

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO BÓTANICA



Evaluación de Tratamientos Pre-germinativos en Semilla de Espárrago (*Asparagus officinalis* L.)

Por:

MARISOL GÓMEZ SANTOS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO BÓTANICA

Evaluación de Tratamientos Pre-germinativos en Semilla de Espárrago (*Asparagus officinalis* L.)

Por:

MARISOL GÓMEZ SANTOS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Alonso Méndez López
Asesor principal



Dr. Antonio Juárez Maldonado
Coasesor



Dra. Silvia Yudith Martínez Amador
Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México
Diciembre, 2020

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por brindarme la vida, la salud y la sabiduría para lograr cada etapa de mi vida, por cada una de las fuerzas y valor otorgadas en toda mi preparación académica, y permitirme concluir una meta más de mi vida, por sus constantes bendiciones y guiarme durante toda mi vida profesional.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, mi querida Alma Terra Mater, por acogerme en sus instalaciones y haberme permitido desarrollarme académicamente, por formar parte y marcar cada momento de mi vida durante el periodo de mi carrera profesional.

Al Departamento de Botánica y sus profesores que compartieron su conocimiento, apoyo, perseverancia y colaboraron en mi formación académica como Ingeniero en Agrobiología.

Al Dr. Alonso Méndez López, por abrirme las puertas y formar parte de sus tesis, y confiar en mí, por el gran apoyo brindado para la realización y motivación de este trabajo, gracias a su infinita paciencia, tiempo, compromiso, conocimiento y entusiasmo para culminar este proyecto.

Al comité revisor, Dr. Antonio Juárez Maldonado, Dra. Silvia Yudith Martínez Amador, y Dra. Miriam Sánchez Vega, por sus atinadas observaciones y aportaciones.

A mis compañeros de carrera, en especial a la generación CXXVIII de Ingenieros en Agrobiología, en especial a E. David González Hernández, José Simental de la Paz, Alondra Silvestre Martínez, Nanglis López Domínguez, Sagrario Castillo Gutiérrez, Miguel Alfonso Trinidad por compartir con ellos momentos inolvidables durante esta etapa de la vida, así como mis amigos de otras carreras, Roció Mendieta Oviedo, Enedelia, Judith Flores y a todas esas personas que me consideran parte de su amistad. De igual manera le agradezco a Ulises Zul por apoyarme, animarme y quien ha influido en esta etapa de mi vida profesional.

DEDICATORIAS.

A mis padres:

Sra. Herminia Santos García

Sr. Miguel Gómez Zurita

Por haberme brindado la vida, por confiar y creer en mí, por apoyarme cuando más los necesitaba, por estar siempre en cada momento a mi lado demostrándome su cariño y dándome todo su amor, por sus consejos, confianza necesaria de creer en mí y por todos los momentos felices que he pasado a su lado. Este trabajo se lo dedico agradeciéndoles su apoyo económico y esfuerzo realizado, para que yo pueda concluir mis estudios, este sacrificio no fue en vano fue suyo.

A mis hermanos Eduardo, Gabriela y Julián Gómez por su gran apoyo y comprensión, que sin ellos no hubiera logrado llegar al final de esta meta, les dedico este trabajo con todo mi cariño.

A mis abuelos:

Bernandino Santos Cruz y Anastasia García García

Por su confianza y que siempre estuvieron pendiente de mí, que me cuidaron y también me guiaron, gracias por su apoyo y comprensión.

A mis sobrinos Mia y Gael que de cierta forma también influyeron en esta etapa de mi vida.

A mis tíos, primos por su apoyo moral y los consejos que me brindaron y a toda mi familia que siempre me apoyaron.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| AGRADECIMIENTOS | iii |
| DEDICATORIAS | iv |
| ÍNDICE DE CUADROS | vii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | viii |
| RESUMEN | ix |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Objetivos..... | 3 |
| 1.1.1. Objetivo general..... | 3 |
| 1.1.2. Objetivo específico..... | 3 |
| 1.2. Hipótesis..... | 3 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 4 |
| 2.1. Descripción botánica..... | 4 |
| 2.2. Características de la planta, aspectos climáticos..... | 5 |
| 2.2.1. Clima..... | 5 |
| 2.2.2. Agua..... | 6 |
| 2.2.3. Suelo..... | 7 |
| 2.3. Importancia económica..... | 7 |
| 2.4. Composición nutrimental del espárrago..... | 9 |
| 2.5. Germinación y latencia de semillas..... | 9 |
| 2.5.1. Tipos de semillas..... | 9 |
| 2.5.2. Latencia..... | 10 |
| 2.5.3. Germinación..... | 10 |
| 2.6. Métodos pre-germinativos..... | 13 |

