SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

Tecnológico Nacional de México

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL

EFECTO DEL ÁCIDO SALICÍLICO SOBRE LA CALIDAD DE PLÁNTULAS DE TOMATE

TESIS

Que presenta:

María Gabriela Dzib Ek

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestra en Ciencias en Horticultura Tropical

Director de tesis:

Dr. Eduardo Villanueva Couoh

Conkal, Yucatán, México
Noviembre, 2017

SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de Conkal

Conkal, Yucatán, México, 10 de Noviembre de 2017.

El comité de tesis del candidato a grado: María Gabriela Dzib Ek, constituido por los CC. Dr. Eduardo Villanueva Couoh, Dr. René Garruña Hernández y Dr. Alfonso Larqué Saavedra, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: Efecto del ácido salicílico sobre la calidad de plántulas de tomate, que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Ciencias en Horticultura Tropical, según lo establece el Capítulo 2, inciso 2.13.3, de los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, dictaminaron su aprobación para que pueda ser presentada en el examen de grado correspondiente.

ATENTAMENTE

Dr. Eduardo Villanueva Couoh
Director de Tesis

Dr. Alfonso Larqué Saavedra
Codirector de Tesis

Dr. René Garruña Hernández
Asesor de Tesis

Conkal Yucatán, 10 de Noviembre del 2017

DECLARATORIA DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en las secciones materiales y métodos, resultados y discusión de este documento, es producto del trabajo de investigación realizado durante mi estudio de posgrado y con base en los términos de la Ley Federal de Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial le pertenece patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Conkal. En virtud de lo manifestado reconozco que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de lo correspondiente a dicha información son propiedad de la citada institución educativa.

Biol. María Gabriela Dzib Ek

CONTENIDO

CAPÍTULO 1 1
1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL 1
1.2 ANTECEDENTES 2
1.2.1 El tomate 2
1.2.2 Descripción taxonómica 3
1.2.3 Características morfológicas 3
1.2.4 Importancia económica 5
1.2.5 Reguladores de crecimiento Vegetal (RCV) 5
1.2.6 Ácido salicílico (AS) 6
1.2.7 Origen del ácido salicílico (AS) 6
1.2.8 Biosíntesis del ácido salicílico 7
1.2.9. Presencia en plantas 7
1.2.10 Efecto del ácido salicílico en plantas 7
1.2.11 Procesos metabólicos en los que interviene el ácido salicílico 9
1.2.12 Imbibición 9
1.3 HIPÓTESIS 10
1.4 OBJETIVOS 11
1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL 12
1.6 LITERATURA CITADA 13
CAPÍTULO II 19
2.1 RESUMEN 19
2.2 INTRODUCCIÓN 22
2.3 MATERIALES Y MÉTODOS 24
2.3.1 Localización del experimento 24
2.3.2 Material vegetal 24
2.3.3 Efecto del AS sobre la germinación de la semilla 24
3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 28
3.4.1 Efecto del ácido salicílico sobre la germinación 28
3.4.2 Efecto del ácido salicílico sobre la longitud la raíz *in vitro* 30
3.4.3 Altura de tallo 32

3.4.3 Diámetro de tallo 33
3.4.4 Número de hojas 35
3.4.5 Longitud radical 36
3.4.6 Volumen radical 38
3.4.7 Biomasa fresca hoja, tallo y raíz 39
3.4.7 Biomasa seca de hoja, tallo y raíz 41
3.4.7 Índice de esbeltez y calidad de Dickson 44
3.5 CONCLUSIONES 46
3.6 LITERATURA CITADA 47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1.	Preparación de ácido salicílico	25
2.	Imbibición de semillas de tomate	25
3.	Siembra de semillas de tomate en frascos de vidrio	26
4.	Porcentaje de germinación sobre agua destilada	29
5.	Porcentaje de germinación sobre ácido salicílico	30
6.	Longitud radicular en contacto con agua	31
7.	Longitud radicular en contacto con ácido salicílico	32
8.	Altura de tallo	33
9.	Diámetro de tallo	35
10	Número de hojas	36
11	Longitud radical	37
12	Volumen radical	38
13	Peso fresco de hoja	40
14	Peso fresco de tallo	40
15	Peso fresco de raíz	41
16	Peso seco de hoja	42
17	Peso seco de tallo	43
18	Peso seco de raíz	43
19	Índice de esbeltez de plántulas de tomate0	44
20	Índice de calidad de Dickson de plántulas de tomate	45

DEDICATORIAS

Primero a Dios por darme salud y permitirme terminar esta parte académica y poner gente buena en mi camino para terminar satisfactoriamente mi maestría.

Papá que desde niña me impulsaste a ser mejor cada día, ~~que~~ me enseñaste que cuando se quiere algo en la vida hay que esforzarse para lograrlo y hoy con tu incansable apoyo logramos alcanzar una meta más gracias papá.

Mamá muchas gracias por tus consejos, oraciones por que sin lugar a duda decidiste dejar a un lado tus sueños para ejercer la profesión más difícil: la de ser mi mamá. Gracias mamá lo logramos.

A mis mejores amigas, las que me aceptan tal cual soy con mis defectos, las que me dieron fortaleza para continuar en los momentos cuando me sentía perdida, sin lugar a duda es un honor ser su hermana, Janet, Susi y mi hija felina Sunchita bebé las adoro…

A mis abuelitos, Amada mi abuelita consentidora y Francisco **(+)** mi abuelito alegre te extraño y sé que estas muy contento por mí. Los quiero mucho gracias por ser mis abuelitos, muchas gracias por sus consejos, amor, su tiempo los amo con todo mi corazón. Lo mismo para mis abuelitos Bertha y Placido.

A mi tío Cecilio que siempre me apoyo con sus consejos su compañía por sus valiosas palabras y oraciones, muchas gracias tío.

A mis tíos queridos Pepé y Coty muchas gracias por sus oraciones, consejos, sus muestras de cariño y sobre todo por su valiosa compañía en este proyecto los quiero.

Muchas gracias a mis tíos, mis primos, en general a toda mi familia que de alguna manera me ayudaron, muchas gracias.

A mi eterno enamorado Walther Torres gracias amor por impulsarme, por motivarme, por creer en mí y vivir juntos esta aventura, mejor compañero de vida no me pudo haber dado DIOS.

A mi cuñado Samuel que te has portado como el hermano que no tuve muchas gracias por tu apoyo y tu amistad, gracias también a tu familia.

A NUBE ese angelito que sin duda durante esta etapa fue mi compañero, mi amigo, mi guardián, te quiero mucho.

A la Dra. Ada Ascencio Álvarez **(+)** por su valiosa y hermosa amistad, por su tiempo, sus consejos, los momentos de estrés y sobre todo por ser un ejemplo a seguir, muchas gracias doctora.

A todos mis amigos, compañeros de la escuela y del laboratorio que me brindaron su apoyo, su amistad pero sobre todo estuvieron conmigo en los momentos de estrés, muchas gracias: Bianqui, Danika, Alain (#Bitchbrother), Steve, Hanna, Jenny, Aida, Cinthia, Citlally, Gina, Magui, Nelly, Cindy, Lima, Mota, Rocío, Teré, Lupis, Alex, Marcos, Monserrat, Christhian, Luis Dos Santos, Salome, Roberto, Beny, Zulemi, Nubia, Cholul, Felipe, Pepé, Nacho, Fercho, Chucho, Jhony, Gelmy, Sarabia, a mi amigo Chinis, Isabelita alicastrum, Jesica chinense.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico de Conkal (ITC), Yucatán, a mis maestros por permitirme cursar mis estudios y realizar uno de mis más anhelados propósitos.

Al Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), por abrirme sus puertas y permitirme mi superación personal y aceptarme para realizar mí trabajo de tesis de maestría.

A mi comité de tesis, conformado por: el Dr. Alfonso Larqué Saavedra, Dr. Eduardo Villanueva Couoh y Dr. René Garruña Hernández, por sus excelentes ideas, buena disposición, profesionalismo, correcciones, paciencia, disponibilidad para esta investigación y sugerencias, siempre tan bienvenidas, pero sobre todo por su calidad humana, muchas gracias.

A Silvia Vergara Yoisura por sus sugerencias, disposición, confianza y apoyo en la tesis, pero sobre todo su valiosa amistad.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada para la realización de mi estudio de posgrado, gracias.

Al jefe del Departamento de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI), Dr. Esaú Ruíz Sánchez por su apoyo, calidad humana, enseñanzas y orientación constante durante la maestría, muchas gracias doctor.

A todos mis maestros de la Maestría en Ciencias en Horticultura Tropical, por sus enseñanzas, disponibilidad, amistad, pero sobre todo por influir en formación académica, muchas gracias: Dra. Alejandra Moreno, Dr. Luis Pinzón, Dr. Arturo Reyes, Dr. Andueza Noh, Dr. Jairo Alejo, Dr. Alfonzo Madrazo Velásquez y Dr. Carlos Alvarado.

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.), es una hortaliza que pertenece a la familia de las solanáceas, es consumido a nivel mundial en diferentes formas debido a sus propiedades nutricionales y antioxidantes. Es una de las hortalizas más importantes en varios países, debido principalmente a su alto valor económico reflejado en su alta demanda, con mercados para consumo fresco o industrializado (Rodríguez, 2006). En México, el tomate es una de las especies hortícolas con gran trascendencia, tanto en lo económico que, se refleja en el valor que tiene la producción en la aportación de divisas a la balanza agropecuaria (SNIEG, 2009), como en lo social que, se mide por la cantidad de empleos generados durante el cultivo y comercialización de esta hortaliza. Es por ello, que el tomate se cultiva en toda la República Mexicana (SIAP 2013).

Uno de los pasos más importantes en el proceso de producción del tomate, tanto a campo como en invernadero, es la obtención de plántulas sanas y vigorosas que garanticen un trasplante óptimo y una producción significativa, a tal grado que se ha convertido en una labor altamente calificada y especializada (Guzmán, 2003; Berrospe *et al.*, 2012). Esto le permite al agricultor disminuir el tiempo en la etapa de vivero y a la plántula adaptarse a las condiciones adversas del trasplante. Este aumento mejora el crecimiento radicular, la toma de nutrientes, los procesos de fotosíntesis, y por tanto, favorece el desarrollo de la planta (Arjona *et al.*, 1998).

Debido a su importancia comercial, se realizan investigaciones en aspectos de su cultivo, para obtener plántulas de buena calidad. El uso de biorreguladores de crecimiento, es una práctica utilizada con este fin (Latimer, 1992).

El ácido salicílico (AS) recientemente ha sido propuesto como un nuevo tipo de regulador de crecimiento vegetal (RCV), debido a los efectos inducidos en algunos procesos fisiológicos de las plantas (Raskin, 1992). El ácido salicílico es un compuesto aromático que puede inducir incrementos en la productividad (Gutiérrez-Coronado, *et al*., 1998), incrementa significativamente el crecimiento radical en bioensayos de raíces transformadas de *Catharanthus roseus* (Echevarría *et al.*, 2007). Por todo lo mencionado el objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes tiempos de imbibición de semillas de tomate sometidas a distintas concentraciones de ácido salicílico y determinar su efecto en el crecimiento de las plántulas.

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 El tomate

El tomate es una hortaliza que es especialmente importante para la región andina, pues se conoce que es originario de los Andes, específicamente de Colombia, Perú, Chile, Ecuador y Bolivia (Arie, *et al.*, 2007; Nuez, 2001) en donde se encuentran todavía varias especies silvestres. Aunque no se conoce con exactitud el origen del tomate común cultivado, se cree que tuvo su origen en Perú y Ecuador, pero se sabe que el primer cruzamiento entre variedades de tomate se realizó en México hace más de 1000 años, donde era conocido como *tomatl* (Nuez, 2001; Rodríguez, *et al.*, 2001) terminando aproximadamente en el siglo XV, cuando los españoles lo llevaron a Europa (Arie, *et al.*, 2007).

1.2.2 Descripción taxonómica

Reino: Plantae

División: Angiospermeae

Clase: Dicotiledónea

Orden: Tubiflorae

Familia: Solanaceae

Género: *Solanum*

Especie: *Solanum lycopersicum* L.

1.2.3 Características morfológicas

El tomate es una planta potencialmente perenne y muy susceptible a las heladas. El sistema radicular del tomate consiste en una raíz principal pivotante, la cual crece alrededor de 3 cm por día hasta alcanzar los 60 cm de profundidad, al mismo tiempo crecen simultáneamente raíces adventicias que forman una red densa ocupando un volumen determinado en el suelo El tallo de la planta de tomate es herbáceo y recto durante los primeros días de desarrollo, para luego doblarse, por consecuencia del peso de la planta, por lo que se necesita de tutores para su apoyo. El tallo puede llegar a medir hasta 2,5 m y tiene tricomas y glándulas que le dan a la planta su olor característico (Rodríguez, *et al.*, 2001).

