRINCIPAL cm (±) DE
<b>VT CON ASPERSIÓN (90 DÍAS)</b>				
CONTROL	25 ± 0.2	7.9 ± 0.1	87.5 ± 0.60	86.8 ± 0.26
HBL	34.7 ± 0.1***	9.53 ± 0.05***	112.1 ± 1.35***	100.4 ± 1.60***
aBR 4	28.36 ± 0.05***	9.73 ± 0.05***	94.9 ± 1.72***	103.4 ± 1.69***
aBR 8	29.83 ± 0.15***	12.1 ± 0.11***+	95.4 ± 1.50***	96.8 ± 2.56***
aBR 12	34.63 ± 0.05***	9.43 ± 0.05***	104.6 ± 1.21***	110.1 ± 1.25***+
aBR 16	27.73 ± 0.11***	8.86 ± 0.05***	93.0 ± 1.00	94.1 ± 1.60
aBR 18	36.33 ± 0.05***+	10.1 ± 0.11***+	117.6 ± 1.05***+	105.5 ± 1.50***+

\*Representan los tratamientos que difieren significativamente del control  $P \leq 0.5$ ; + Representan los tratamientos significativamente superiores de HBL  $P \leq 0.5$ .



**Fig. 11.** Maíz híbrido de novena días de crecimiento en invernadero: control, y tratados con aBR18 y HBL.

### Efecto comparativo de los aBR en maíz híbrido a los 90 días con y sin aspersión foliar en pruebas de invernadero.

Para evaluar las diferencias de tamaño y peso entre las plantas asperjadas y las no asperjadas, con los tratamientos de los aBR y la HBL se realizó una Prueba t-Student.

- Parámetros de biomasa.

**Peso seco:** El peso seco de la parte aérea tuvo incrementos en el maíz híbrido asperjado en comparación con el maíz sin asperjar, sin embargo los incrementos no fueron significativos en las plantas con los tratamientos aBR4 y aBR18. El peso seco de la raíz tuvo incrementos significativos en el maíz asperjado a diferencia del no asperjado, en todos los aBR y HBL. Se obtuvo que la aspersión foliar con los aBR8, aBR12, aBR16 y HBL promueven el aumento de biomasa seca en ambas partes de la planta, tanto de la parte aérea y de la raíz (Tabla 11).

**Longitud:** Los aBR y la HBL promovieron el crecimiento de la longitud de la parte aérea de las plantas asperjadas y las no asperjadas con respecto al control, sin embargo la diferencia no fue significativa. La longitud de la raíz principal fue mayor en las plantas asperjadas tratadas con los aBR y la HBL, sin embargo la diferencia solo fue significativa en las plantas asperjadas con el aBR18 (Tabla 11).

**Tabla 11.** Valores medios de los parámetros de biomasa y biométricos de las plantas de maíz híbrido, a los 90 días (VT) con y sin aspersión foliar.

TRATAMIENTOS	PESO SECO PARTE AÉREA g (±) DE		PESO SECO RAÍZ g (±) DE		LONGITUD PARTE AÉREA cm (±) DE		LONGITUD RAÍZ PRINCIPAL cm (±) DE	
	SIN ASPERSIÓN	CON ASPERSIÓN	SIN ASPERSIÓN	CON ASPERSIÓN	SIN ASPERSIÓN	CON ASPERSIÓN	SIN ASPERSIÓN	CON ASPERSIÓN
VT (90 DÍAS)								
CONTROL	25 ± 0.2	25 ± 0.2	7.9 ± 0.01	7.9 ± 0.1	87.5 ± 0.60	87.5 ± 0.60	86.8 ± 0.26	86.8 ± 0.26
HBL	33.6 ± 0.15 <sup>***b</sup>	34.7 ± 0.1 <sup>***a</sup>	9 ± 0.01 <sup>***b</sup>	9.5 ± 0.05 <sup>***a</sup>	109.6 ± 2.2 <sup>***</sup>	112.1 ± 1.3 <sup>***</sup>	98.7 ± 3.8 <sup>***</sup>	100.4 ± 1.6 <sup>***</sup>
aBR 4	27.7 ± 0.25 <sup>***</sup>	28.3 ± 0.05 <sup>***</sup>	9.3 ± 0.05 <sup>***b</sup>	9.7 ± 0.05 <sup>***a</sup>	94.9 ± 1.3*	94.9 ± 1.7 <sup>***</sup>	102.7 ± 0.9 <sup>***</sup>	103.4 ± 1.6 <sup>***</sup>
aBR 8	28.9 ± 0.34 <sup>***b</sup>	29.8 ± 0.15 <sup>***a</sup>	10.5 ± 0.5 <sup>***b+</sup>	12.1 ± 0.11 <sup>***a+</sup>	92.4 ± 1.1	95.4 ± 1.5 <sup>***</sup>	94.0 ± 1.2 <sup>**</sup>	96.8 ± 2.5 <sup>***</sup>
aBR 12	31.2 ± 1.1 <sup>***b</sup>	34.6 ± 0.05 <sup>***a</sup>	8.7 ± 0.15 <sup>***b</sup>	9.4 ± 0.05 <sup>***a</sup>	101.3 ± 3.5 <sup>***</sup>	104.6 ± 1.2 <sup>***</sup>	108.2 ± 2.0 <sup>***+</sup>	110.1 ± 1.2 <sup>***+</sup>
aBR 16	27 ± 0.25 <sup>***b</sup>	27.7 ± 0.11 <sup>***a</sup>	8.1 ± 0.05 <sup>b</sup>	8.8 ± 0.05 <sup>***a</sup>	90.0 ± 2.6	93.0 ± 1.0	91.0 ± 2.1	94.1 ± 1.6
aBR 18	35.6 ± 0.55 <sup>***+</sup>	36.3 ± 0.05 <sup>***+</sup>	9.5 ± 0.05 <sup>***b</sup>	10.1 ± 0.11 <sup>***a+</sup>	114.6 ± 2.3 <sup>***</sup>	117.6 ± 1.0 <sup>***+</sup>	103.6 ± 1.6 <sup>***b</sup>	105.5 ± 1.5 <sup>***a+</sup>

\*Representan los tratamientos que difieren significativamente del control P≤0.5; + Representan los tratamientos significativamente superiores de HBL P≤0.5. <sup>a</sup> y <sup>b</sup> indican diferencias significativas entre los valores medios de los tratamientos por etapas

### **Biomasa seca total (parte aérea y raíz) de maíz híbrido.**

Los resultados de la biomasa seca total de las plantas de maíz híbrido, indican que todos los tratamientos con los aBR y la HBL promovieron el aumento significativo, comparado con el control a los 10, 40, 90 días con y sin aspersion foliar (Tabla 12).

A los 10 días, el aBR8 promovió el mayor aumento de biomasa seca en las plantas, respecto al control se incrementó de 0.30 g a 0.43 g, lo que corresponde a un 43.3%, y favoreció el aumento de biomasa seca en comparación con la HBL en un 19.4%, incrementando de 0.36 g a 0.43 g. (Tabla 12)

A los 40 días, el efecto del aBR18 en maíz híbrido promovió el mayor incremento de biomasa seca, al compararlo con el control se incrementó en un 81.8%, al aumentar de 3.31 g a 6.01 g, y favoreció el peso seco total con respecto a la HBL en un 30.4%, al incrementar de 4.68 g a 6.01 g (Tabla 12).

La biomasa seca total en las plantas sin aspersion foliar a los 90 días, indicó que el aBR18 promovió el mayor aumento de biomasa seca, con respecto al control se incrementó en un 37%, al aumentar de 32.9 g a 45.1 g, y la biomasa seca comparado con la HBL aumentó de 42.6 g a 45.1 g, lo que corresponde al 5.8% (Tabla 12).

A los 90 días, el efecto del aBR18 en las plantas de maíz asperjadas promovió el mayor peso seco total en las plantas, al compararlas con el control se incrementó de 32.9 g a 46.5 g lo que corresponde a un 41.3%, y se incrementó en un 5.6% al aumentar de 44 g a 46.5 g con respecto a la HBL (Tabla 12).

La prueba T-Student, indicó que las diferencias en el incremento de biomasa solo fueron significativas con el aBR12 entre los tratamientos de las plantas de maíz híbrido asperjadas y las no asperjadas; por lo que se concluye que la aplicación de la aspersion foliar con el aBR12 en las plantas de maíz híbrido promueve un aumento de la biomasa seca total. (Tabla 12).

**Tabla 12.** Valores medios del parámetro de biomasa seca total de las plantas de maíz híbrido, a los 90 días con y sin aspersion foliar (VT).

BIOMASA SECA TOTAL g (±) DE				
TRATAMIENTOS	V2 (10 DÍAS)	V6 (40 DÍAS)	VT SIN ASPERSIÓN (90 DÍAS)	VT CON ASPERSIÓN (90 DÍAS)
CONTROL	0.30 ± 0.05	3.31 ± 0.09	32.9 ± 0.17	32.9 ± 0.17
HBL	0.36 ± 0.05*	4.68 ± 0.01***	42.6 ± 0.23***	44 ± 0.05***
aBR 4	0.38 ± 0.06***	4.88 ± 0.09***	37.4 ± 0.30***	38.1 ± 0.1***
aBR 8	0.43 ± 0.09***+	5.23 ± 0.14***+	39.3 ± 0.68***	42 ± 0.1***
aBR 12	0.38 ± 0.08***	4.33 ± 0.23***	39.96 ± 1.00*** <sup>b</sup>	44 ± 0.05*** <sup>a</sup>
aBR 16	0.36 ± 0.06*	3.82 ± 0.25*	35.16 ± 0.30**	36.6 ± 0.17***
aBR 18	0.40 ± 0.03***	6.01 ± 0.13***+	45.16 ± 0.51***+	46.5 ± 0.17***+

\*Representan los tratamientos que difieren significativamente del control  $P \leq 0.5$ ; + Representan los tratamientos significativamente superiores de HBL  $P \leq 0.5$ . a y b indican diferencias significativas entre los valores medios de los tratamientos por etapas.

### 8.3 JITOMATE

#### Efecto de los aBR en jitomate a los 20 días en pruebas de invernadero.

- Parámetros celulares

Densidad estomática: Los resultados indican que el número de estomas por  $\text{mm}^2$ , tuvo diferencias significativas en todas las plantas tratadas con los aBR y la HBL, en comparación con el control. El aBR12 promovió el mayor número de estomas por  $\text{mm}^2$ , con respecto al control incrementó un 34.3%, al aumentar de 50.1 a 67.3 estomas, y con respecto a la HBL aumentó de 63.9 a 67.3, lo que corresponde a un 5.3% (Tabla 13).

Área celular: Todas las plantas tratadas con los aBR y HBL fueron significativamente diferentes en el área celular al compararlo con el control. Los aBR8 y aBR16 promovieron el mayor incremento del área celular en un 18.2%, al aumentar de 2247.7  $\mu\text{m}^2$  a 2657.3  $\mu\text{m}^2$  con respecto al control, y favoreció el incremento un 3.2% con respecto a la HBL, al aumentar de 2247.7  $\mu\text{m}^2$  a 2657.3  $\mu\text{m}^2$  (Tabla 13).

- Parámetros de biomasa.

Peso seco: El peso seco de la parte aérea y de la raíz de las plantas se incrementó significativamente con respecto al control por todos los tratamientos. De estos análogos, el aBR12 promovió el mayor peso seco de la parte aérea, superando el peso del control en un 78.2%, al aumentar de 0.023 g a 0.041 g, y favoreció el incremento de peso respecto a la HBL en un 10.8%, al aumentar de 0.037 g a 0.041 g. De la misma manera el aBR12 promovió el mayor peso seco de la raíz, al compararlo con el control incrementó en un 115.3%, al aumentar de 0.013 g a 0.028 g; y con respecto a la HBL tuvo un incremento de hasta 55.5%, al aumentar de 0.018 g a 0.028 g (Tabla 13).

Longitud: La longitud de la parte aérea, fue incrementada en todos los tratamientos con respecto al control, con excepción del aBR16. El aBR12 promovió la mayor longitud de la parte aérea en las plantas, al compararlo con el control incrementó en un 35.8%, al aumentar de 8.1 g a 11 g; y con respecto a la HBL aumentó de 9.9 g a 11 g, lo que corresponde a un 11.1%. La longitud de la raíz principal de las plantas, se incrementó en todos los tratamientos con respecto al control. El aBR12 promovió el mayor crecimiento de la longitud de la raíz principal, incrementando hasta un 61.4% al aumentar de 7 g a 11.3 g comparado con el control; y favoreció el incremento con respecto a la HBL en un 24.1%, al pasar de 9.1 g a 11.3 g (Tabla 13).

**Tabla 13.** Valores medios de los parámetros de celulares, biomasa y biométricos de las plantas de jitomate, a los 20 días.

TRATAMIENTOS	DENSIDAD ESTOMÁTICA mm <sup>2</sup> (±) DE	ÁREA CELULAR μm <sup>2</sup> (±) DE	PESO SECO PARTE AÉREA g (±) DE	PESO SECO RAÍZ g (±) DE	LONGITUD PARTE AÉREA cm (±) DE	LONGITUD RAÍZ PRINCIPAL cm (±) DE
<b>FASE INICIAL (20 DÍAS)</b>						
CONTROL	50.1 ± 3.8	2247.7 ± 203.2	0.023 ± 0.004	0.013 ± 0.000	8.1 ± 1.1	7.0 ± 0.79
HBL	63.9 ± 3.1***	2572.9 ± 188.2***	0.037 ± 0.004***	0.018 ± 0.002***	9.9 ± 1.1***	9.1 ± 0.83***
aBR 4	64.8 ± 3.7***	2453.6 ± 196.1***	0.039 ± 0.004***	0.026 ± 0.004***+	10.1 ± 0.7***	11.3 ± 1.65***+
aBR 8	56.5 ± 3.3***	2657.3 ± 203.5***	0.026 ± 0.002***	0.017 ± 0.001***	8.9 ± 0.6***	8.5 ± 0.91***
aBR 12	67.3 ± 1.6***+	2373.5 ± 118.8**	0.041 ± 0.003***+	0.028 ± 0.002***	11 ± 0.65***+	10.7 ± 1.47***+
aBR 16	56.3 ± 2.6***	2603.1 ± 178.8***	0.026 ± 0.002**	0.015 ± 0.001***	8.4 ± 0.91	7.7 ± 0.95*
aBR 18	64.4 ± 2.6***	2490.2 ± 218.7***	0.039 ± 0.005***	0.026 ± 0.002***	10 ± 1.01***	9.3 ± 1.10***

\*Representan los tratamientos que difieren significativamente del control P≤0.5; + Representan los tratamientos significativamente superiores de HBL P≤0.5.



**Fig. 12.** Jitomate híbrido de veinte días cultivado en invernadero: control, y tratados con HBL y aBR 12.

### **Efecto de los aBR en jitomate a los 40 días en pruebas de invernadero.**

- Parámetros celulares

Densidad estomática: Las plantas tratadas con los aBR y la HBL, tuvieron mayor cantidad de estomas con respecto al control, pero esta diferencia no fue significativa con los aBR8 y aBR16 comparados con el control. El aBR12 promovió el mayor número de estomas por mm<sup>2</sup> con respecto al control, incrementando hasta un 45.7%, al aumentar de 35 a 51 estomas, y favorecieron el incremento en un 16.9% al aumentar de 43.6 a 51 estomas, con respecto a la HBL (Tabla 14).

Área celular: Los resultados indican que todas las plantas tratadas con los aBR y la HBL fueron significativamente distintos, comparados con el control en el área celular. El aBR8 promovió el mayor crecimiento de células, incrementando hasta un 33.7% con respecto al control, al aumentar de 2521.7  $\mu\text{m}^2$  a 3373.6  $\mu\text{m}^2$ ; y con respecto a la HBL incrementó en un 4.2% al aumentar de 3234.8  $\mu\text{m}^2$  a 3373.6  $\mu\text{m}^2$  (Tabla 14).

- Parámetros de biomasa.

Peso seco: El peso seco de la parte aérea se incrementó significativamente con respecto al control en todas las plantas tratadas con los aBR y HBL, con excepción del aBR16. De estos análogos, el aBR12 promovió el mayor peso seco de la parte aérea, con respecto al control se incrementó en un 50.8% al aumentar de 0.059 g a 0.089 g, y comparado con la HBL aumentó de 0.074 g a 0.089 g lo que corresponde a un 20.2%. El peso seco de la raíz de las plantas se incrementó significativamente en todos los tratamientos con respecto al control, sin embargo no fue significativo en las plantas tratadas el aBR16. El aBR12 promovió el mayor peso seco de la raíz, al compararlo con el control se incrementó un 52.3% al aumentar de 0.042 g a 0.064 g, y con respecto a la HBL aumentó hasta un 20.7%, al incrementarse de 0.053 g a 0.064 g (Tabla 14).

Longitud: La longitud de la parte aérea, fue incrementada significativamente en todas las plantas tratadas con los aBR y HBL respecto al control, con excepción del aBR8 y aBR16. El aBR12 promovió el mayor crecimiento de la longitud de la parte aérea en las plantas, al compararlo con el control se incrementó hasta un 76.5%, al aumentar de 14.5 cm a 25.6 cm; y con respecto a la HBL incrementó en un 34.7%, al aumentar de 19 cm a 25.6 cm. En la longitud de la raíz principal todas las plantas tratadas con los aBR y la HBL tuvieron diferencias significativas comparadas con el control, con excepción de los aBR8 y aBR16. Las plantas que tuvieron mayor crecimiento de raíces fueron las tratadas con el aBR4, que incrementó hasta un 78.8% con respecto al control al aumentar de 15.1 cm a 27 cm; y favoreció el incremento comparado con la HBL en un 27.3%, la aumentar de 21.2 cm a 27 cm (Tabla 14)

**Tabla 14.** Valores medios de los parámetros celulares, biomasa y biométricos de las plantas de jitomate, a los 40 días.