Las hojas son compuestas y alternadas, el limbo esta seccionado en 7, 9 y hasta 11 foliolos al igual que el tallo las hojas tienen las mismas glándulas de secreción de olor (Rodríguez, *et al.*, 2001). Las flores se presentan formando inflorescencias, las cuales pueden ser simples, cima unípara, cima bípara y cima multípara, pudiendo tener hasta 50 flores por inflorescencia. El tipo simple se encuentra con más frecuencia en la parte baja de la planta, los otros tipos más abundantes se encuentra en las partes altas de la planta (Rodríguez, *et al.*, 2001).

Las flores son radiales y tienen 5 estambres. Presenta ovario súpero, bicarpelar y contiene varios primordios seminales. Los carpelos se presentan en posición oblícua con respecto al plano de la flor (Nuez, 2001). Está formada por un pedúnculo corto, el cáliz es gamosépalo y la corola gamopétala con los estambres adheridos a la corola con las anteras que forman un tubo. El gineceo presenta de dos a treinta carpelos, que al desarrollarse darán forma a los lóbulos del fruto (Rodríguez, *et al.*, 2001). Antes, el género *Lycopersicum* (Nombre antiguo del género del tomate) se caracterizaba por sus estambres únicos, con conectivos alargados, a diferencia de los otros géneros de la familia (Nuez, 2001).

Cuando las inflorescencias se producen alternando con cada hoja o dos hojas, la planta es de crecimiento “determinado”. Si la alternancia de las inflorescencias es más espaciada, se dice que la planta es “indeterminada” (Rodríguez, *et al.*, 2001). El fruto es una baya de color amarillo, rosado o rojo por la presencia de licopeno y carotenoides. Su forma va desde redonda, achatada, forma de pera, alargada y de tamaño variable, según la variedad. En un corte transversal, se puede observar la piel, la pulpa firme, el tejido placentario y la pulpa gelatinosa que envuelve las semillas (Rodríguez, *et al.*, 2001).

Las semillas de forma lenticular su superficie está cubierta de vellosidades y restos de tegumento. Miden de 3 a 5 mm de diámetro y en un gramo de semillas puede haber de 300 a 350 semillas.

La semilla conserva su poder germinativo durante cuatro años o más si se la mantiene en condiciones adecuadas. La temperatura óptima para la germinación se da entre los 35 ºC y 10 ºC. Al germinar, la radícula se alarga, penetrando en el suelo, mientras que el coleóptilo sale a la superficie, al tiempo que los cotiledones alimental al embrión en formación para posteriormente secarse (Rodríguez, *et al.*, 2001).

1.2.4 Importancia económica

La SIAP (2013) reporta que la producción nacional para abastecer el consumo se ubicó en dos millones 727 mil 691 toneladas, suficiente para repartir 25 kilos a cada habitante del país. En los últimos años, por ventas al extranjero ingresaron al país más de mil millones de dólares en promedio anual. Aunque las dos variedades de tomate se siembran en aproximadamente la misma proporción, el rendimiento del rojo (39.5 toneladas por hectárea) es casi tres veces mayor que el del verde 14.2 toneladas por hectárea). En cuanto al volumen de producción tres cuartas partes de los tomates cosechados fueron rojos.

1.2.5 Reguladores de crecimiento Vegetal (RCV)

Los reguladores de crecimiento vegetal (RCV) son compuestos orgánicos que estimulan, inhiben o modifican de alguna forma los procesos fisiológicos de las plantas. Este fenómeno engloba a sustancias químicas naturales y sintéticas (Jankiewicz, 2003). Existen diferentes reguladores de crecimiento vegetal como las auxinas, giberelinas, citocininas, ácido abscísico y etileno.

Existen sustancias que actualmente son clasificadas también como reguladores vegetales como el ácido salicílico que se ha reportado en los últimos años como una fitoregulador al incrementar la productividad de diferentes hortalizas de interés comercial (Tucuch-Haas *et al*.,2015).

1.2.6 Ácido salicílico (AS)

El ácido salicílico es uno de los numerosos compuestos fenólicos presentes en las plantas, pertenece al grupo de los salicilatos, cuya característica química los relaciona por presentar el radical 2- hidroxibenzoico y provenir de la vía metabólica del ácido shikímico. El ácido salicílico es un polvo cristalino con un punto de fusión de 157 a 159 °C, es poco soluble en agua y muy soluble en solventes orgánicos polares.

El pH en una solución acuosa saturada es de 2.4. Tiene una fluorescencia de 412 nm excitado hasta 301 nm y por estas propiedades es más fácil estudiarlo ya que puede ser detectado dentro del sistema de las plantas (Raskin *et al*., 1990).

1.2.7 Origen del ácido salicílico (AS)

En 1763, Edward Stone informó a la Real Sociedad Londinense que un extracto de sauce (*Salix alba* L.) era eficaz para curar la angustia y las enfermedades intermitentes; lo utilizó con éxito para el tratamiento de la fiebre, lo que contenía era ácido salicílico. Poco después, el químico italiano Raffaele Pira obtuvo el ácido en estado puro. Hermann Kolbe (1859), desarrollo la estructura química y la fabricó de manera artificial. Félix Hoffman químico alemán, quien trabajaba para Bayer, en 1897 logró sintetizar el acetilato de grupo de los fenoles con el ácido salicílico. En su estado natural, el ácido salicílico proviene de una planta, la Uaria (*Spiraea uaria*) (Raskin *et al*., 1990).

1.2.8 Biosíntesis del ácido salicílico

El mecanismo más importante para la formación de ácidos benzoicos en plantas, es la degradación de la cadena lateral de los ácidos benzoicos, los cuales son importantes intermediarios en la ruta del ácido shikímico (Raskin, 1992). Actualmente se conoce que el ácido salicílico es sintetizado a partir de la eritrosa 4-P y el fosfoenolpiruvato (PEP) en tabaco y arroz (Silverman *et a*l., 1995).

1.2.9. Presencia en plantas

El AS se produce en hojas jóvenes, meristemos florales y vegetativos es transportado vía floema (Cleland y Ajami, 1974). Las hojas de arroz contienen los niveles más altos de ácido salicílico oscilando entre 0.01 y 37.19 $\mu g\ g^{-1}$ de peso fresco (Silverman *et al*., 1995).

El AS en la industria, se obtiene químicamente por medio del tratamiento de la sal de un fenol con dióxido de carbono, el cual produce el reemplazamiento de un hidrogeno anular por el grupo carboxilo, conociéndose esta reacción con el nombre de Kolbe, mediante la cual se obtiene el ácido ortobenzoico o ácido salicílico (López, 1984).

1.2.10 Efecto del ácido salicílico en plantas

Entre los efectos que causa el ácido salicílico en los vegetales están la: inhibición de la germinación o del crecimiento de la raíz y coleóptilo, la inducción de la floración e inhibición de la misma (Saxena y Rashid, 1980), el cierre de estomas y reducción de la transpiración (Larqué-Saavedra, 1975, Larqué-Saavedra, 1979; de León y Larqué-Saavedra, 1979; Trejo, 1981), mantienen turgentes los estomas y pulvinilos (Saeedi, 1984) y altera la permeabilidad de los tilacoides (Bell, 1981).

Aplicaciones exógenas de este regulador vegetal afecta positivamente la longitud (Gutiérrez-Coronado *et al*., 1998), peso, perímetro, área (Larqué-Saavedra *et al*., 2010) y morfología de la raíz (Echevarría-Machado *et al.,* 2007), así como la biomasa fresca y seca del tallo (Villanueva-Couoh *et al*., 2009). Aspersiones de ácido salicílico en concentraciones 1 µM al dosel de plántulas de trigo incrementan significativamente el peso fresco de la raíz, altura de la planta y la biomasa fresca total. También existe una tendencia a estimular la elongación de la raíz hasta 21% en promedio (Tucuch-Haas *et al*., 2015).

En la raíz del frijol *Phaseolus vulgaris* se sabe que al AS actúa sinérgicamente con auxinas, promoviendo el enraizamiento (Basu *et al.,* 1969). También se ha reportado que estimula fuertemente el desarrollo de raíces adventicias del Neem; al combinarlo con ácido indolbutírico (AIB) se inhibió el enraizamiento, concluyendo que es mejor manejarlo solo. (Mohinder *et al.,* 1992). El ácido salicílico estimula la formación de raíces adventicias en el hipocótilo de *Vigna radiata* (Ling y Li, 1995).

Larqué-Saavedra y Rodríguez (1993), reportaron estimulación de raíces con ácido acetilsalicílico (ASA), en bioensayos realizados, en *Lepidium sativum* L., bajo condiciones controladas, donde la concentración de ASA a 10^{-7} M estimuló el desarrollo de más raíces (Larqué-Saavedra, 1975).

En soya, algodonero y tabaco se observó que el AS, estimula fuertemente el crecimiento aéreo pero sobre todo el crecimiento y formación de raíces hasta en un 100% a diferencia del control (Gutiérrez-Coronado, 1997). De igual forma se reporta que aplicaciones de AS favorecen la acumulación de N, K, Mg, Fe, Mg y Cu en el tejido vegetal en condiciones de estrés por salinidad (Gunes *et al.,* 2007; Fahad y Bano, 2012).

1.2.11 Procesos metabólicos en los que interviene el ácido salicílico

El AS induce la floración de *Lemna gibba*, en días cortos (Cleand y Ajami, 1974). El ácido acetilsalicílico (ASA) en concentraciones de 10^{-2} y 10^{-3} M produce cierre estomático en plantas de frijol (Larqué, 1979). Se ha reportado que el ácido salicílico (AS) en conjunto con el ácido jasmónico regula la biosíntesis de metabolitos secundarios (Bennet y Wallsgrove, 1994), también Aumenta la producción de soya *Glycine max* L. (Sharma *et al.,* 1993; Gutiérrez-Coronado, 1997).

Se reporta que AS controla factores de crecimiento celular, muerte celular y defensa, en Arabidopsis mediado por la activación de diversas señales (Rate *et al.,* 1999). Las aplicaciones exógenas de ácido acetilsalicílico y AS inducen la tolerancia al estrés en plantas de frijol y tomate (Senaratna *et al.,* 2000). En estrés abiótico se ha reportado que el AS participa en la protección de la fotosíntesis contra el daño oxidativo (Ananieva *et al.,* 2002), contribuye en la acumulación de nutrimentos en el tejido (Khan, *et al.,* 2010).

1.2.12 Imbibición

La imbibición es el proceso de toma de agua por parte de la semilla (Moreno *et al*., 2006). Esta se da mediante la inmersión de las semillas en soluciones osmóticas o en cantidades determinadas de agua durante cierto periodo de tiempo (Henckel, 1982). La imbibición permite que un mayor número de semillas alcance rápidamente el mismo nivel de humedad y active el aparato metabólico relacionado con el proceso pregerminativo (Burgas y Powell, 1984).

Mediante el proceso de imbibición de la semilla en agua o en soluciones diversas es factible promover la germinación de la semilla así como la velocidad de germinación (Artola *et al*., 2003). Las investigaciones de Nonogaki *et al*. (2008) están orientadas a identificar factores que detonen o inhiban la germinación y aquellos que promueven el desarrollo inicial de la plántula.

1.3 HIPÓTESIS

La imbibición de semillas de tomate en concentraciones de ácido salicílico no inhibe su germinación y produce plántulas de buena calidad.