TRATAMIENTOS	DENSIDAD ESTOMÁTICA mm <sup>2</sup> (±) DE	ÁREA CELULAR µm <sup>2</sup> (±) DE	PESO SECO PARTE AÉREA g (±) DE	PESO SECO RAÍZ g (±) DE	LONGITUD PARTE AÉREA cm (±) DE	LONGITUD RAÍZ PRINCIPAL cm (±) DE
<b>DESARROLLO VEGETATIVO (40 DÍAS)</b>						
CONTROL	35 ± 4	2521.7 ± 114.7	0.059 ± 0.001	0.042 ± 0.003	14.5 ± 0.5	15.1 ± 1.04
HBL	43.6 ± 1.15*	3234.8 ± 49***	0.074 ± 0.000***	0.053 ± 0.001***	19 ± 1.3**	21.2 ± 1.15***
aBR 4	44.6 ± 3.21*	3076.2 ± 58.2***	0.083 ± 0.001***+	0.06 ± 0.000***+	23 ± 1.5***+	27 ± 1.07***+
aBR 8	38.6 ± 2.51	3373.6 ± 183***	0.068 ± 0.001***	0.05 ± 0.000**	16.3 ± 1.04	18.3 ± 1.30
aBR 12	51 ± 3***	3114.1 ± 31.1***	0.089 ± 0.003***+	0.064 ± 0.004***+	25.6 ± 1.6***+	24.6 ± 1.15***+
aBR 16	38.3 ± 2.51	3264.8 ± 29.6***	0.063 ± 0.002	0.047 ± 0.000	15.6 ± 1.25	16.5 ± 1.28
aBR 18	44 ± 2.64*	2956.7 ± 84.7***	0.079 ± 0.000***	0.058 ± 0.000***+	21.6 ± 1.25***	21.9 ± 1.36***

\*Representan los tratamientos que difieren significativamente del control P≤0.5; + Representan los tratamientos significativamente superiores de HBL P≤0.5.

**Efecto de los aBR en jitomate a los 130 días (sin aspersion foliar) en pruebas de invernadero.**

- Parámetros de biomasa.

Peso seco: El peso seco de la parte aérea de las plantas se incrementó significativamente con respecto al control en todos los aBR y la HBL. De estos análogos, el aBR12 promovió el mayor peso seco de la parte aérea, superando el peso del control en un 27.8%, al aumentar de 26.6 g a 34 g; y favoreció el incremento con respecto a la HBL en un 6.9%, al aumentar de 31.8 g a 34 g. El peso seco de la raíz aumentó significativamente en todos los tratamientos. El aBR12 promovió en las plantas el mayor peso seco de la raíz, al compararlo con el control aumentó en un 57.6% al incrementar de 11.1 g a 17.5 g; y con respecto a la HBL se incrementó en un 11.4%, al aumentar de 15.7 g a 17.5 g (Tabla 15).

Longitud: La longitud de la parte aérea fue incrementada en todas las plantas tratadas con aBR y HBL con respecto al control. De todos los tratamientos, el aBR12 promovió la mayor longitud de la parte aérea en las plantas, al compararlo con el control se incrementó en un 23.2% al aumentar de 61.6 cm a 75.8 cm; y favoreció la longitud con

respecto a la HBL en un 12.6%, al aumentar de 67.3 cm a 75.8 cm. La longitud de la raíz principal fue incrementada significativamente por todos los tratamientos. Sin embargo las plantas tratadas con el aBR4 tuvieron la mayor longitud de la raíz principal, al compararlo con el control se incrementó en un 19.2% al aumentar de 39.9 cm a 47.6 cm; y el crecimiento con respecto a la HBL se incrementó en un 7.4% al aumentar de 44.3 cm a 47.6 cm (Tabla 15).

**Tabla 15.** Valores medios de los parámetros de biomasa y biométricos de las plantas de jitomate, a los 130 días sin aspersión foliar.

TRATAMIENTOS	PESO SECO PARTE AÉREA g (±) DE	PESO SECO RAÍZ g (±) DE	LONGITUD PARTE AÉREA cm (±) DE	LONGITUD RAÍZ PRINCIPAL cm (±) DE
<b>FRUCTIFICACIÓN SIN ASPERSIÓN FOLIAR (130 DÍAS)</b>				
CONTROL	26.6 ± 0.85	11.1 ± 0.78	61.5 ± 1.32	39.9 ± 0.85
HBL	31.8 ± 0.61***	15.7 ± 0.72***	67.3 ± 0.55***	44.3 ± 0.36***
aBR 4	33.6 ± 0.32***+	17 ± 0.45***	73.7 ± 1.10***+	47.6 ± 1.00***+
aBR 8	31.4 ± 0.52***	15.5 ± 0.68***	66.2 ± 0.26***	43.3 ± 0.63***
aBR 12	34 ± 0.32***+	17.5 ± 0.41***+	75.8 ± 1.05***+	46.8 ± 0.40***+
aBR 16	30.9 ± 0.35***	14.5 ± 0.5***	64.2 ± 0.25*+	42.2 ± 0.40**
aBR 18	32.8 ± 0.32***	17 ± 0.2***	71.8 ± 0.7***+	46.2 ± 0.40***+

\*Representan los tratamientos que difieren significativamente del control  $P \leq 0.5$ ; + Representan los tratamientos significativamente superiores de HBL  $P \leq 0.5$ .

### Efecto de los aBR en jitomate a los 130 días (con aspersión foliar) en pruebas de invernadero.

- Parámetros de biomasa.

Peso seco: El peso seco de la parte aérea y de raíz de las plantas se incrementó significativamente con respecto al control, por todos los tratamientos de los aBR y la HBL. De todos los análogos probados, el aBR12 promovió el mayor peso seco de la parte aérea, superando el peso del control en un 33% al aumentar de 26.6 g a 35.4 g; y favoreció el aumento de peso con respecto a la HBL en un 8.2%, al incrementarse de 32.7 g a 35.4 g. El aBR12 promovió el mayor peso seco de la raíz, al compararlo con el control se incrementó en un 64.8% al aumentar de 11.1 g a 18.3 g; y promovió el

incremento de peso con respecto a la HBL en un 8.9%, al aumentar de 16.8 g a 18.3 g (Tabla 16).

Longitud: La longitud de la parte aérea y la longitud de la raíz principal fueron incrementadas de forma significativa en todas las plantas tratadas con los aBR y la HBL con respecto al control, con excepción de los aBR16 y la HBL. De todos los tratamientos empleados, el aBR12 promovió la mayor longitud de la parte aérea en las plantas, al compararlo con el control se incremento en un 26% al aumentar de 61.5 cm a 77.5 cm; y favoreció el crecimiento con respecto a la HBL en un 11.3%, al aumentar de 69.6 cm a 77.5 cm. En la longitud de la raíz principal todos los aBR y HBL promovieron el crecimiento de la longitud de la raíz. De todos los aBR, el aBR4 incrementó la mayor longitud de la raíz principal, al compararla con el control incrementó en un 22.8%, al aumentar de 39.9 cm a 49 cm; y favoreció el crecimiento con respecto a la HBL en un 8.4%, al aumentar de 45.2 cm a 49 cm (Tabla 16 y Figura 13).

**Tabla 16.** Valores medios de los parámetros de biomasa y biométricos de las plantas de tomate, a los 130 días con aspersión foliar.

TRATAMIENTOS	PESO SECO PARTE AÉREA g (±) DE	PESO SECO RAÍZ g (±) DE	LONGITUD PARTE AÉREA cm (±) DE	LONGITUD RAÍZ PRINCIPAL cm (±) DE
<b>FRUCTIFICACIÓN CON ASPERSIÓN FOLIAR (130 DÍAS)</b>				
CONTROL	26.6 ± 0.85	11.1 ± 0.78	61.5 ± 1.32	39.9 ± 0.85
HBL	32.7 ± 0.7***	16.8 ± 0.55***	69.6 ± 2.08	45.2 ± 1.07***
aBR 4	34.9 ± 0.45***+	17.8 ± 0.49***	74.1 ± 3.61**	49 ± 0.32***+
aBR 8	32.8 ± 0.37***	16.8 ± 0.40***	70.5 ± 1.32*	43.9 ± 1***
aBR 12	35.4 ± 0.35***+	18.3 ± 0.46***+	77.5 ± 1.5***	47.5 ± 0.46***+
aBR 16	31.9 ± 0.58***	16.7 ± 0.20***	68.5 ± 1.5	43 ± 0.5**
aBR 18	33.9 ± 0.79***	17.6 ± 0.55***	72.5 ± 6.53**	46.8 ± 0.76***

\*Representan los tratamientos que difieren significativamente del control  $P \leq 0.5$ ; + Representan los tratamientos significativamente superiores de HBL  $P \leq 0.5$ .



**Fig. 13.** Jitomate híbrido de ciento treinta días cultivado en invernadero: control, y tratados con aBR12 y la HBL.

### **Efecto comparativo de los aBR en jitomate a los 130 días con y sin aspersion foliar en pruebas de invernadero.**

Para evaluar las diferencias de tamaño y peso, entre las plantas asperjadas y las no asperjadas con los tratamientos de los aBR y HBL se realizó una Prueba t-Student.

- Parámetros de biomasa.

Peso seco: El peso seco de la parte aérea tuvo incrementos con el jitomate asperjado en comparación con el jitomate sin asperjar, sin embargo los incrementos fueron significativos solo en las plantas asperjadas con los tratamientos de los aBR4 y aBR8. El peso seco de la raíz tuvo incrementos significativos en el jitomate asperjado a diferencia del no asperjado con los aBR4, aBR8, aBR16 y aBR18. Por lo que la aspersion foliar con los aBR4 y aBR8, promueven el aumento de biomasa seca en ambas partes de la planta, tanto de la parte aérea como de la raíz (Tabla 17).

Longitud: Las plantas asperjadas con los aBR y la HBL, promovieron el crecimiento en la longitud de la parte aérea, en comparación con las plantas no asperjadas, sin embargo esta diferencia no fue estadísticamente significativa. La longitud de la raíz principal fue más grande en las plantas asperjadas que se trataron con los aBR8, aBR12 y aBR16, a diferencia de las plantas de jitomate no asperjadas. Por lo que es favorable la aplicación de estos aBR por aspersión, para promover el crecimiento de la raíz principal (Tabla 17).

**Tabla 17.** Valores medios de los parámetros de biomasa y biométricos de las plantas de jitomate, a los 130 días con aspersión y sin aspersión foliar.

TRATAMIENTOS	PESO SECO PARTE AÉREA g (±) DE		PESO SECO RAÍZ g (±) DE		LONGITUD PARTE AÉREA cm (±) DE		LONGITUD RAÍZ PRINCIPAL cm (±) DE	
	SIN ASPERSIÓN	CON ASPERSIÓN	SIN ASPERSIÓN	CON ASPERSIÓN	SIN ASPERSIÓN	CON ASPERSIÓN	SIN ASPERSIÓN	CON ASPERSIÓN
<b>FRUCTIFICACIÓN 130 DÍAS</b>								
CONTROL	26.6 ± 0.85	26.6 ± 0.85	11.1 ± 0.78	11.1 ± 0.78	61.5 ± 1.32	61.5 ± 1.32	39.9 ± 0.85	39.9 ± 0.85
HBL	31.8 ± 0.61***	32.7 ± 0.7***	15.7 ± 0.72***	16.8 ± 0.55***	67.3 ± 0.55***	69.6 ± 2.08	44.3 ± 0.36***	45.2 ± 1.07***
aBR 4	33.6 ± 0.32***+ <sup>b</sup>	34.9 ± 0.45***+ <sup>a</sup>	17 ± 0.45*** <sup>b</sup>	17.8 ± 0.49*** <sup>a</sup>	73.7 ± 1.10***+ <sup>a</sup>	74.1 ± 3.61**	47.6 ± 1.00***+ <sup>a</sup>	49 ± 0.32***+ <sup>a</sup>
aBR 8	31.4 ± 0.52*** <sup>b</sup>	32.8 ± 0.37*** <sup>a</sup>	15.5 ± 0.68*** <sup>b</sup>	16.8 ± 0.40*** <sup>a</sup>	66.2 ± 0.26***	70.5 ± 1.32*	43.3 ± 0.63*** <sup>b</sup>	43.9 ± 1*** <sup>a</sup>
aBR 12	34 ± 0.32***+ <sup>a</sup>	35.4 ± 0.35***+ <sup>a</sup>	17.5 ± 0.41***+ <sup>a</sup>	18.3 ± 0.46***+ <sup>a</sup>	75.8 ± 1.05***+ <sup>a</sup>	77.5 ± 1.5***	46.8 ± 0.40***+ <sup>b</sup>	47.5 ± 0.46***+ <sup>a</sup>
aBR 16	30.9 ± 0.35***	31.9 ± 0.58***	14.5 ± 0.5*** <sup>b</sup>	16.7 ± 0.20*** <sup>a</sup>	64.2 ± 0.25*+ <sup>a</sup>	68.5 ± 1.5	42.2 ± 0.40*** <sup>b</sup>	43 ± 0.5*** <sup>a</sup>
aBR 18	32.8 ± 0.32***	33.9 ± 0.79***	17 ± 0.2*** <sup>b</sup>	17.6 ± 0.55*** <sup>a</sup>	71.8 ± 0.7***+ <sup>a</sup>	72.5 ± 6.53**	46.2 ± 0.40***+ <sup>a</sup>	46.8 ± 0.76***

\*Representan los tratamientos que difieren significativamente del control  $P \leq 0.5$ ; + Representan los tratamientos significativamente superiores de HBL  $P \leq 0.5$ . a y b indican diferencias significativas entre los valores medios de los tratamientos por etapas.

**Efecto comparativo del Rendimiento en fruto del jitomate con y sin asperjar con los aBR y la HBL, a los 130 días en pruebas de invernadero.**

El número de jitomates en las plantas asperjadas y las no asperjadas varió en cada tratamiento de los aBR y HBL. El peso de los jitomates de las plantas asperjadas y de las no asperjadas, aumentó significativamente en todos los tratamientos con respecto a las plantas control. Sin embargo las plantas de jitomate asperjadas indican mayor peso en el fruto, esta diferencia es significativa con las plantas tratadas con los aBR4, aBR12, aBR18 y HBL; respecto a las plantas de jitomate no asperjadas (Tabla 18).

**Tabla 18.** Valores medios de los parámetros de número y peso de jitomates, a los 130 días con y sin aspersión foliar.

FRUCTIFICACIÓN 130 DÍAS				
TRATAMIENTOS	No. DE TOMATES		PESO DE TOMATES (g)	
	SIN ASPERSIÓN	CON ASPERSIÓN	SIN ASPERSIÓN	CON ASPERSIÓN
CONTROL	15	15	254.5±2.6	254.5±2.6
HBL	17	19	316.7±3.3*** <sup>b</sup>	340±3*** <sup>a</sup>
aBR 4	19	16	361.3±3.4*** <sup>+b</sup>	410±3*** <sup>a</sup>
aBR 8	19	18	310.1±4.4***	320.2±3.9***
aBR 12	13	15	395.6±4*** <sup>+b</sup>	433.3±2.8*** <sup>a</sup>
aBR 16	16	15	306.3±2.7***	313.4±1.9***
aBR 18	11	12	366.8±4*** <sup>+b</sup>	416.6±1.2*** <sup>a</sup>

\*Representan los tratamientos que difieren significativamente del control  $P \leq 0.5$ ; + Representan los tratamientos significativamente superiores de HBL  $P \leq 0.5$ . a y b indican diferencias significativas entre los valores medios de los tratamientos por etapas.

### **Biomasa seca total (parte aérea y raíz) de las etapas de jitomate.**

Los resultados de la biomasa seca total de las plantas de jitomate, indican que en cada una de las etapas evaluadas, todos los aBR y la HBL promovieron significativamente el aumento de biomasa seca comparado con el control (Tabla 19).

A los 20 días, el aBR12 promovió el mayor incremento de biomasa seca en las plantas de jitomate, aumentando en un 91.6% respecto al control; y en comparación con la HBL aumentó en un 25.4% (Tabla 19).

A los 40 días, el aBR12 promovió el mayor aumento de biomasa seca en las plantas de jitomate comparado con el control, incrementando en un 50%; y con respecto a la HBL aumentó en un 25% (Tabla 19).

Las plantas de jitomate sin asperjar a los 130 días, indican que el aBR12 promovió el mayor aumento de biomasa seca en las plantas con respecto al control, al incrementar en un 36.6%; y favoreció el aumento comparado con la HBL en un 8.4% (Tabla 19).

Las plantas de jitomate asperjadas a los 130 días, con el aBR12 promovieron el mayor peso seco total en las plantas comparado con el control, incrementando en un 42%, y con respecto a la HBL aumentó en un 8.4% (Tabla 19).

La prueba T-Student indica, que las plantas de jitomate asperjadas comparadas con las plantas no asperjadas con los aBR y HBL son significativamente diferentes, con excepción del aBR18. Por lo que la aplicación con aspersión foliar promueve el aumento de la biomasa seca total en las plantas tratadas con esos aBR.

**Tabla 19.** Valores medios del parámetro de biomasa seca total de las plantas de jitomate, a los 130 días con y sin aspersión foliar.