1.4 OBJETIVOS

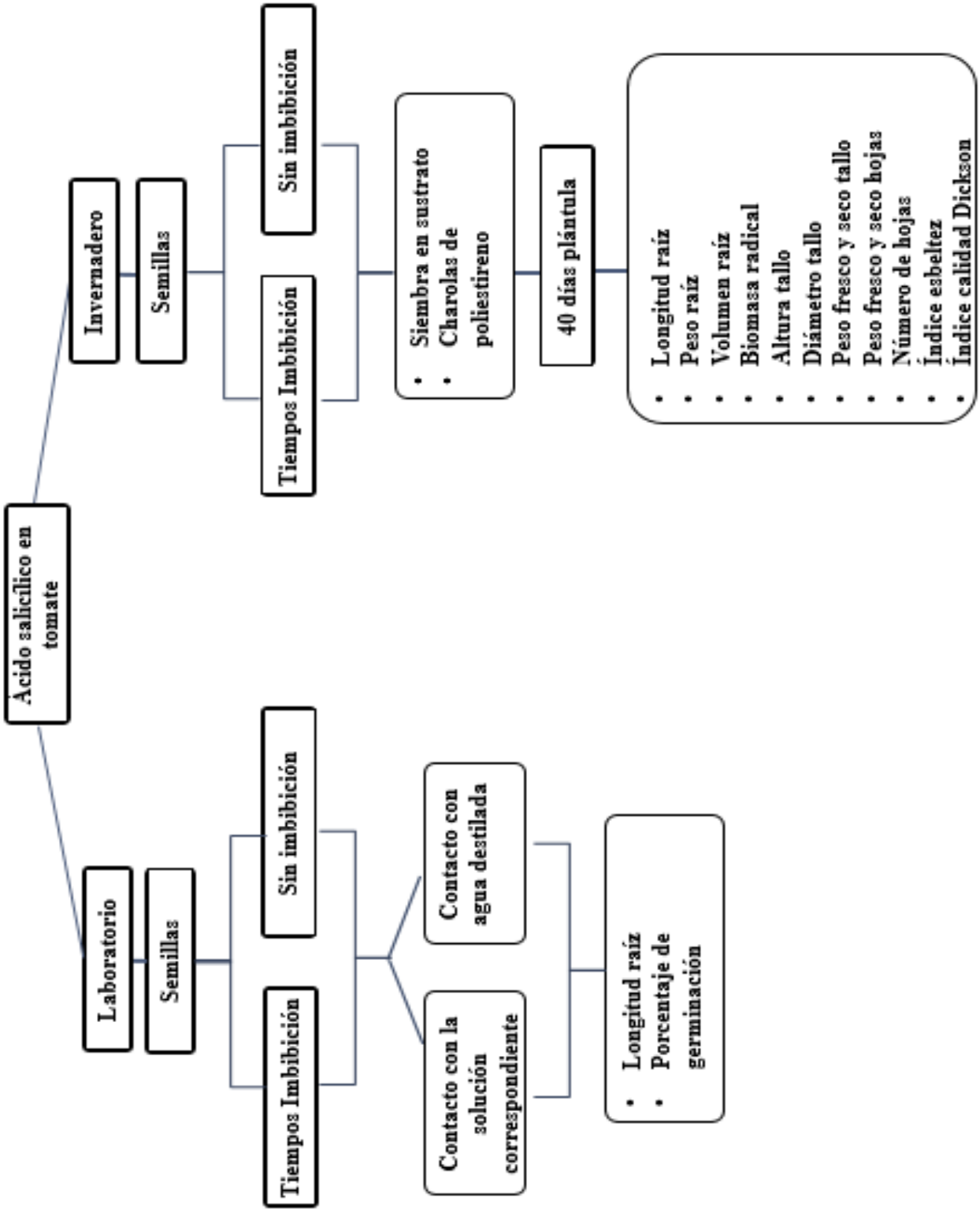
Objetivo general

Evaluar el efecto de la imbibición de semillas de *Solanum lycopersicum* L., en ácido salicílico sobre la germinación y calidad de plántulas.

Objetivos específicos

- Evaluar el porcentaje de germinación de semillas de tomate sometidas a diferentes tiempos de imbibición en ácido salicílico.
- Evaluar la longitud de la raíz *in vitro* de plántulas de tomate embebidas en ácido salicílico.
- Evaluar parámetros de calidad de las plántulas de tomate, bajo condiciones de invernadero.

1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL



1.6 LITERATURA CITADA

Ananieva, A. E., Alexieva, V. S. y Popova, P. L. 2002. Treatment with salicylic acid decreases the effcts of paraquat on photosyntesis. J. Plant physiol. 159: 685-639.

Arie, T., Takahashi, H., Kodama, M. y Teraoka, T., 2007, Tomato as a model plant for plant pathogen interaction, Plant Biotechnology, Vol 24.

Arjona, H., A. Guerrero y C. Prieto. 1998. Estudios de osmoiniciacion de semillas de cebolla de bulbo *Allium cepa* L. Agron. Colomb. 15(2), 143-152.

Artola, A., G. Carrillo-Castañeda y G. García de los Santos. 2003. Hydropriming: a strategy to increase Lotus corniculatus L. seed vigor. Seed Sci. & Technol. 31: 455-463.

Basu, R. N., Bose, T.K., Roy, B.N., y Mukhopadhyay, A. 1969. Auxin Synergist in rooting of cuttings. Physiol. Plant 22: 649–652.

Bell, A. 1981. The physiological role of secondary natural products. In: the Biochemistry of plants. E.E. Conn Editor. Academic Press, New York p. 1-17.

Bennet, R. N y Wallsgrove R. M. 1994. Secondary metabolites in plant defence mechanisms. New Phytol. 127: 617-663.

Berrospe, O., Ordaz, C., Rodríguez, M., Nieves, M y Quintero L. 2012. Cachaza como sustrato para la producción de plántula de tomate. *Revista Chapingo serie horticultura*, 18(1): 141-156.

Burgas, R. y Powell, A. 1984. Evidence for repair processes in the invigoration of seeds by hydration. Ann. Bot. 53, 753-757.

Cleland, C. F. y Ajami, A. 1974. Identification of the flower-inducing factor isolated from aphid honeydew as being salicylic acid. Plant Physiol. 54:904-906.

Echevarría-Machado, I., R. M. Escobedo-G.M and A. Larqué-Saavedra. 2007. Responses of transformed *Catharanthus roseus* roots to femtomolar concentrations of salicylic acid. Plant physiol. Biochem. 45: 501-507.

Fahad, S. and Bano A. 2012. Effect of salicylic acid on physiological and biochemical characterization of maize grown in saline area. Pak. J. Bot. 44: 1433-1438.

Gunes, A., A. Inal, M. Alpaslan, F. Eraslan, E. G. Bagci and N. Cicek. 2007. Salicylic acid changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. J. Plant Physiol. 164: 728-736.

Gutiérrez-Coronado, M. A. 1997. Reguladores de crecimiento XIII: Estudio del ácido salicílico en soya, algodonero y tabaco. Tesis de Doctorado. Colegio de postgraduados. Chapingo, México. 174 p.

Gutiérrez-Coronado, M., Trejo, C y Larqué- Saavedra, A. 1998. Effect of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. Plant physiol and biochem. 36: 563-565.

Guzmán, J. 2003. Sustratos y tecnología de almácigo. In: Memoria de cursos de producción en ambientes protegidos. San José, Costa Rica.

Henckel, P.A. 1982. Fisiología de la resistencia de las plantas al calor y a la sequía (en ruso). Nauka, Moscu.

Jankiewicz, L. S. 2003. Reguladores de creciemiento, desarrollo y resistencia en plantas Vol. 1. Propiedades y acción. Universidad autónoma de Chapingo, México 487 p.

Khan, N. A., S. Syeed, A. Masood, R Nazar y N. Iqbal. 2010. Application of salicylic acid increases contents of nutrients and antioxidative metabolism in mungbean and alleviates adverse effects of salinity stress. Int. J. Plant Biol. 1: 1-8.

Larqué-Saavedra, A. 1975. Studies on hormonal aspects of plant growth in relation chemical and environment tretments Ph. D. Thesis, University of kent. Asford. London. 54-56 p.

Larqué-Saavedra, A. 1979. Stomatal closure in response to acetylsalicylic acid treatment. Z. Pflanzenphysiol. Bd. 93:371-375.

Larqué-Saavedra, A. 1978. The antitranspirant effect of acetylsalicylic acid on *Phaseolus vulgaris* L. Physiol Plant. 43 126-128 p.

Larqué-Saavedra, A. y Rodríguez, M. 1993. Fisiología Vegetal experimental. Editorial Trillas, México, D.F. 193 p.

Larqué-Saavedra A., R. Martín-Mex, A. Nexticapan-Garcés, S. Vergara-Yoisura and M. Gutiérrez-Rendón. 2010. Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Rev. Chapingo Ser. Hortic. 16: 183-187.

Latimer, J. G. 1992. Drought, paclobutrazol, abscisic acid, and gibberellic acid as alternatives to daminozide in tomato transplant production. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117: 243–247.

Ling, L. y Li, L. 1995. Effects of resorcinol and salicylic acid on the formation adventitious roots on hypocotyls cuttings of *vigna radiata*. Jours. Tropical and Subtropical Botany. 3(4): 67-71.

Mohinder, P., Badola, K. C. y Bhandari, H.C. 1992. Stimulation of adventitious root regeneration on leafy shoot cutting of neem (*Azadirachata indica*) by auxin and phenols. Indian Jour of Forestry. 15 (1): 68-70.

Moreno, F., G. Plaza y S. Magnitskiy. 2006. Efecto de la testa sobre la germinación de semillas de caucho (*Hevea brasiliensis* Muell.). Agron. Colomb. 24(2), 290-295.

Nonogaki, H., Liu, P.-.P., Hewitt, J.R. and Martin, R.C. 2008. Regulation of seed germination and stand establishment-importance of repression of developmental programs. Acta Hort. (ISHS) 782:51-58.

Nuez, F., 2001, El cultivo del tomate, Ed. Mundiprensa, 1ra ed. Reimpresa, Madrid, España. p. 32, 35, 36.

Raskin, I.; Skubatz, H.; Tang, W. y Meeusen, B. J. 1990. Salicylic acid levels in thermogenic and nonthermogenic plant. Ann Bot. 66:369-373.

Raskin, I. 1992. Role of salicylic acid in plants. Annu Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 43:439-463.

Rate, D., Cuenca, J.,Bowman, G., Guttman, D., y Greenberg, J. 1999. The gain of fuction Arabidopsis acd6 mutant reveals novel regulation and function of the salicylic acid signaling pathway in controlling cell death, defenses an cell growth. The Plant cell. 11: 1695-1708.

Rodríguez, G.A. 2006. Injerto y composta para la producción intensiva de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en condiciones de suelo y cultivo sin suelo en invernadero. Tesis de doctor en ciencias. Colegio de postgraduados. Montecillos, México.

Rodríguez, R., Tabares, J., Medina, J., 2001, Cultivo moderno del Tomate, Ed. Mundiprensa, 2ra ed. Reimpresa, Madrid, España. p.13

Trejo, L. C. 1981. Resistencia a la SequíaIV efecto antitranspirante del ácido salicílico sobre frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis de Licenciatura. UNAM. 66 p.

Tucuch H., C. J., G. Alcántar G. y A. Larqué S. 2015. Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de la raíz y biomasa total de plántulas de trigo. Terra Latinoamericana. 33: 63-68.

Saeedi, S. J., Gaillochet, J., Bonmort y Roblin, G. 1984. Effect of salicylic and salicylic and acetyl salicylic acid on the Scatonastic and photonastic leaflet movement of Cassis faciculata. Plant Physiol. 76: 852-853 p.

Saxena, Y. K. y Rashid, A. 1980. Differentiation of budcell on the protonema of the moss Anoectanquium fhomsonii. Effect of aspirin and salicylic acid.Plfanzenphysiology. 99 187- 189 p.

Senaratna, T., Touchell, D., Bunn E., y Dixon, K. 2000. Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. Plant Growth Regul. 30: 157-161.

SIAP, 2013. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la Producción Agrícola por Cultivo "Modalidad riego temporal". SAGARPA, D.F., México. Disponible http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350 (consulta julio 05, 2013).

Silverman, P., Seskar, M., Kanter, D., Schweiezer P., Métraux J. P. y Raskin, I. 1995. Salicylic acid in rice: Biosynthesis, conjugation, and possible role. Plant Physiol. 108: 633-639 p.

Sharma, R., Kwon, H. y Ganeshan, K. P. 1993. Response of soybean (*Glycine max* (L) Merril) to seed priming with salicylic acid. Indian Jour of Ecology. 20 (1): 27.29.

SNIEG. 2009. Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica. Banco de información económica. México. : // www.snieg.mx/. (Consulta diciembre, 2015).

Villanueva-Couoh E., G. Alcántar-González, P. Sánchez-García, M. Soria-Fregoso y A. Larqué-Saavedra. 2009. Efecto del ácido Salicílico y dimetilsulfóxido en la floración de *Chrysanthemun morifolium* (Ramat) Kitamura en Yucatán. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 15: 25-31.

CAPÍTULO II

PLÁNTULAS DE TOMATE PROVENIENTES DE SEMILLAS EMBEBIDAS EN DIFERENTES SOLUCIONES DE ÁCIDO SALICÍLICO

Gabriela Dzib-Ek[1], Eduardo Villanueva-Couoh[1], René Garruña[1] y Alfonso Larqué-Saavedra[2].