BIOMASA SECA TOTAL g (±) DE				
TRATAMIENTOS	FASE INICIAL (20 DÍAS)	DESARROLLO VEGETATIVO (40 DÍAS)	FRUCTIFICACIÓN SIN ASPERSIÓN (130 DÍAS)	FRUCTIFICACIÓN CON ASPERSIÓN (130 DÍAS)
CONTROL	0.036 ± 0.004	0.10 ± 0.005	37.7 ± 0.11	37.7 ± 0.11
HBL	0.055 ± 0.004***	0.12 ± 0.002***	47.5 ± 1.17***b	49.5 ± 1.19***a
aBR 4	0.066 ± 0.006***+	0.14 ± 0.000***+	50.6 ± 0.00***b	52.7 ± 0.20***a+
aBR 8	0.044 ± 0.003***	0.11 ± 0.001***	46.9 ± 1.18***b	49.7 ± 0.75***a
aBR 12	0.069 ± 0.003***+	0.15 ± 0.003***+	51.5 ± 0.17***b	53.7 ± 0.55***a+
aBR 16	0.042 ± 0.002***	0.11 ± 0.003*	45.4 ± 0.47***b	48.6 ± 0.40***a
aBR 18	0.065 ± 0.005***+	0.13 ± 0.001***+	49.8 ± 0.49***	51.5 ± 0.95***+

\* Representan los tratamientos que difieren significativamente del control  $P \leq 0.5$ ; + Representan los tratamientos significativamente superiores de HBL  $P \leq 0.5$ . a y b indican diferencias significativas entre los valores medios de los tratamientos por etapas.

## 9 DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos mediante los bioensayos de laboratorio e invernadero, en maíz (criollo e híbrido) y jitomate, indican que el efecto promotor del crecimiento de los aBR depende del tipo de planta, ya que los aBR y la HBL actuaron de manera diferente. Esto último ya ha sido observado en los trabajos realizados en nuestro laboratorio, sin embargo los estudios que se presentan ahora complementan los anteriores. Por ejemplo Núñez y Mazorra (2001) aportan datos que difieren en cuanto al peso de la biomasa seca y tamaño de las plantas monocotiledóneas y dicotiledóneas, cuando éstas son tratadas con análogos de brasinoesteroides. El comentario anterior es también observado en este trabajo, indicando una clara diferencia en una amplia variedad de respuestas fisiológicas con el empleo de diferentes aBR, como los efectos sobre la elongación, división celular, el desarrollo vascular y reproductivo, e incremento de biomasa.

Las respuestas en las plantas de maíz criollo con los aBR4, aBR8, aBR12, aBR16, aBR18 y la HBL fueron importantes y variadas, fundamentalmente con el aBR18 el cual promovió el incremento significativo de los parámetros celulares, de biomasa y biométricos. Estos resultados se pueden comparar con Rivera (2013), que realizó un estudio del efecto de tres variedades de arroz (Morelos A-92, Morelos A-98, Morelos A-2006), a diferentes concentraciones de cuatro aBR (aBR16, aBR17, aBR18 y aBR19), demostrando que el aBR18 tuvo la mejor respuesta que el resto de los análogos, promoviendo un mayor aumento de la amplitud de los ángulos de inclinación, dado que dicho análogo conservó su actividad indistintamente de la variedad de arroz.

El efecto de la adición de una mayor dosis de los análogos y de la HBL evaluadas a través de la aspersion foliar a los 90 días, mostró que el peso seco de la parte aérea de las plantas de maíz criollo asperjadas incremento significativamente con los aBR4, aBR12 y la HBL comparadas con las plantas no asperjadas. Sin embargo, el aBR4 y la HBL no tuvieron el mismo efecto sobre el peso seco de la raíz. Los aBR8, aBR12, aBR16 y aBR18 mantuvieron su efecto positivo sobre esta parte de la planta.

A pesar de que los efectos de los productos asperjados en las plantas de maíz criollo no tuvieron un efecto tan notorio en la longitud de la parte aérea y de la raíz, el

aBR8 fue el que más destacó, incrementando la talla de las plantas tratadas con el. En general, el efecto a los 90 días de crecimiento de las plantas de maíz criollo asperjado, fue en el incremento de biomasa seca total con respecto a las plantas no asperjadas. Estos resultados recomiendan la aplicación foliar de toda la serie de aBR y HBL en las plantas, en especial de los aBR8, aBR12 y aBR18, para promover de forma positiva el aumento de peso y de tamaño de las plantas de maíz criollo.

Los resultados obtenidos con los aBR y la HBL en las plantas de maíz híbrido, tuvieron efectos positivos con diferencias significativas en la mayoría de los parámetros evaluados. Los aBR12 y aBR18 promovieron el mayor incremento del número de estomas, mientras que los aBR4, aBR8 y aBR18 incrementaron el área de las células anexas y largas. A los 90 días de crecimiento, se notó el efecto positivo de los aBR8, aBR12, aBR18 y la HBL en el peso seco total de las plantas de maíz híbrido asperjadas. En la longitud de la parte aérea no hubo incrementos significativos entre las plantas asperjadas y no asperjadas. Sin embargo el parámetro de la longitud de la raíz principal en las plantas de maíz criollo asperjadas, indicó que el aBR18 tuvo efecto significativo comparado con las plantas no asperjadas.

Todos los aBR y HBL favorecieron el aumento significativo de biomasa seca total de las plantas de maíz híbrido con respecto al control, en todas las etapas evaluadas; sin embargo mostraron mayores aumentos las plantas tratadas con el aBR18, y a los 90 días de crecimiento las plantas asperjadas con el aBR12 mostraron diferencia significativa respecto a las plantas no asperjadas.

Cabe mencionar que tanto para el maíz criollo como el híbrido, el aBR18 promovió el mayor incremento del número de estomas, lo que se considera un buen indicador en la predicción de la biomasa seca final.

En uno de los últimos estudios realizados en nuestro laboratorio, Romero (2015) utilizó una variedad de frijol negro, al cual aplicó el aBR18 antes de la siembra y dando una aspersion en la etapa vegetativa de la planta, obtuvo el mayor rendimiento bajo condiciones de invernadero. Por lo que al comparar dicha información con los resultados obtenidos en este proyecto, se propone al aBR18 como candidato idóneo para ser evaluado en condiciones de campo abierto.

En lo que respecta a las plantas del jitomate, los resultados obtenidos mostraron en general buena actividad promotora del crecimiento en las distintas etapas evaluadas en invernadero. Los resultados indican que a los 20 y 40 días de crecimiento, el aBR8 aumentó el área celular en las plantas, además el aBR12 promovió la mayor cantidad de estomas y también incrementó de forma significativa la biomasa seca (parte aérea y de la raíz).

A los 130 días de crecimiento, las plantas de jitomate asperjadas con los aBR4 y aBR12 proporcionaron el mayor peso seco de la parte aérea, y los aBR4, aBR12, y aBR18 proporcionaron el mayor peso seco de la raíz.

Las plantas asperjadas con los aBR8, aBR12 y aBR16 aumentaron significativamente la longitud de la raíz principal, de los cuales únicamente el aBR12 incrementó la longitud de la parte aérea.

En todas las etapas evaluadas, todos los aBR y la HBL aumentaron significativamente la biomasa seca total comparado con el control; de los cuales el aBR12 promovió el mayor incremento de biomasa seca, en todas las etapas evaluadas.

El peso de los tomates de las plantas asperjadas y de las no asperjadas, aumentó significativamente en todos los tratamientos con respecto a las plantas control. Sin embargo las plantas de jitomate asperjadas indican mayor peso en el fruto, esta diferencia fue significativa con las plantas tratadas con los aBR4, aBR12, aBR18 y HBL, siendo mayores con el aBR12.

El aBR12 en las plantas de jitomate promovió la mayor cantidad de estomas y el mayor incremento de biomasa seca, por lo que se establece una correlación directa entre ellos. Esta relación se vio reflejada en el mayor rendimiento del fruto (g) y de biomasa seca de las plantas de jitomate.

La eficiencia del análogo aBR12, se puede comparar con los obtenidos por Vázquez (2014), quien evaluó un grupo de cuatro análogos de brasinoesteroides (aBR12, aBR13, aBR14 y aBR15), en plántulas de 3 variedades de arroz (*Oryza*

*sativa*), donde el aBR12 tuvo el mayor efecto promotor del crecimiento, presentando la mejor respuesta en el ángulo de inclinación, en las tres variedades de arroz.

Sus resultados sirvieron de base para la elección del aBR12, en el bioensayo de laboratorio y para realizar su aplicación en invernadero. Experimento donde se comprobó que este análogo tuvo efectos significativos en el crecimiento, peso y rendimiento del fruto de las plantas de jitomate a la concentración 0.01 mg/l. Por lo tanto se comprobó que el uso del aBR12 en plantas de tomate favorece el crecimiento de las plantas.

La aspersión foliar aplicada en las fases vegetativas de las plantas utilizadas, demostró que si hubo un incremento significativo de los rendimientos de las plantas tratadas con los aBR4, aBR8, aBR12, aBR16, aBR18 y HBL, potenciado el efecto inicial obtenido en las semillas. Sin embargo, el aBR18 evaluado en las plantas de maíz criollo e híbrido y el aBR12 evaluado en plantas de jitomate, tuvieron los mejores resultados.

## **10 CONCLUSIONES**

Todos los compuestos evaluados en este trabajo demostraron ejercer una actividad promotora de crecimiento.