[1]División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, México, C.P. 97345

[2] Centro de Investigación Científica de Yucatán, Recursos Naturales. Chuburná de Hidalgo. Mérida, Yucatán, México, C.P. 97200

2.1 RESUMEN

El tomate es una hortaliza que pertenece a la familia de las solanáceas y es importante en varios países, debido principalmente a su alto valor económico reflejado en su demanda. Debido a su importancia comercial, se realizan investigaciones en aspectos de su cultivo, para obtener plántulas de buena calidad. El ácido salicílico ha sido propuesto como un regulador de crecimiento vegetal, debido a los efectos inducidos en algunos procesos fisiológicos de las plantas. En este estudio se evaluó el efecto de la imbibición de semillas en diferentes concentraciones de ácido salicílico sobre la germinación y calidad de plántulas de *Solanum lycopersicum* L. Se utilizaron semillas de tomate variedad Río Grande con hábito de crecimiento determinado. Las semillas se sometieron a un proceso de imbibición en condiciones de laboratorio controladas. Los tratamientos evaluados fueron 1.0 µM, 0.01 µM y 0.0001 µM de ácido salicílico, como control se utilizaron un tratamiento con agua destilada y uno sin imbibición. El experimento de laboratorio se dividió en dos ensayos y para la fase de invernadero se utilizaron charolas de poliestireno de 200 cavidades. A los 40 días se cosecharon las plántulas y se midió la altura, diámetro de tallo, número de hojas, longitud y volumen de raíz así como también la biomasa, con los resultados se realizó un análisis de varianza, se realizó la prueba de

comparación de medias por el método de Tukey ($p \leq 0,05$), mediante el paquete estadístico SAS ver 9.3. Los resultados demostraron que los tiempos de imbibición de semillas en concentraciones de ácido salicílico no inhiben la germinación y con la concentración 0.0001 µM de AS y 72 horas de imbibición se obtiene una germinación del 95% en comparación con el control sin imbibición que obtuvo 89%. El riego al sustrato con ácido salicílico en plántulas de tomate, incrementaron significativamente la altura, el diámetro del tallo, número de hojas, longitud, volumen radicular así como el peso fresco y seco de hoja, tallo y raíz, parámetros para determinar plántulas de buena calidad.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L., Río Grande, germinación

ABSTRACT

Tomato is a vegetable belonging to the Solanaceae family and is important in several countries, mainly due to its high economic value reflected in its high demand. Due to its commercial importance, research is done on aspects of its cultivation, to obtain good quality seedlings. Salicylic acid has been proposed as a plant growth regulator, due to the induced effects on some physiological processes of plants. This study evaluated the effect of seed imbibition on different concentrations of salicylic acid on germination and seedling quality of *Solanum lycopersicum* L. Rio Grande variety tomato seeds with determined growth habit were used. The seeds were subjected to an imbibition process under controlled laboratory conditions. The treatments evaluated were 1.0 μM, 0.01 μM and 0.0001 μM salicylic acid, as a control treatment with distilled water and without imbibition. The laboratory experiment was divided into two trials and for the greenhouse phase 200-well polystyrene trays were used. At 40 days the seedlings were harvested and the height, stem diameter, number of leaves, root length and volume as well as biomass were measured, with the results an analysis of variance was performed, the comparison test was performed Means by the Tukey method ($p \leq 0.05$), using the statistical package SAS see 9.3. The results showed that seed imbibition times in salicylic acid concentrations do not inhibit germination and with the concentration 0.0001 μM AS and 72 hours of imbibition, a germination of 95% is obtained in comparison with the control without imbibition that obtained 89%. The irrigation to the substrate with salicylic acid in tomato seedlings significantly increased the height, stem diameter, number of leaves, length, root volume as well as fresh and dry weight of leaf, stem and root, parameters to determine good seedlings quality.

Key words: Solanum lycopersicum L., Rio Grande, germination

2.2 INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.*)* es una de las hortalizas más importantes en México y es consumida tanto en fresco como en productos procesados. Uno de los procesos más importantes en la producción de este cultivo ya sea en campo o invernadero es la obtención de plántulas sanas o vigorosas es decir de buena calidad, esto favorece la competencia vegetal al momento del trasplante. Una plántula de buena calidad tiene un mejor crecimiento radicular, lo que favorece una mejor absorción de agua y nutrientes (Arjona *et al.*, 1998).

La germinación es una de las etapas más importantes en el proceso de crecimiento y desarrollo de la planta, la cual comienza con la toma de agua por parte de la semilla en un proceso llamado imbibición (Bewley, 1997). El ácido salicílico (AS) es un regulador de crecimiento vegetal que se encuentra en todos los tejidos vegetales (Raskin, 1992). Las aplicaciones de ácido salicílico son consideradas una alternativa para incrementar la producción de alimentos de importancia hortícola y cereales ya sea bajo condiciones de invernadero o a cielo abierto (Martin-Mex *et al*., 2013), acorta los días a floración en plantas ornamentales de crisantemo (*Chrysanthemum morifolium* (Ramat) Kitamura) (Villanueva-Couoh *et al*., 2009).

Se ha reportado la estimulación de raíces con ácido acetilsalicílico (ASA), en bioensayos realizados, en *Lepidium sativum* L., bajo condiciones controladas, donde la concentración de ASA a 10^{-7} M estimuló el desarrollo de más raíces (Larqué-Saavedra y Rodríguez, 1993). Se han publicado desde entonces numerosos artículos que dan evidencia de que el AS tiene efectos positivos en hortalizas y ornamentales, sin embargo hay reportes de que este regulador vegetal presenta un efecto inhibitorio sobre la germinación en algunas hortalizas a determinadas concentraciones y periodos de imbibición.

Por lo tanto el objetivo de esta investigación fue evaluar la respuesta germinativa y la calidad de plántulas de tomate ante el acondicionamiento de las semillas en diferentes tiempos de imbibición y con distintas concentraciones de ácido salicílico.

2.3 MATERIALES Y MÉTODOS

2.3.1 Localización del experimento

El estudio se realizó en el Instituto Tecnológico de Conkal ubicado en la avenida Tecnológico s/n Conkal, Yucatán, C.P. 97345. Las pruebas de imbibición de las semillas y la preparación del ácido salicílico se realizaron en el laboratorio de fisiología y biotecnología vegetal. La siembra y el desarrollo de las plántulas se llevaron a cabo en los invernaderos del instituto.

2.3.2 Material vegetal

Se utilizaron semillas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) variedad comercial Rio Grande con habito de crecimiento determinado, las cuales se desinfectaron sumergiéndolas durante tres minutos en hipoclorito de sodio al 2% de ingrediente activo.

2.3.3 Efecto del AS sobre la germinación de la semilla

Las semillas se sometieron a un proceso de imbibición en un cuarto de crecimiento bajo condiciones controladas, (temperatura 21±1 °C, humedad relativa 30%). Los tratamientos evaluados fueron 1.0M, 0.01µM y 0.0001 µM de AS, un control con agua que consistió en embeber las semillas con agua destilada desionizada y un tratamiento sin imbibición.

Para preparar las diferentes concentraciones de ácido salicílico se siguió la metodología descrita por Gutiérrez-Coronado *et al*., 1998, Se preparó una solución madre 10^{-2} M y a partir de ahí se obtuvieron el resto de las concentraciones

A cada una de las concentraciones se les aplicó 1 mL de TWEEN 20 como surfactante y se ajustó el pH a 5.5 (Figura 1). Lotes de semillas de 1g se colocaron en bolsas de tela, se imbibieron en frascos de cristal de 100 mL de capacidad conteniendo 50 mL de cada solución correspondiente durante 24, 48 y 72 horas (Figura 2).

Figura 1. Preparación del ácido salicílico, ajuste de pH y diluciones

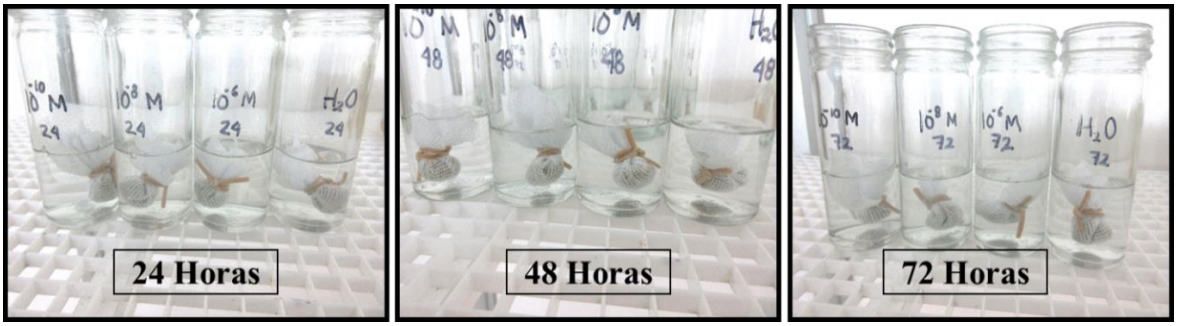


Figura 2. Imbibición de semillas de tomate variedad Río Grande durante 24, 48 y 72.

Se realizaron dos experimentos, en el primero las semillas de tomate fueron sembradas en frascos de vidrio sobre mallas de tela, dentro de los frascos había 50 mL de agua destilada. En el segundo experimento en lugar de agua destilada dentro de los frascos había la solución de ácido salicílico correspondiente.

En ambos se evaluó el porcentaje de germinación, para esto. Los frascos se mantuvieron en un cuarto de germinación bajo condiciones controladas, el porcentaje de germinación y longitud de la radícula se evaluó a los sietes días de iniciada la prueba (Figura 3).

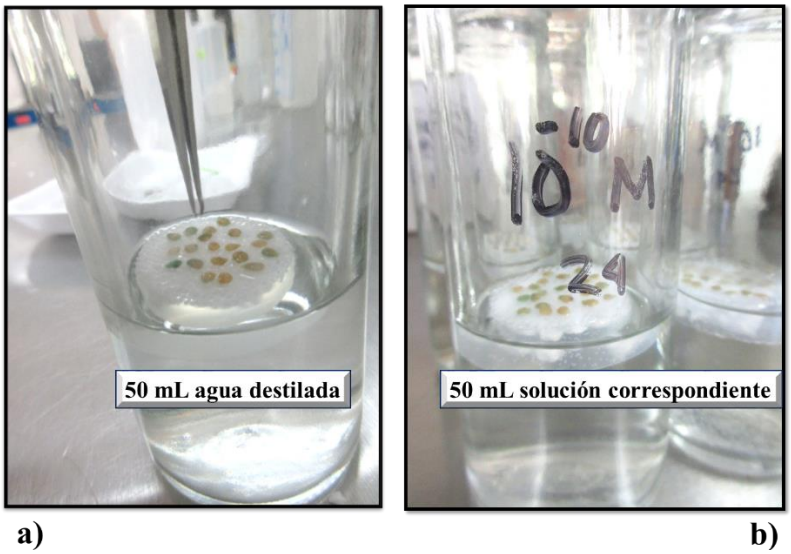


Figura 3. Siembra de semillas de tomate en frascos de vidrio, en condiciones de laboratorio.
a) experimento uno **b)** experimento dos

Para los ensayos de laboratorio se estableció un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos (tres concentraciones de ácido salicílico 1.0, 0.01 y 0.0001 µM; un control sin imbibición; un control con agua destilada), se utilizaron 20 semillas por repetición, 5 repeticiones por tratamiento. Siete días después de la germinación se evaluó la longitud de la raíz a través del programa ImageJ, para esta variable se midieron 10 plántulas por cada tratamiento.

Para la fase de invernadero se utilizaron charolas de poliestireno de 200 cavidades, se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 2% durante 15 minutos. Se utilizó sustrato comercial Sunshine y agrolita en relación 2:1 v/v, se llenaron los contenedores y se sembró una semilla por cavidad, el sustrato se humectó con ácido salicílico correspondiente a cada tratamiento.

Las charolas se cubrieron con un plástico negro para mantener la humedad. Los tratamientos evaluados se regaron de forma manual de acuerdo a la dosis correspondiente a cada uno. La aplicación de fertilizante se realizó con polyfeed (1 g. L^{-1}) dos veces por semana. Se utilizó un diseño factorial 5x3, con arreglo de bloques completos al azar.

A los 40 días se cosecharon las plántulas, se evaluaron 15 plántulas por tratamiento, las variables medidas fueron: altura medida, con una regla desde la base del tallo hasta el ápice terminal de la plántula; diámetro de tallo, con un vernier; longitud de la raíz, con una regla; volumen radical, con una probeta por el método de desplazamiento; número de hojas, de manera manual; peso fresco, con una balanza analítica y para el peso seco se colocaron en una estufa a una temperatura de 60° C hasta peso constante.