Los efectos de los brasinoesteroides variaron, dependiendo del cultivo y de la concentración, resaltando dos de ellos por la consistencia de sus resultados.

El aBR18 mostró tener la mejor respuesta, en las plantas de maíz criollo y de maíz híbrido, promoviendo el desarrollo celular y el aumento de biomasa en las plantas. Los efectos promotores del crecimiento vegetal producidos por el aBR18 son consistentes, y se busca un producto que tenga una actividad en cuanto a cultivo y variedad. De esta manera el aBR18 conservará su actividad sin importar el cambio del tipo de maíz que se utilice, lo cual permite proponer a este compuesto como un candidato a emplearse en pruebas a mayor escala.

Por otra parte, el aBR12 mostró una actividad importante en las plantas de jitomate híbrido var. saladette, promoviendo el desarrollo celular, el aumento de biomasa y la producción de fruto, superando la HBL.

Los análogos restantes (aBR4, aBR8, aBR16) y la HBL mostraron efectos promotores del crecimiento vegetal, sin embargo sus variaciones no permiten vislumbrar aún la consistencia de sus resultados tanto en maíz como en jitomate.

Los estudios realizados a diferentes días en el maíz, muestran que la evaluación a los 40 días de edad permite predecir con mayor claridad los resultados finales en biomasa y en estructura celular.

Por tal motivo, estos bioensayos son una prueba confiable para seleccionar compuestos promotores del crecimiento vegetal en estudios previos a campo. Dado que se busca un promotor de crecimiento vegetal con mayor espectro, se recomienda probar en campo los aBR12 y aBR18, tomando en cuenta que los estudios realizados muestran una respuesta diferencial en las plantas dependiendo de la clase a la que pertenecen (mono o dicotiledóneas).

## 11. BIBLIOGRAFIA

**ANDRADE R. M. L.**, (2013). *Efecto de un análogo de brasinoesteroides en la inclinación de la lámina de arroz y en los cultivos de frijol*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Pág. 3-36.

**AXAYACATL O. B.** (2012). *Fases de desarrollo del cultivo del jitomate*. Horticultura efectiva [en línea]. Instituto de Educación Media Superior de Apaseo el Alto, Gto., México. Pág. 1-2.

**BISHOP G. J.**, Koncz C. (2002). *Brassinosteroids and Plant Steroid Hormone Signaling*. The Plant Cell, 14 (Suppl). Pág. 97–110.

**DOMÍNGUEZ G.F.**, Studdert G. A., Echeverría H.E., Andrade F.H., (2001). *Sistemas de cultivo y nutrición nitrogenada en maíz*. Ciencias del Suelo. Argentina. Núm.19. Pág. 47-56.

**ESCALANTE S. R. I.**, Catalán H., (2008). *Situación actual del sector agropecuario en México: perspectivas y retos*. "Crecimiento Económico en México: agotamiento o sustentabilidad". Universidad Nacional Autónoma de México. Núm. 350. Pág. 7-25.

**FAO.**, (2009). *Representación de la FAO en México: más de 60 años de cooperación 1945-2009*. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. Libro elaborado por AGROANALISIS AC. Pág. 34-70.

**FERNÁNDEZ H. M. A.**, (2010). *Síntesis de derivados esteroidales con actividad biológica: anticancerígenos y promotores del crecimiento vegetal*. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Químicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Pág. 272-280.

**FLETES O. H. B.**, (2000). *Coordinación territorial en las cadenas de producción de la agroindustria de mango en dos regiones de Colima: 1990-1999*. Tesis de Maestría. San Antonio del Mar, Baja California: El Colegio de la Frontera Norte. Pág. 12-39.

**GALICIA E. M. L.**, (2014). *Efecto del análogo de brasinoesteroide aBR4 en el desarrollo y/o crecimiento de las plántulas de L. anceps cultivadas in vitro*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Pág. 4-40.

**GÓMEZ S. D. M.**, (2013). *Efecto de análogos de brasinoesteroides en la lámina de arroz*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Pág. 39-52.

**HIDALGO P.N.**, (2012). *Efecto de análogos de brasinoesteroides en frijol (Phaseolus vulgaris)*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Pág. 40-55.

**IZQUIERDO O. H.**, (2011). *Actividad biológica de los brasinoesteroides y sus análogos en las plantas*. Revista ciencia. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas Temas de Ciencia y Tecnología. Vol. 15. Número 43. Pág. 45 – 50.

**KHRIPACH V. A.**, Zhabinskii V. N., Groot de A., (2000). *Twenty Years of Brassinosteroids: Steroidal Plant Hormones Warrant Better Crops for the XXI Century*. Annuals of Botany. Núm. 86. Pág. 441-447.

**MANDAVA B.**, (1988). *Plant growth-promoting brassinoesteroids*. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 39:23-52.

**MAZZILLI S.**, (2012). *Fisiología maíz y sorgo*. Curso de Fisiología de Cultivos. Pág. 1-89.

**MONOGRAFÍA TOMATE ROJO (JITOMATE)**, (2009). Financiera rural, Dirección general adjunta de planeación estratégica y análisis sectorial. Pág. 1-3.

**MORENO C. A.**, (2010). *Efecto de Análogos de Brasinoesteroides en Diferentes Variedades de Maíz (Zea mays L.) Criollo*. Tesis de Licenciatura. Escuela de Biología. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Pág.20-28.

**NUÑEZ M.**, Mazorra L. M., Reyes Y., Martínez L., (2010). *Los brasinoesteroides y las respuestas de las plantas a estrés abióticos. Una visión actualizada*. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Cultivos tropicales. Vol. 31, No. 2, Pág. 56-65.

**NUÑEZ M.**, (2000). *Los brasinoesteroides y su actividad biológica*. La Habana. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Pág. 29-35.

**PERÉZ J.**, Hurtado G., Aparicio V., Argueta Q., Larín M. A., (2002). *Cultivo de tomate*. CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA Y FORESTAL. Pág. 2-47.

**PERÉZ L. B. F.**, (2010). *Efecto de análogos de brasinoesteroides en monocotiledóneas y dicotiledóneas*. Tesis de Licenciatura. Escuela de Biología. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Pág. 3-78.

**PRESELLO D. A.**, Céliz A. E., Guevara E. R., Meira S. G. (2006). *Asociación entre caracteres evaluados en estados juveniles y el rendimiento en grano de líneas de maíz en condiciones de sequía*. Revista de la Facultad de Agronomía la Plata 106(1):27-36.

**REYES G. Y.**, Rosabal A. L., Martínez G. L., Mazorra M. L., Nuñez V. M., (2014). *Efecto de los brasinoesteroides y un inhibidor de su biosíntesis en plántulas de dos variedades de tomate sometidas a estrés salino*. Cultivos tropicales. Vol. 35, No. 1, Pág. 25-34.

**RIVERA E. V.**, (2013). *Efecto de análogos de brasinoesteroides en el bioensayo de la inclinación de la lámina de arroz (Oriza sativa)*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Pág. 2-49.

**RODRÍGUEZ A. M.**, Moreno C. A., Sandoval R. J., Herrera F. M. A., (2009). *Effects of synthetic brassinosteroids in native maize (Zea mays L.)*. American Society of Plants Biologists [en línea]. Honolulu, Hawaii. July.

**ROJAS L. H.**, (2015). *Efecto del análogo de brasinoesteroide BSS4 en el desarrollo de plántulas de Epidendrum Ciliare (Orquidaceae)*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Pág. 20-31.

**ROMERO M. K.**, (2015). *Evaluación de 2 análogos de brasinoesteroides a nivel de invernadero en una variedad de frijol negro (Phaseolus vulgaris)*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Pág.31-57.

**SÁENZ L.**, Córdova I., Rodríguez F., (2014). *Los brasinoesteroides. Una nueva clase de hormonas vegetales*. Revista de la Academia Mexicana de Ciencias (AMC). Volumen 65 número 4. Pág. 1-9.

**SAGARPA**, (2010). *Monografía de cultivos: Tomate*. Subsecretaría de fomento a los negocios (SFA).

**SAGARPA**, (2014). *Programa de fomento agrícola, Componente: Programa de incentivos para productores de maíz y frijol (PIMAF)*. Subsecretaría de Agricultura, Dirección General de Productividad y Desarrollo Tecnológico. Pág. 1-13.

**SALGADO R. G.**, Cortés R. M.A., DEL RÍO R. E., (2008). *Uso de brasinoesteroides y sus análogos en la agricultura*. Publicado por la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. CIENCIAS BIOLÓGICAS, No. 10, Pág.18-27.

**SALVADOR J. R.**, (1997). *The Maize*. The Encyclopedia of Mexico: History, Culture and Society. Fitzroy Dearborn. Pág. 1-14.

**SIAP** (SERVICIO DE INFORMACION AGROALIMENTARIA Y PESQUERA), (2014). *Maíz (Zea mays)*. SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación).

**SRIVASTAVA L. M.**, (2002). *Plant Growth and Development: Hormones and Environment*. Academic Press. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol., 49, Pág. 772.