Los datos de porcentaje de germinación se transformaron con la raíz cuadrada del arco seno. A todos los datos se les realizó análisis de varianza (ANDEVA), donde hubo significancia estadística ($P \leq 0.05$) se llevó a cabo la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$). Se utilizó el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS) ver 9.3.

3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.4.1 Efecto del ácido salicílico sobre la germinación

Las concentraciones de ácido salicílico en los dos experimentos tuvieron efectos similares afectando de manera positiva el porcentaje de germinación. En el experimento uno las semillas embebidas en ácido salicílico en las concentraciones 0.01 µM (91%) en 24 y 48 horas de imbibición y 0.0001 µM (91%) durante 48 horas de imbibición, presentaron diferencia significativas con respecto al tratamiento de semillas sin imbibición (82%) (Figura 4). El porcentaje de germinación en el experimento dos aumentó de 82% a 97% con el tratamiento de ácido salicílico 0.0001 µM con 48 horas de imbibición, esta misma concentración presenta una respuesta positiva a la germinación aumentando a un 88% a las 24 y 72 horas de imbibición. El tratamiento de AS a la concentración 0.01 µM durante 24 y 48 horas también estimuló la germinación (Figura 5).

La aplicación de una solución de ácido salicílico afecto de manera positiva al porcentaje de germinación aumentando de 81 a 90%, el resto de los tratamientos prentaron un comportamiento similar al testigo, estos resultados presentaron respues similares a lo reportado por González y López (2001), quienes reportan que las concentraciones de ácido salicilico a nivel $mg.L^{-1}$ no inhiben la germinación en difenrentes variedades de arroz.

Sin embargo Benavides *et al*., (2003), reportan un efecto negativo sobre la germinación de semillas de chile Tampiqueño (*Capsicum annuum*) variedad 74, utilizando concentraciones 10^{-2} y 10^{-3} M de ácido salicílico, excepto la concentración 10^{-5} M presento un comportamiento similar al testigo. Benavides-Mendoza (2002) reporto la misma respuesta inhibitoria del ácido salicílico sobre la germinación de semillas de melón, al embeberse en concentraciones 10^{-2} y 10^{-3} M.

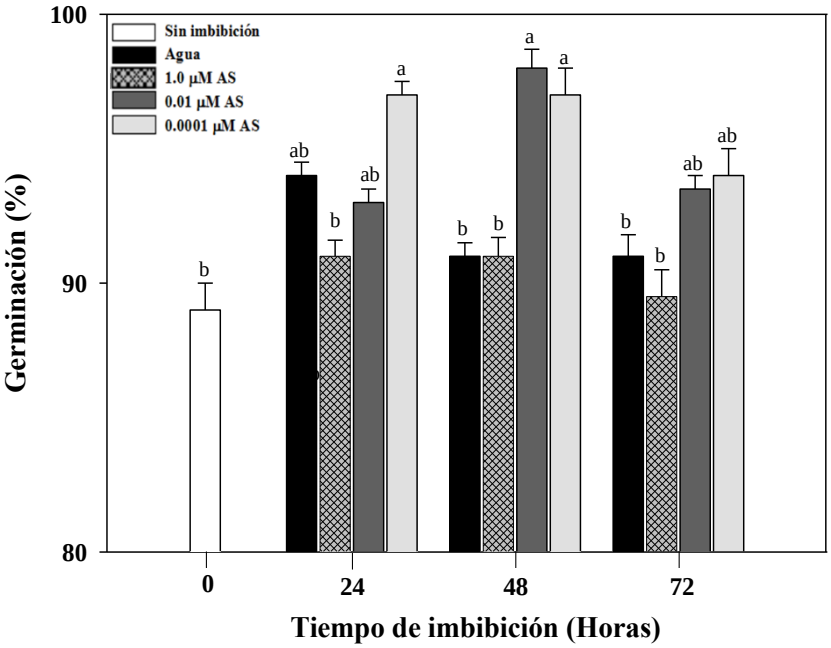


Figura 4. Porcentaje de germinación de semillas de tomate variedad Río Grande, embebidas en diferentes tiempos y concentraciones de AS y germinadas sobre agua destilada. Literales diferentes indican diferencia estadística significativa (Tukey, P≤0,05).

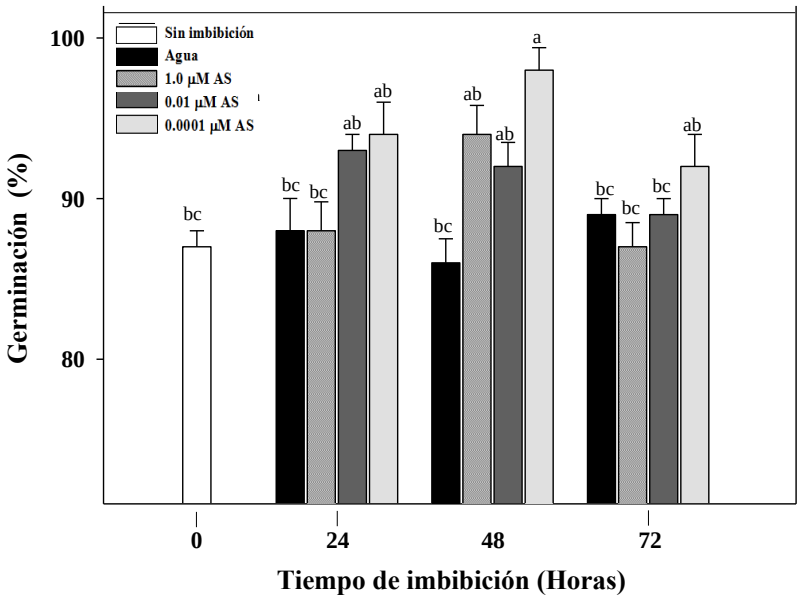


Figura 5. Porcentaje de germinación de semillas de tomate variedad Río Grande, embebidas en diferentes tiempos y concentraciones de AS y germinadas sobre AS . Literales diferentes indican diferencia estadística significativa (Tukey, P≤0,05).

3.4.2 Efecto del ácido salicílico sobre la longitud de la raíz *in vitro*

La longitud de la raíz a los siete días en contacto con agua destilada, fue más larga en los tratamientos con ácido salicílico. El análisis indica que las concentraciones de AS 0.01 µM embebidas durante 24 y 48 horas y la concentración 0.0001 µM de AS embebidas durante 24 y 72 horas ocasionaron mayor efecto estimulante, manteniendo diferencias significativas con los tratamientos de agua y sin imbibición, a estas concentraciones le sigue 1.0 µM de AS, la cual también incrementó positivamente la longitud radical cuando la semilla se embebe durante 24 y 72 horas. El tratamiento de agua sometido en los diferentes tiempos de imbibición fue estadísticamente similar al tratamiento sin imbibición (Figura 6).

En el análisis del experimento dos se observa que cuando las raíces están en contacto directo con las soluciones de ácido salicílico en los diferentes tiempos de imbibición, presentan una mayor longitud en comparación al tratamiento de sin imbibición, cabe resaltar que se observó que las raíces presentaron un efecto estimulante en la formación de raíces secundarias a los siete días de la germinación, efecto que no se manifestó en los tratamientos con agua y sin imbibición. Altas concentraciones de ácido salicílico presentan un comportamiento similar al control (Figura 7).

González y López (2001), reportan que concentraciones de 1.5 y 3 mg.L^{-1} de ácido salicílico presentan un efecto estimulante sobre el crecimiento de la raíz de plántulas de arroz variedad J-104 y concentraciones superiores a 5 mg L^{-1} pueden inhibir el crecimiento de la raíz.

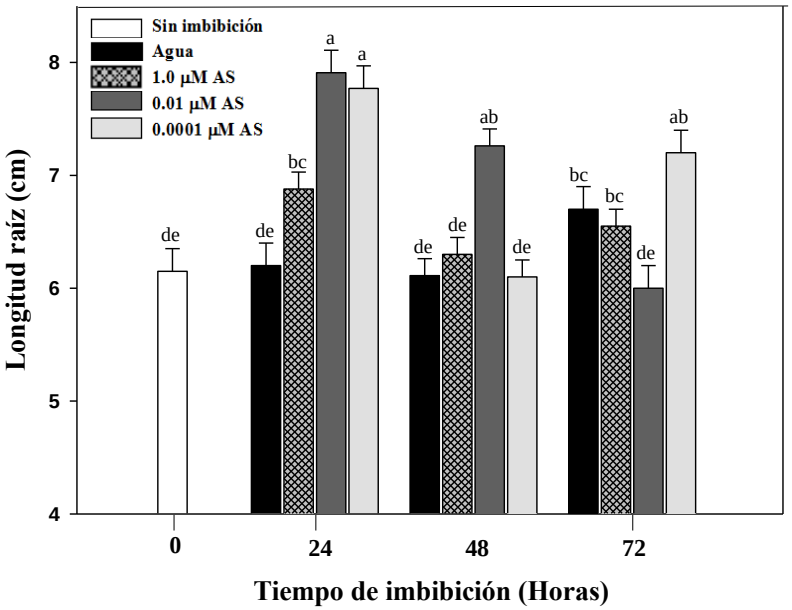


Figura 6. Longitud radicular a los siete días en semillas de tomate variedad Río Grande, embebidas en diferentes tiempos y concentraciones de AS, raices en contacto con agua destilada. Literales diferentes indican diferencia estadística significativa (Tukey, P≤0,05).

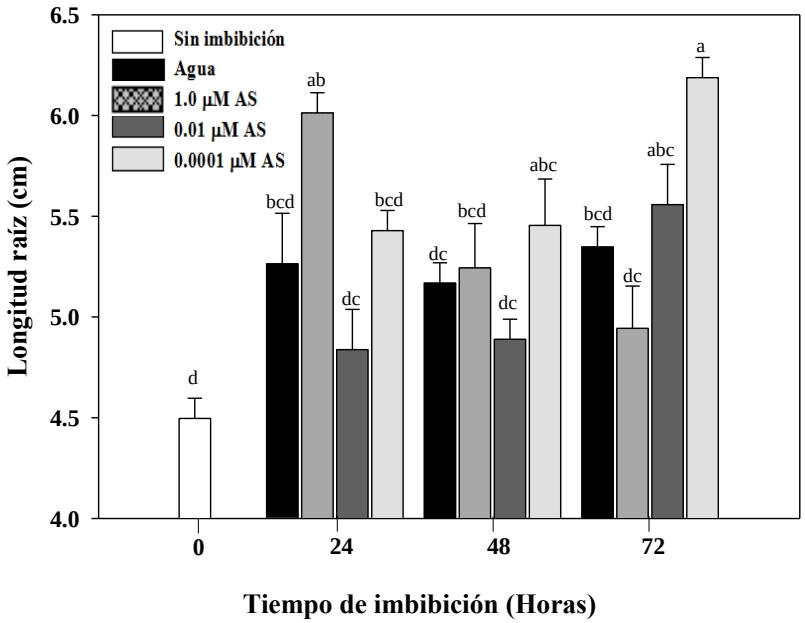


Figura 7. Longitud radicular a los siete días en semillas de tomate variedad Río Grande, embebidas en diferentes tiempos y concentraciones de AS, raices en contacto con AS. Literales diferentes indican diferencia estadística significativa (Tukey, P≤0,05).

3.4.3 Altura de tallo

A los 40 días las plántulas de semillas embebidas y regadas con las soluciones correspondientes de ácido salicílico en las concentraciones 1.0 µM (72 horas imbibición) y 0.01 µM (48 horas imbibición) no tuvieron diferencias significativas en comparación de los tratamientos con agua. Los tratamientos con ácido salicílico 0.01 y 0.0001 µM con 24 hora de imbibición presentaron diferencias estadísticas significativas en comparación a los tratamientos con agua y sin imbibición (27 y 23%, respectivamente) (Figura 8). El ácido salicílico incrementó la altura de las plantas, como se demostró en un caso sobre bioproductividad de la fresa (*Fragaria ananassa*) cv Aromosa, donde los tratamiento de AS tuvieron diferencias estadísticas significativas en comparación al control (Anchondo-Aguilar *et al*., 2011).

Estudios anteriores (Larqué *et al*., 2010) en plántulas de tomate, mostraron el efecto de los tratamientos con AS en la altura. May (2006) incrementó 12% la altura de las plántulas en chile habanero en comparación con el testigo. Tucuch-Haas *et al*., (2016) reportaron que en plántulas de maíz la concentración 1.0 µM de ácido salicílico presentó una tendencia a incrementar la altura de la planta y el diámetro del tallo.