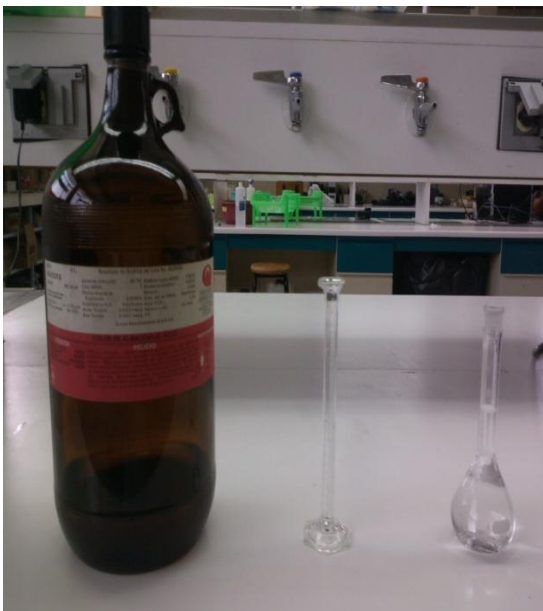
**VÁZQUEZ R. Y. A.** (2014). *Evaluación de análogos de brasinoesteroides mediante el bioensayo de la inclinación de la lámina de arroz (Oriza sativa)*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Pág. 3-48

**YANELIS R.**, Mazorra L. M., Martínez L., Nuñez M., (2010). *Efecto del análogo de brasinoesteride (BIOBRAS-16) en la germinación y el crecimiento inicial de las plantas de dos variedades de tomate en condiciones de estrés salino*. Cultivos Tropicales. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Vol. 31, No. 3, Pág. 82-88.

## 12. ANEXOS

### ANEXO A: Preparación de las concentraciones de aBR

1. Pesar 1mg de aBR en balanza analítica y posteriormente colocar en un matraz aforado de 100 mL previamente desinfectado.
2. Disolver el aBR en un matraz agregando 2 mL de la acetona preparada al 2 %.
3. Calentar agua hasta llegar a  $38\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  y mantenerla a esta temperatura para todas las soluciones.
4. Aforar a 100 mL con el agua previamente caliente ( $38\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ) el matraz que contiene el aBR disuelto en acetona. Esta será la solución madre al 10.0mg/L de la cual derivaran las concentraciones necesarias siguientes.
5. De la solución madre de aBR al 10.0mg/L se toman 10mL y se colocan en otro matraz de 100mL, agregando 1.8mL de acetona, y aforar con agua a  $38\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  obteniendo una concentración del aBR de 1.0mg/L.
6. Del aBR a 1.0 mg/L se toman 10 mL colocándolos en otro matraz de 100 mL y agregando 1.8 mL de acetona se afora con el agua a  $38\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Con ello se obtienen 100mL de BSS a una concentración de 0.1mg/l.
7. Del aBR a 0.1 mg/L se toman 10 mL colocándolos en otro matraz de 100 mL y se le agrega 1.8 de acetona, se afora con el agua caliente a  $38\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  obteniendo de esta manera 100 mL de BSS a una concentración de 0.01 mg/L.



## **ANEXO B: Elaboración de sistemas de germinación para semillas de maíz y tomate.**

1. Para la elaboración de los sistemas de germinación de maíz, se utilizó la "Técnica de las muñecas" (Moreno, 1984) el cual fue modificado en el laboratorio por Rodríguez *et al.* (2009), se empleó papel filtro de 50cm de ancho por 25 cm de largo. A cada papel filtro se le marca con lápiz segmentos cada 3cm a lo ancho del papel en la parte inferior y superior del papel, cortando 2cm sobrantes. Se marca una línea horizontal a partir del segundo segmento hasta tener 7 líneas, donde se coloca cada semilla. El papel se dobla de acuerdo con las líneas marcadas, a manera de quedar un acordeón, haciendo el primer doblé hacia afuera. En las 7 líneas marcadas anteriormente se coloca un trozo de cinta doble, scotch para que la semilla quede adherida al papel filtro.



2. Estos acordeones se introducen de forma vertical en tubos de PVC de 5 cm de diámetro. Los tubos de PVC se obtienen cortando con una sierra fragmentos de 25cm de largo.
3. Una vez teniendo el acordeón con las semillas tratadas (aBR) son montados en vaso colectores de plástico capacidad 100 mL.



4. Para colocar las semillas de maíz en la sustancia a tratar durante 5 horas, necesitamos fragmentos de PVC de 10 cm de tubo de PVC de 4 cm de diámetro, y en uno de los extremos colocar tela mosquitera.



5. Posteriormente para la germinación de las semillas de maíz, se colocaron en una cámara de germinación (germinadora con fotoperiodo y control-regulador de humedad relativa) en la cual las condiciones de temperatura fueron a  $25 \pm 1$  °C, con 12 horas-luz y 12 horas-oscuridad y una humedad relativa de 50%-60% durante 10 días.



6. Para la elaboración del sistema de germinación para las semillas de jitomate en invernadero: Se utilizaron contenedores forestales de 49 conos (modelo M-49 de 16.5x30.0x30.0); cada cono con medidas de 19x4 y con una capacidad de 125 mL. A cada cono se le agregó sustrato (peatmoss y agrolita en la proporción 2:1), y se colocó una semilla por cada cono. Para mantener la humedad se realizaron riegos, administrando 30 mL de agua cada 24 h hasta culminar los 20 días de germinación.



7. Sistema de germinación para las semillas de maíz y jitomate en invernadero: Para la germinación de maíz y jitomate se utilizaron macetas, de dimensiones: 20 cm diámetro superior externo, 17 cm diámetro inferior y 16 cm de altura. A cada maceta se le agregó 1.5 kg de sustrato (arena y peat mos, en proporción 2:1). Se optó por este sustrato debido a que retiene la humedad y tiene condiciones idóneas para el desarrollo de las plantas, además de tener un pH de 7.0, se encuentra dentro del rango requerido tanto para maíz como para jitomate. La siembra se realizó de manera manual enterrando la semilla a una profundidad de 3 cm (Domínguez *et al.*, 2001) para maíz y de 1 cm para jitomate. Se realizaron riegos cada 48 h, administrando 400 mL de agua hasta los 40 días de crecimiento, posteriormente se agregó 500 mL de agua cada 24 h hasta los 90 días de crecimiento.



## ANEXO C: Maíz criollo (peso fresco)

### Efecto de los aBR en maíz criollo a los 10 días en pruebas de laboratorio.

- Parámetros de biomasa

Peso fresco: El peso fresco de la parte aérea de las plantas se incrementó con respecto al control por todos los tratamientos, sin embargo solo fue significativo en las plantas tratadas con los aBR4, aBR16, aBR18 y HBL. De estos análogos, el aBR18 promovió el mayor peso fresco de la parte aérea, superando el peso del control en un 76% incrementando de 0.92 g a 1.62 g, y con respecto a la HBL aumentó de 1.20 g a 1.62 g que corresponde a un 35%. El peso fresco de la raíz de las plantas se incrementó en todos los tratamientos con respecto al control, sin embargo este incremento solo fue significativo en las plantas tratadas con los aBR4, aBR8 y aBR18. El aBR18 promovió el mayor peso fresco de la raíz, aumentando de 1.04 g a 1.79 g e incrementó en un 72.1% comparado con el control, y favoreció el incremento con respecto a la HBL en un 47.9% al aumentar de 1.21 g a 1.79 g (Tabla 19).

**Tabla 20.** Valores medios de los parámetros de biomasa fresca de las plantas de maíz criollo, a los 10 días (V2).

	PESO FRESCO PARTE AÉREA g (±) DE	PESO FRESCO RAÍZ g (±) DE
TRATAMIENTOS	V2 (10 DÍAS)	
CONTROL	0.92 ± 0.3	1.04 ± 0.0
HBL	1.20 ± 0.1***	1.21 ± 0.1
aBR 4	1.14 ± 0.1**	1.46 ± 0.2***+
aBR 8	1.0 ± 0.1	1.47 ± 0.1***+
aBR 12	1.03 ± 0.2	1.13 ± 0.3
aBR 16	1.22 ± 0.1*	1.08 ± 0.0
aBR 18	1.62 ± 0.3***+	1.79 ± 0.4***+

\*Representan los tratamientos que difieren significativamente del control  $P \leq 0.5$ ; + Representan los tratamientos significativamente superiores de HBL  $P \leq 0.5$

## Efecto de los aBR en maíz criollo a los 40 días en pruebas de invernadero

- Parámetros de biomasa.

Peso fresco: El peso fresco de la parte aérea y de la raíz se incrementó significativamente con respecto al control en todas las plantas tratadas con los aBR y HBL. De estos análogos, el aBR18 promovió el mayor peso fresco de la parte aérea, incrementando de 6.06 g a 7.29 g y aumentó un 20.2% con respecto al control, e incrementó el peso de 6.84 g a 7.29 g que corresponde a un 6.5% comparado con la HBL. De la misma manera el aBR18 aumentó el peso fresco de la raíz de 3.42 g a 5.93 g incrementando un 73.3% con respecto al control, y promovió el incremento en un 31.1% al aumentar de 4.52 g a 5.93 g comparado con la HBL (Tabla 20).