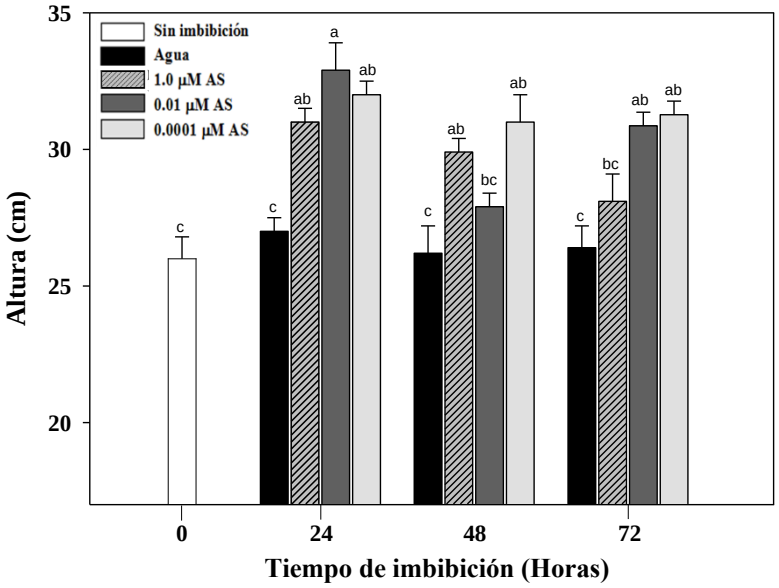


Figura 8. Altura de tallo de plántulas de *Solanum lycopersicum* L., variedad Río Grande, embebidas en diferentes tiempos y concentraciones de AS en la etapa de semilla. Literales diferentes indican diferencia estadística significativa (Tukey, P≤0,05).

3.4.3 Diámetro de tallo

En el diámetro del tallo se observaron diferencias estadísticas significativas de los tratamientos de AS con respecto al tratamiento sin imbibición. El tratamiento 0.0001 µM con 48 y 72 horas de imbibición fue estadísticamente superior 30 y 38% respectivamente, en comparación al control.

El tratamiento 0.01 μM durante 24 y 48 horas de imbibición fue significativo 29 % en comparación al tratamiento sin imbibición. El diámetro del tallo osciló de 3.0 a 3.5 mm entre los tratamientos con diferencias significativas entre los tratamientos influenciados por las concentraciones de ácido salicílico, comparado con el tratamiento sin imbibición que presento el menor diámetro de 2.0 mm (Figura 9).

El ácido salicílico es un regulador de crecimiento vegetal, el cual posibilitó a las plántulas alcanzar mayor grosor de tallo, lo cual es un indicador del estado vigoroso de una plántula, muestra la fortaleza y resistencia que puede tener al ser trasplantada (Quesada *et al*., 2005). Además de que un tallo grueso permite soportar la parte aérea sin doblarse por los vientos en el campo (Orzolek, 1991). De igual manera se reportó que el diámetro de plantas de crisantemo mostraron diferencias entre los tratamientos de ácido salicílico en relación al testigo de manera positiva (Villanueva-Couoh *et al*., 2009). En base a estos resultados se concluye que a dosis más bajas de AS se ve afectada el diámetro de tallo, respecto al control en condiciones controladas en ajo.

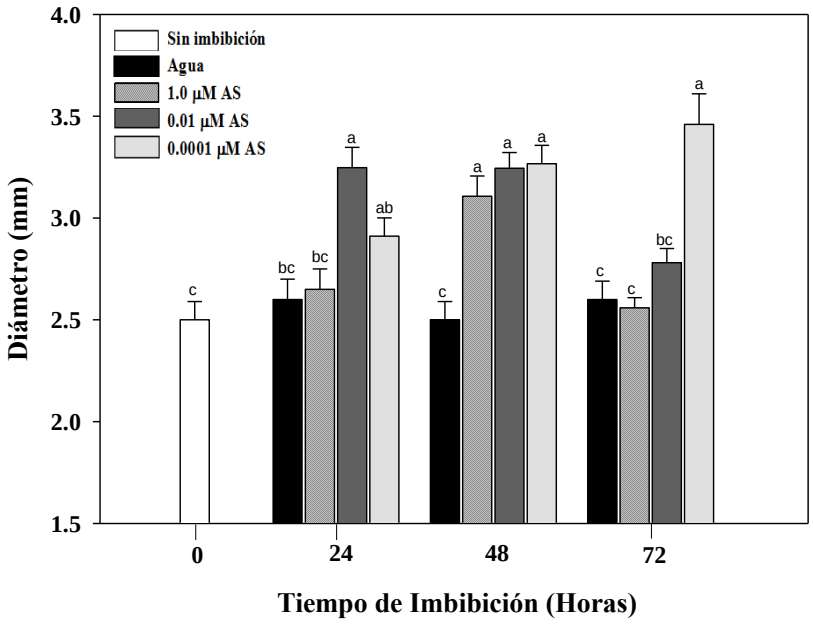


Figura 9. Diámetro de tallo de plántulas de *Solanum lycopersicum* L., variedad Río Grande, embebidas en diferentes tiempos y concentraciones de AS en la etapa de semilla. Literales diferentes indican diferencia estadística significativa (Tukey, P≤0,05).

3.4.4 Número de hojas

El número de hojas en las concentraciones 1.0, 0.01 y 0.0001 µM de AS (24 horas de imbibición) incrementó 20% en comparación al tratamiento sin imbibición. Los tratamientos 0.01 y 0.0001 µM (72 horas de imbibición) presentaron diferencias estadísticas significativas comparado con los tratamientos de agua y sin imbibición en un 19%. El menor número de hojas se observó con el tratamiento 1.0 µM (72 horas de imbibición) que presentó un comportamiento estadísticamente igual a los tratamientos de agua y sin imbibición (Figura 10).

Anchondo-Aguilar *et al*., (2011), mencionan que se forman hasta 4 hojas más por el efecto del AS, que indica que la mayor biomasa foliar se debe a un mayor número de hojas expuestas. Estos datos son similares a los reportados por Martín-Mex *et al*. (2005), en violeta africana con incrementos del número de hojas por el tratamiento de AS a concentraciones de 0.0001 µM.

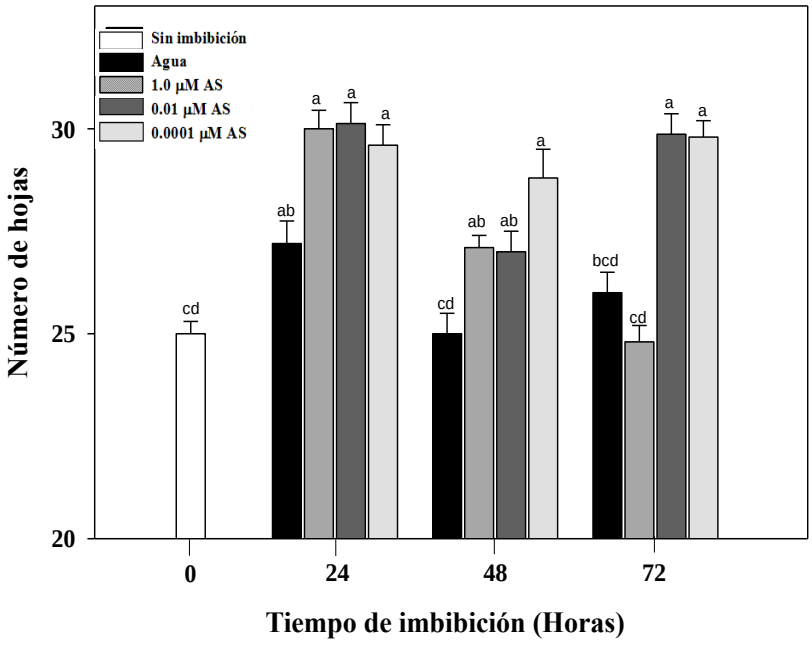


Figura 10. Número de hojas de plántulas de *Solanum lycopersicum* L., variedad Río Grande, embebidas en diferentes tiempos y concentraciones de AS en la etapa de semilla. Literales diferentes indican diferencia estadística significativa (Tukey, P≤0,05).

3.4.5 Longitud radical

La longitud de radical se afectó significativamente (Figura 11), con los tratamientos de ácido salicílico con respecto al tratamiento sin imbibición. La concentración 1.0 µM de AS con 24 horas de imbibición incrementó la longitud radical en un 50% en comparación al tratamiento sin imbibir.

Las semillas embebidas en concentraciones de AS que también presentaron diferencias estadísticas significativas en 41% fueron 0.01 y 000.1 µM cuando se imbibieron durante 72 horas (figura 8). San Miguel (2003) encontró que en *Pinnus patula* los tratamientos de 10^{-8} y 10^{-6} M AS incrementaron la longitud total de raíces en un 28 y 30 % con respecto al testigo.

Por el contrario Guzmán *et al*., (2012) mencionan que las aplicaciones del ácido salicílico (10^{-8} M) en combinación con fertilización de N, P y K (190 mg. L^{-1} de N-P_2O_5-K_2O) incrementaron la altura, número de hojas y longitud radical específica de las plántulas en chile habanero.

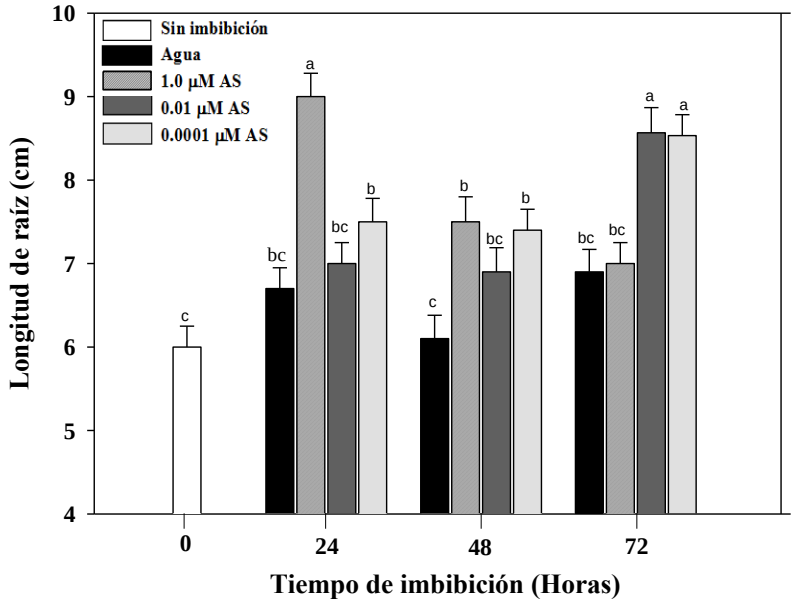


Figura 11. Longitud radical de plántulas de *Solanum lycopersicum* L., variedad Río Grande, embebidas en diferentes tiempos y concentraciones de AS en la etapa de semilla. Literales diferentes indican diferencia estadística significativa (Tukey, P≤0,05).

3.4.6 Volumen radical

Con base en análisis estadísticos se obtuvo un efecto significativo sobre el volumen de la raíz con los tratamientos de ácido salicílico en comparación con los tratamientos con agua y sin imbibición (Figura 12). Respecto a esta variable el resultado para el tratamiento 1.0 µM (24 horas imbibición) fue superior en 56% y para las concentraciones 0.01 y 000.1 µM en un 70 y 54% respectivamente, en comparación al tratamiento de sin imbibición (figura 9). Villanueva *et al*., (2009) encontraron que concentraciones de 10^{-10} M de ácido salicílico en plantas de crisantemos fueron afectadas de manera positiva sobre el volumen de la raíz. Los datos encontrados en el presente estudio podrían explicarse debido a que el AS promueve mayor desarrollo en las raíces (Echevarría-Machado *et al.*, 2007; Larqué-Saavedra *et al*., 2010), lo que aumenta el área de exploración en el suelo y por ende la tasa de absorción de nutrimentos.