**Tabla 21.** Valores medios de los parámetros de biomasa fresca de las plantas de maíz criollo, a los 40 días (V6).

	PESO FRESCO PARTE AÉREA g (±) DE	PESO FRESCO RAÍZ g (±) DE
TRATAMIENTOS	V6 (40 DÍAS)	
CONTROL	6.06 ± 0.19	3.42 ± 0.12
HBL	6.84 ± 0.10*	4.52 ± 0.08***
aBR 4	7.08 ± 0.13**	4.43 ± 0.07***
aBR 8	6.84 ± 0.07*	5.51 ± 0.11***
aBR 12	6.76 ± 0.24*	5.03 ± 0.22***
aBR 16	6.71 ± 0.23*	4.45 ± 0.12***
aBR 18	7.29 ± 0.18***	5.93 ± 0.09***

\*Representan los tratamientos que difieren significativamente del control  $P \leq 0.5$ ; + Representan los tratamientos significativamente superiores de HBL  $P \leq 0.5$

## ANEXO D: Maíz híbrido (peso fresco)

### Efecto de los aBR en maíz híbrido a los 10 días en pruebas de laboratorio.

- Parámetros de biomasa

Peso fresco: El peso fresco de la parte aérea de las plantas se incrementó con respecto al control por todos los tratamientos, sin embargo este incremento solo fue significativo en las plantas tratadas con los aBR4, aBR12, aBR18 y HBL. De estos

análogos, el aBR4 promovió el mayor peso fresco de la parte aérea, superando el peso del control en un 57.2% incrementando de 0.96 g a 1.51 g, y aumentando de 1.27 g a 1.51 g que corresponde a un 18.8% con respecto a la HBL. El peso fresco de la raíz de las plantas se incrementó significativamente en todos los tratamientos con respecto al control. El aBR8 promovió el mayor peso fresco de la raíz, aumentando de 1.11 g a 1.8 g incrementado un 60.3% comparándolo con el control, y favoreció el incremento con respecto a la HBL en un 62.1% al aumentar de 1.38 g a 1.78 g (Tabla 21).

**Tabla 22.** Valores medios de los parámetros de biomasa fresca de las plantas de maíz híbrido, a los 10 días (V2).

	PESO FRESCO PARTE AÉREA g (±) DE	PESO FRESCO RAÍZ g (±) DE
TRATAMIENTOS	V2 (10 DÍAS)	
CONTROL	0.96 ± 0.12	1.11 ± 0.10
HBL	1.27 ± 0.06***	1.38 ± 0.31***
aBR 4	1.51 ± 0.17***	1.58 ± 0.23***
aBR 8	1.06 ± 0.13	1.8 ± 0.19***
aBR 12	1.07 ± 0.18*	1.78 ± 0.20***
aBR 16	1.03 ± 0.08	1.74 ± 0.17***
aBR 18	1.11 ± 0.12***	1.56 ± 0.19***

\*Representan los tratamientos que difieren significativamente del control  $P \leq 0.5$ ; + Representan los tratamientos significativamente superiores de HBL  $P \leq 0.5$

### Efecto de los aBR en maíz híbrido a los 40 días en pruebas de invernadero

- Parámetros de biomasa.

Peso fresco: El peso fresco de la parte aérea y de la raíz se incrementó con respecto al control en todas las plantas tratadas con los aBR y HBL, sin embargo solo los aBR16, aBR18 y HBL incrementaron significativamente el peso. El aBR18 promovió el mayor peso seco de la parte aérea, al incrementar de 6.36 g a 7.1 g y aumentó un 11.6% con respecto al control, e incrementó el peso de 6.91 g a 7.1 g que corresponde a un 2.7% comparado con la HBL. De la misma manera el aBR18 aumentó el peso fresco de la raíz de 3.48 g a 5.84 g incrementando un 67.8% con respecto al control, y promovió el incremento en un 32.1% al aumentar de 4.42 g a 5.84 g comparándolo con la HBL (Tabla 22).

**Tabla 23.** Valores medios de los parámetros de biomasa fresca de las plantas de maíz híbrido, a los 40 días (V6).

	PESO FRESCO PARTE AÉREA g (±) DE	PESO FRESCO RAÍZ g (±) DE
TRATAMIENTOS	V6 (40 DÍAS)	
CONTROL	6.36 ± 0.07	3.48 ± 0.1***
HBL	6.91 ± 0.14*	4.42 ± 0.1***
aBR 4	6.74 ± 0.22	4.33 ± 0.00***
aBR 8	6.63 ± 0.20	5.35 ± 0.1***+
aBR 12	6.51 ± 0.09	5.06 ± 0.0***+
aBR 16	6.9 ± 0.17*	4.11 ± 0.0***
aBR 18	7.1 ± 0.16**	5.84 ± 0.00***+

\*Representan los tratamientos que difieren significativamente del control  $P \leq 0.5$ ; + Representan los tratamientos significativamente superiores de HBL  $P \leq 0.5$

## ANEXO E: Jitomate (peso fresco)

### Efecto de los aBR en jitomate a los 20 días en pruebas de invernadero.

- Parámetros de biomasa

Peso fresco: El peso fresco de la parte aérea de las plantas se incrementó significativamente con respecto al control por todos los tratamientos, sin embargo no fue significativo con el aBR16. De estos análogos, el aBR12 promovió el mayor peso fresco de la parte aérea, superando el peso del control en un 68.7% al aumentar de 0.16 g a 0.27 g, e incrementó de 0.22 g a 0.27 g que corresponde a un 22.7% con respecto a la HBL. El peso fresco de la raíz de las plantas se incrementó significativamente en todos los tratamientos con respecto al control, con excepción del aBR16. El aBR12 promovió el mayor peso fresco de la raíz, aumentando de 0.11 g a 0.18 g al incrementar en un 63.3% comparado con el control, y favoreció el incremento en un 28.5% al aumentar de 0.14 g a 0.18 g con respecto a la HBL (Tabla 23).

**Tabla 24.** Valores medios de los parámetros de biomasa de las plantas de jitomate, a los 20 días.

	PESO FRESCO PARTE AÉREA g (±) DE	PESO FRESCO RAÍZ g (±) DE
TRATAMIENTOS	FASE INICIAL (20 DÍAS)	
CONTROL	0.16 ± 0.02	0.11 ± 0.2
HBL	0.22 ± 0.05***	0.14 ± 0.02***
aBR 4	0.24 ± 0.04***+	0.17 ± 0.02***+
aBR 8	0.19 ± 0.02**	0.13 ± 0.02***
aBR 12	0.27 ± 0.04***+	0.18 ± 0.02***+
aBR 16	0.17 ± 0.04	0.12 ± 0.01
aBR 18	0.24 ± 0.03***+	0.16 ± 0.02***+

\*Representan los tratamientos que difieren significativamente del control  $P \leq 0.5$ ; + Representan los tratamientos significativamente superiores de HBL  $P \leq 0.5$

### Efecto de los aBR en jitomate a los 40 días en pruebas de invernadero

- Parámetros de biomasa

Peso fresco: El peso fresco de la parte aérea de las plantas se incrementó con respecto al control por todos los tratamientos, sin embargo fue significativo con los aBR4, aBR12 y aBR18. De estos análogos, el aBR12 promovió el mayor peso fresco de la parte aérea, superando el peso del control en un 31.2% al incrementar de 2.11 g a 2.77 g, y con respecto a la HBL aumentó de 2.35 g a 2.77 g que corresponde a un 17.8%. El peso fresco de la raíz de las plantas se incrementó significativamente con respecto al control en las plantas tratadas con los aBR4, aBR12 y aBR18. El aBR12 promovió el mayor peso fresco de la raíz, al incrementar comparándolo con el control en un 35.4% y aumentando de 1.89 g a 2.56 g, también favoreció el incremento con respecto a la HBL un 24.8% al aumentar de 2.05 g a 2.56 g (Tabla 24).

**Tabla 25.** Valores medios de los parámetros de biomasa de las plantas de jitomate, a los 40 días.

	PESO FRESCO PARTE AÉREA g (±) DE	PESO FRESCO RAÍZ g (±) DE
TRATAMIENTOS	DESARROLLO VEGETATIVO (40 DÍAS)	
CONTROL	2.11 ± 0.07	1.89 ± 0.21
HBL	2.35 ± 0.06	2.05 ± 0.04
aBR 4	2.48 ± 0.19**	2.40 ± 0.03***+
aBR 8	2.28 ± 0.08	2.18 ± 0.02*
aBR 12	2.77 ± 0.04***+	2.56 ± 0.05***+
aBR 16	2.14 ± 0.11	1.94 ± 0.07
aBR 18	2.65 ± 0.08***+	2.30 ± 0.02**+

\*Representan los tratamientos que difieren significativamente del control  $P \leq 0.5$ ; + Representan los tratamientos significativamente superiores de HBL  $P \leq 0.5$