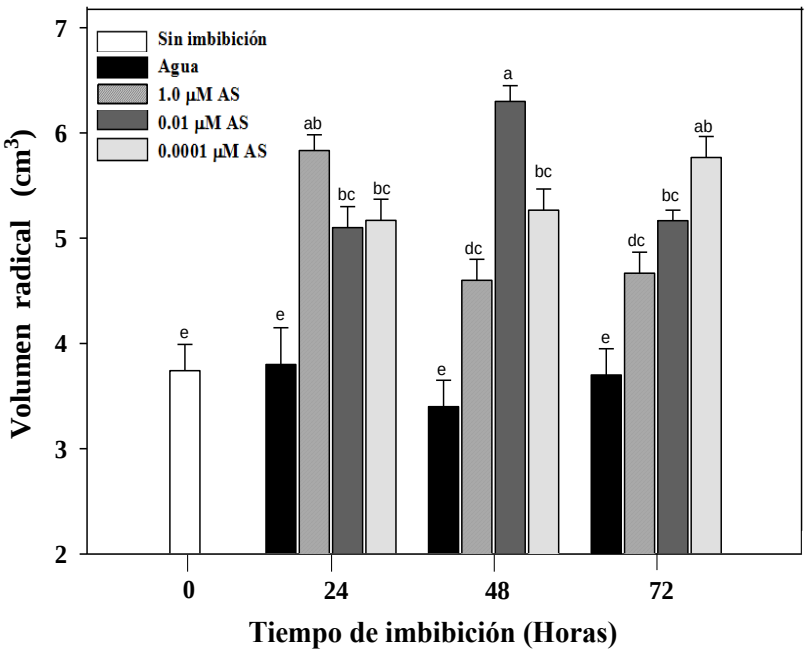


Figura 12. Volumen radical de plántulas de *Solanum lycopersicum* L., variedad Río Grande, embebidas en diferentes tiempos y concentraciones de AS en la etapa de semilla. Literales diferentes indican diferencia estadística significativa (Tukey, P≤0,05).

3.4.7 Biomasa fresca hoja, tallo y raíz

En masa fresca de hojas, tallo y raíz hubo diferencias significativas entre tratamientos con ácido salicílico en comparación con el tratamiento sin imbibición, para hojas las plántulas con mejor resultado fueron las provenientes de semillas embebidas durante 72 horas en la concentración de ácido salicílico 0.0001 µM a las cuales se les proporciono riego con esta misma concentración, superando al tratamiento sin imbibición en un 43% (figura 13).

En cuanto a la biomasa de tallo, las concentraciones de AS la imbibición durante 48 y 72 horas en la concentración 0.0001 µM de ácido salicílico presento lo valores más altos, en un 39 y 50% respectivamente, estadísticamente diferente el tratamiento sin imbibición a los tratamientos con ácido salicílico (figura 14). Respecto a la masa fresca de raíces se presentó diferencias altamente significativas en un 21% (24 y 48 horas) y 47% (72 horas) y las plántulas fueron regadas con 0.0001 µM de ácido salicílico (figura 15).

De tal forma que, plántulas de mayor peso fresco por órganos más grandes, es una respuesta favorable en el postrasplante, lo que concuerda con lo mencionado por Taiz y Zeiger (2002).

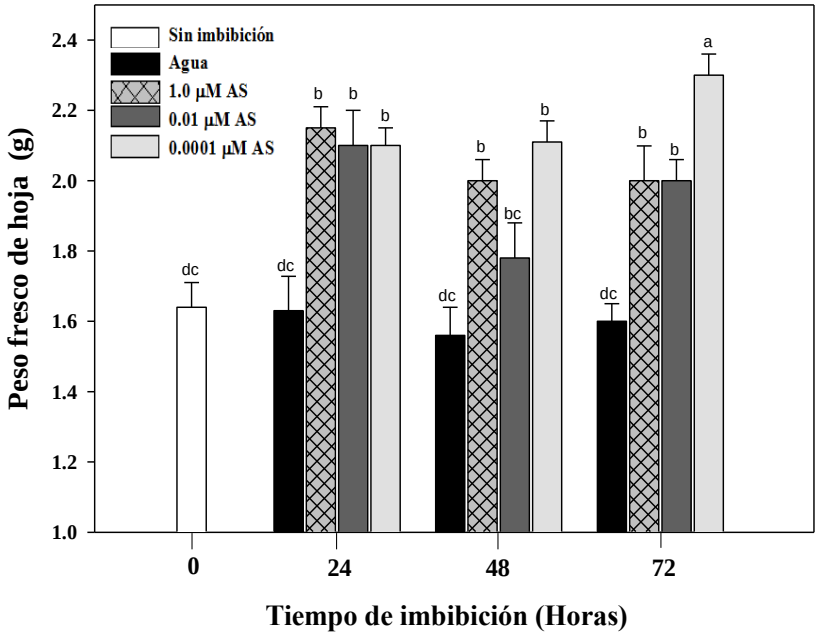


Figura 13. Peso fresco de hoja de plántulas de *Solanum lycopersicum* L., variedad Río Grande, embebidas en diferentes tiempos y concentraciones de AS en la etapa de semilla. Literales diferentes indican diferencia estadística significativa (Tukey, P≤0,05).

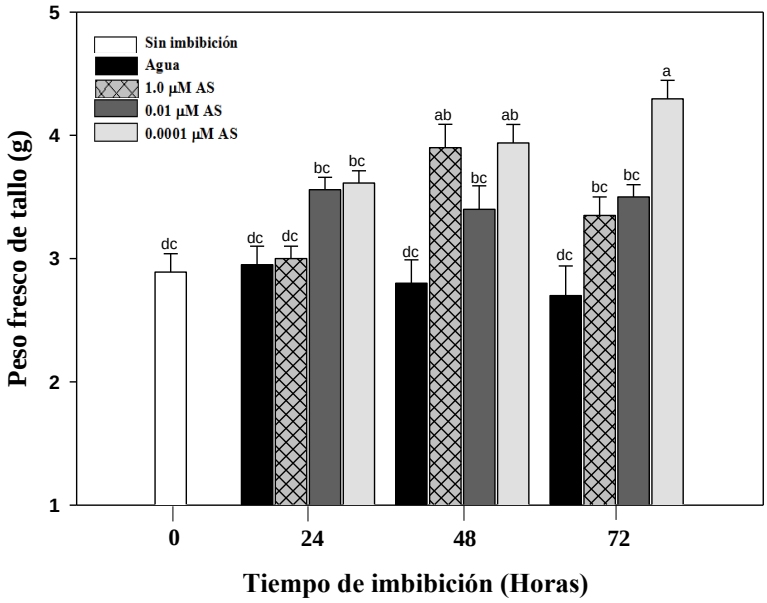


Figura 14. Peso fresco de tallo de plántulas de *Solanum lycopersicum* L., variedad Río Grande, embebidas en diferentes tiempos y concentraciones de AS en la etapa de semilla. Literales diferentes indican diferencia estadística significativa (Tukey, P≤0,05).

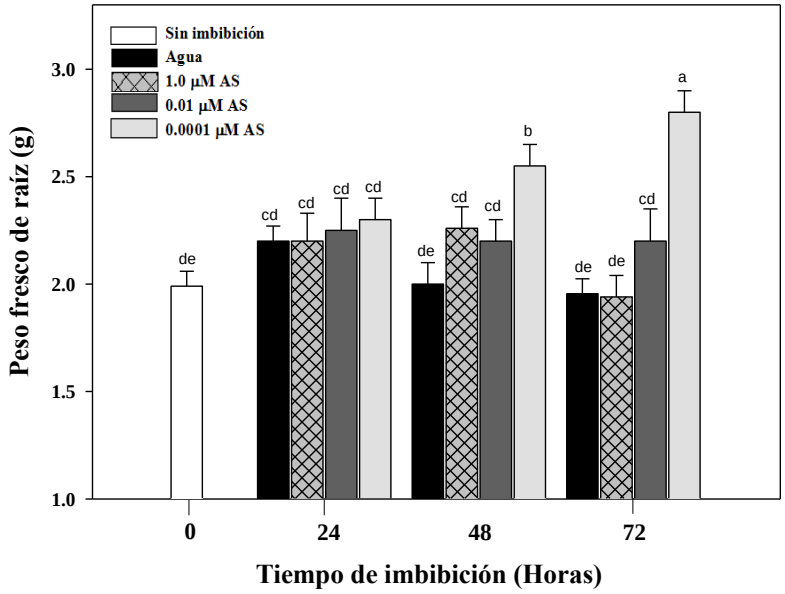


Figura 15. Peso fresco de raíz de plántulas de *Solanum lycopersicum* L., variedad Río Grande, embebidas en diferentes tiempos y concentraciones de AS en la etapa de semilla. Literales diferentes indican diferencia estadística significativa (Tukey, P≤0,05).

3.4.7 Biomasa seca de hoja, tallo y raíz

La masa seca de la raíz se vio afectada significativamente por los tres tiempos de imbibición en la concentración 0. 0001 µM de ácido salicílico (Figura 18).

Para el tallo y hoja la concentración 0.0001 µM durante 72 horas de imbibición presentaron diferencias significativas con los valores más altos en comparación al tratamiento sin imbibición en un 70% (Figura 16 y 17). En base a los resultados se concluye que la imbibición de semillas y el riego en plántulas de tomate variedad rio grande con ácido salicílico incrementa la biomasa fresca y seca radical y foliar. Resultados que concuerdan con los reportados en hortalizas como rábano, betabel, zanahoria y en leguminosas como soya y frijol (Gutiérrez-Coronado *et al*., 1998; Gutiérrez-Rodríguez *et al*., 2003).

Estos resultados coinciden con lo publicado en peso seco y fresco de la raíz (Deef, 2007), biomasa seca y fresca aérea (Hayat *et al.*, 2005; 2010; Tucuch *et al.*, 2015).

Los tratamientos con AS incrementaron de manera significativa la producción de biomasa en las plantas de crisantemo (Villanueva *et al*., 2009). Según Sánchez-Chávez *et al*., (2011) la aplicación de ácido salicílico a las plantas de chile jalapeño cv. Chichimeca provocó un aumento significativo en la producción de biomasa foliar, en raíz y de frutos, principalmente en las dosis de 0.1 y 0.2 mM.

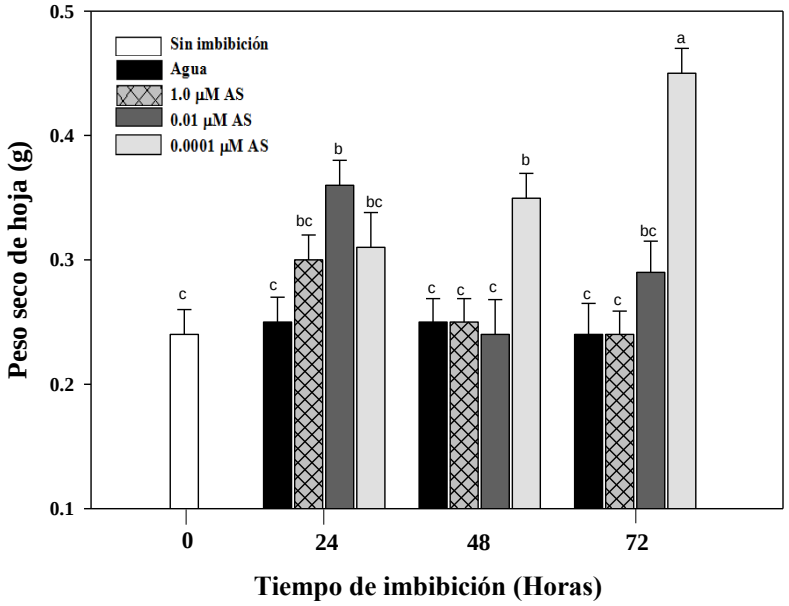


Figura 16. Peso seco de hojas de plántulas de *Solanum lycopersicum* L., variedad Río Grande, embebidas en diferentes tiempos y concentraciones de AS en la etapa de semilla. Literales diferentes indican diferencia estadística significativa (Tukey, P≤0,05).

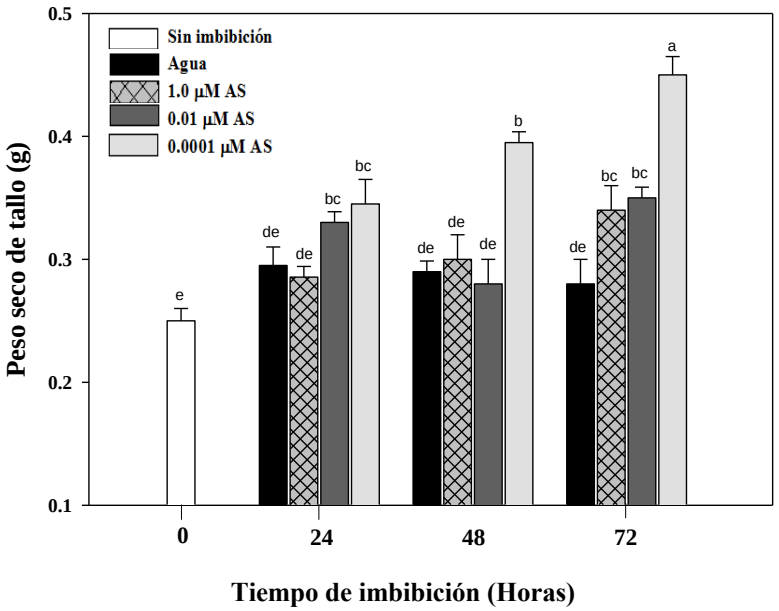


Figura 17. Peso seco de tallo de plántulas de *Solanum lycopersicum* L., variedad Río Grande, embebidas en diferentes tiempos y concentraciones de AS en la etapa de semilla. Literales diferentes indican diferencia estadística significativa (Tukey, P≤0,05).

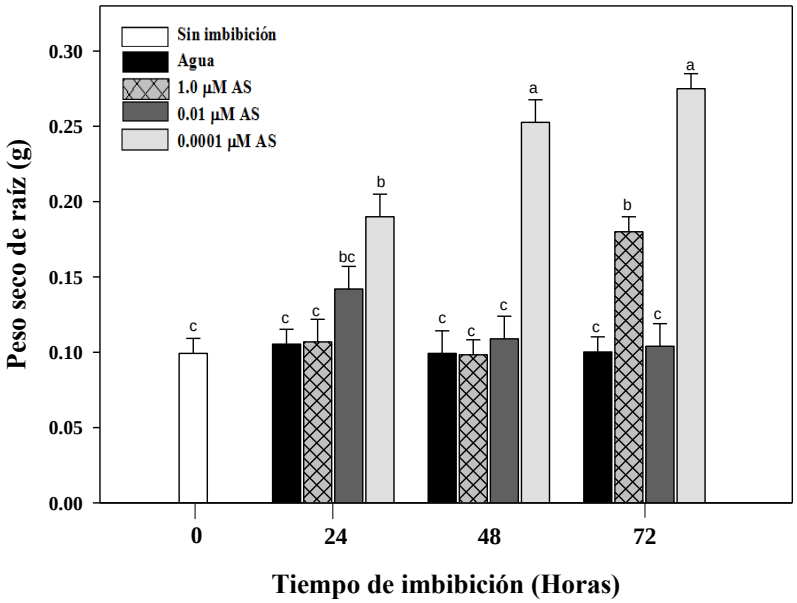


Figura 18. Peso seco de raíz de plántulas de *Solanum lycopersicum* L., variedad Río Grande, embebidas en diferentes tiempos y concentraciones de AS en la etapa de semilla. Literales diferentes indican diferencia estadística significativa (Tukey, P≤0,05).

3.4.7 Índice de esbeltez y calidad de Dickson

En este estudio, el índice de esbeltez fue de 9.01 para el tratamiento sin imbibición y 12.72 para la concentración de ácido salicílico 0.0001 µM durante 72 horas de imbibición, resulto 12% mayor en comparación al tratamiento sin imbibición (figura 16). Por otro lado, el índice de calidad de Dickson para la concentración de ácido salicílico 0.01, 0.0001 µM durante 72 horas de imbibición fue superior en un 41% en comparación con el tratamiento sin imbibición (figura 17). Esto indica mayor sobrevivencia del trasplante y mejor desarrollo en campo. Debe tomarse en cuenta que estos índices de calidad son utilizados por primera vez en cultivos hortícolas, por lo que deberán realizarse más estudios en estas especies.

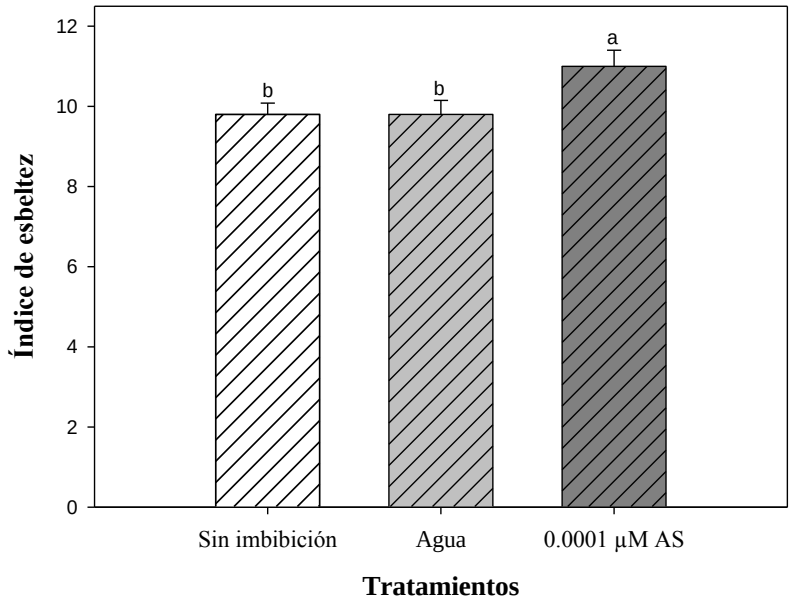


Figura 19. Índice de esbeltez de plántulas de *Solanum lycopersicum* L., variedad Río Grande, embebidas en diferentes tiempos y concentraciones de AS en la etapa de semilla. Literales diferentes indican diferencia estadística significativa (Tukey, P≤0,05).

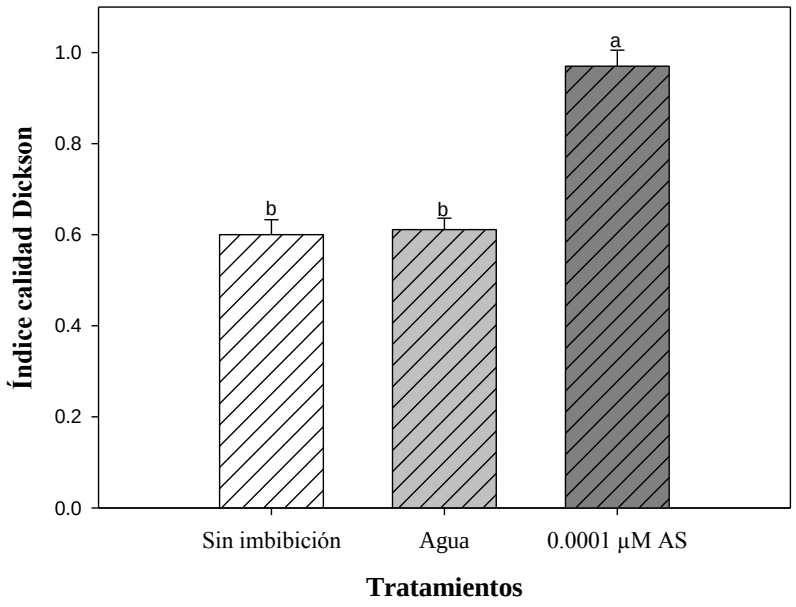


Figura 20. Índice de calidad de Dickson de plántulas de *Solanum lycopersicum* L., variedad Río Grande, embebidas en diferentes tiempos y concentraciones de AS en la etapa de semilla. Literales diferentes indican diferencia estadística significativa (Tukey, P≤0,05).

3.5 CONCLUSIONES

La imbibición de las semillas de tomate en ácido salicílico durante 24, 48 y 72 horas no inhibe la germinación.

El porcentaje de geminación de semillas de tomate variedad Río Grande mejoró con la concentración 0.0001 µM de ácido salicílico.

El uso de ácido salicílico durante la transición germinación-plántula (7dds) estimula la formación de raíces secundarias.

Concentraciones de 0.0001 µM de ácido salicílico con 72 horas de imbibición presentan efectos significativos altura, diámetro, longitud, volumen, biomasa fresca y seca, parámetros para determinar plántulas de calidad.

3.6 LITERATURA CITADA

Anchondo-Aguilar, A., Núñez-Barrios, A., Ruíz-Anchondo, T., Martínez- Téllez, J., Vergara-Yoisura, S y Larqué-Saavedra, A. 2011. Efecto del ácido salicílico en la bioproductividad de la fresa. Revista mexicana de ciencias agrícolas, Vol. 2.

Arjona, H., A. Guerrero y C. Prieto. 1998. Estudios de osmoiniciacion de semillas de cebolla de bulbo *Allium cepa* L. Agron. Colomb. 15(2), 143-152.

Benavides-Mendoza, A., Salazar-Torres, A. M., Ramírez-Godina, F., Robledo-Torres, V., Ramírez-Rodríguez, H., y Maiti, R. 2004. Tratamiento de semilla de chile con ácidos salicílico y sulfosalicílico y respuesta de las plántulas al frío. *Terra latinoamericana*, *22*(1), 41-47.

Benavides-Mendoza, A. 2002. Algunos resultados acerca de la aplicación exógena de oxidantes, antioxidantes e inductores de resistencia en especies hortícolas. pp. 150-158. *In*: Benavides-Mendoza, A. (ed.). Ecofisiología y bioquímica del estrés en plantas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, México.

Bewley, J. D. 1997. Seed Germination and Dormancy. The Plant Cell. 9: 1055-1066.

Deef, H. E. 2007. Influence of salicylic acid on stress tolerance during seed germination of *Triticum aestivum* and *Hordeum vulgare*. Advan. Biol. Res. 1: 40-48.

Echevarría-Machado, I., R. M. Escobedo-G.M and A. Larqué-Saavedra. 2007. Responses of transformed *Catharanthus roseus* roots to femtomolar concentrations of salicylic acid. Plant physiol. Biochem. 45: 501-507.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2006. Sistema de semillas de calidad declarada. ISBN 92-5-305510-3

González, T. A., López, y Franco, I. 2001. Efecto del ácido acetil salicílico sobre la germinación y el crecimiento de la plántula de arroz (*Oryza sativa* L.).

Gutiérrez-Coronado, M., Trejo, C y Larqué- Saavedra, A. 1998. Effect of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. Plant physiol. and biochem. 36: (8) 563-565.

Gutiérrez-Rodríguez, M., Aristeo-Cortés, P., San Miguel Chevez, R y Larqué-Saavedra, A. 2003. Efecto del dimetilsulfóxido en el peso fresco de rábano y betabel. Agrociencia 37: 237-240.

Hayat, S., Q. Fariduddin, B. Ali and A. Ahmad. 2005. Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. Acta Agron. Hung. 53: 433-437.

Larqué-Saavedra A., R. Martín-Mex, A. Nexticapan-Garcéz, S. Vergara-Yoisura and M. Gutiérrez-Rendón. 2010. Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Rev. Chapingo Ser. Hortic. 16: 183-187

Larqué-Saavedra, A y Rodríguez, M. 1993. Fisiología Vegetal experimental. Editorial Trillas, México, D.F. 193 p.

Martín-Mex, R., A. Nexticapan-Garcéz and A. Larqué Saavedra. 2013. Potential benefits of salicylic acid in food production. In Hayat S., A. Ahmad and M. N. Alyemeni (Eds). Salicylic acid. Springer publishers, Dortdrech, The Netherlands.

Martín-Mex, R., A. Nexticapan-Garcéz, R. Herrera-Tuz, S. Vergara-Yoisura y A. Larqué-Saavedra. 2012. Efecto positivo de aplicaciones de ácido salicílico en la productividad e papaya (*Carica papaya*). Rev. Mex. Cienc. Agric. 18: 1637-1643.

Martín-Mex R., Villanueva-Couoh, E., Herrera-Campos, T y Larqué-Saavedra, A. 2005. Positive effect of salicylates on the flowering of African violet. Scientia Horticulturae. 103(4): 499-502.

Orzolek, M.D. 1991. Establishment of vegetables in the field. HortTechnol. 1, 78-81.

Quesada, G. y C. Méndez. 2005. Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas. Agron. Mesoamer. 16(2): 171-183.

Raskin, I. 1992. Role of salicylic acid in plants. Annu Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 43:439-463.

Sánchez-Chávez, E., R. Barrera-Tovar, E. Muñoz-Márquez, D. L. Ojeda-Barrios y A. Anchondo-Nájera. 2011. Efecto del ácido salicílico sobre biomasa, actividad fotosintética, contenido nutricional del chile jalapeño. Rev. Chapingo Ser. Hortic.17: 63-66.

San Miguel, R., Gutiérrez, M. A. y Larqué-Saavedra, A. 2003. Salicylic acid increases the biomass accumulation of *Pinnus patula*. Southem Journal of Applied Forestry, 27:1 52-54., conjugation, and possible role. Plant Physiol. 108: 633-639 p.

Taiz, L. y Zeiger. E. 2002. Plant Physiology. Third ed. Sinauer Associates, Inc. Massachusetts. 690.

Tucuch H., C. J., G. Alcántar G. y A. Larqué S. 2015. Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de la raíz y biomasa total de plántulas de trigo. Terra Latinoamericana. 33: 63-68.

Villanueva-Couoh E., G. Alcántar-González, P. Sánchez-García, M. Soria-Fregoso y A. Larqué-Saavedra. 2009. Efecto del ácido Salicílico y dimetilsulfóxido en la floración de *Chrysanthemun morifolium* (Ramat) Kitamura en Yucatán. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 15: 25-31.