| | |
|--|----|
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 16 |
| 3.1. Ubicación del experimento..... | 16 |
| 3.2. Material vegetal..... | 16 |
| 3.3. Desinfección de semillas..... | 16 |
| 3.4. Tratamientos a evaluados..... | 16 |
| 3.5. Establecimiento del experimento..... | 17 |
| 3.6. Evaluación de la germinación..... | 18 |
| 3.7. Variables evaluadas..... | 18 |
| 3.8. Análisis estadístico..... | 20 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 21 |
| 4.1. Análisis de varianza..... | 21 |
| 4.2. Efecto de los tratamientos pre-germinativos..... | 22 |
| 4.2.1. Índice de Velocidad de Germinación en caja Petri..... | 22 |
| 4.2.2. Índice de Velocidad de Emergencia en sustrato..... | 22 |
| 4.2.3. Longitud de tallo de plántulas en caja Petri..... | 23 |
| 4.2.4. Longitud de tallo de plántulas en sustrato..... | 23 |
| 4.2.5. Grosor de tallo..... | 23 |
| 4.3. Porcentaje de germinación..... | 25 |
| 4.4. Porcentaje de emergencia..... | 25 |
| 4.5. Tiempo promedio para alcanzar la germinación..... | 29 |
| 4.6. Tiempo promedio para alcanzar la emergencia..... | 30 |
| V. CONCLUSIONES | 32 |
| VI. LITERATURA CITADA | 33 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Tratamientos pre-germinativos y concentraciones que se aplicaron a las semillas de espárrago..... | 17 |
| Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza de los tratamientos pre-germinativos aplicados a semillas de Espárrago (<i>Asparagus officinalis</i>)..... | 21 |
| Cuadro 3. Efecto de los tratamientos pre-germinativos aplicados a semillas de Espárrago (<i>Asparagus officinalis</i>)..... | 24 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Morfología de la semilla de espárrago..... | 12 |
| Figura 2. Porcentaje de germinación y de emergencia (%G y %Em) después de 16 días de siembra de semillas de espárrago en condiciones de caja Petri y sustrato bajo 18 tratamientos pre-germinativos..... | 26 |
| Figura 3. A) plántulas de espárrago a los 12 días después de la siembra de la semilla establecido previamente a 2000 ppm de citocinina. B) plántulas de espárrago a los 12 días después de la siembra de la semilla, establecido previamente con giberelina a 2000 ppm..... | 29 |
| Figura 4. Tiempo promedio para alcanzar la germinación (TPG) de semillas de espárrago en condición de caja Petri..... | 30 |
| Figura 5. Tiempo promedio para alcanzar la emergencia (TPEm) de semillas de espárrago en condición sustrato..... | 31 |

RESUMEN

La germinación de las semillas de espárrago (*Asparagus officinalis*) no es uniforme y suele ser un problema común en la producción de este cultivo, lo que hace necesario buscar alternativas. Por lo que, esta investigación se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de cinco promotores de germinación, aplicados como tratamientos pre-germinativos en diferentes dosis a semillas de espárrago, variedad Atlas F1. El trabajo se desarrolló en laboratorio. Se evaluaron 18 tratamientos con tres repeticiones cada uno. Los tratamientos fueron: ácido sulfúrico (25, 50 y 100%), nitrato de potasio (0.1, 0.2 y 0.4%) por 30 minutos de remojo, citocininas (500, 1000, 2000 ppm) y giberelinas (500, 1000 y 2000 ppm) por 24 horas de remojo, agua caliente a 70°C (5, 10 y 15 minutos de remojo) y los testigos 1, 2 y 3 (remojo con agua destilada). Las semillas se establecieron en caja Petri y en sustrato (peat moss). Las variables evaluadas fueron: índice de velocidad de germinación en caja Petri (IVG), índice de velocidad de emergencia en sustrato (IVEm), longitud de tallo (CPlong, Slong) y grosor de tallo de la plántula (CPgro, Sgro) en condición caja Petri y sustrato, Potencial germinativo (G%), Tiempo promedio para alcanzar la germinación (TPG), Tiempo promedio para alcanzar la emergencia (TPEm). Se evidenciaron diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$) entre concentraciones y tiempo de remojo de los promotores de germinación o tratamientos pre-germinativos. Los tratamientos KNO_3 al 0.1%, AG_3 500 ppm y H_2SO_4 al 25% tuvieron los mejores efectos y alcanzaron 93.3, 93.3 y 89.3% de la germinación comparados con el promedio de los testigos, que fue de 83.6%. Los mejores porcentajes de emergencia se reflejaron en los tratamientos KNO_3 0.4, 0.2, 0.1 %, estos presentaron valores de 88.0%, 86.7% y 86.7%, respectivamente, con respecto al promedio de los testigos (83.6%). Los tratamientos con citocininas (500, 1000 y 2000 ppm) y giberelinas (500, 1000 y 2000 ppm) aceleraron el tiempo para la germinación de las semillas. Los tratamientos con KNO_3 (0.1, 0.2 y 0,4%) aceleraron la emergencia de las plántulas de espárrago. La aplicación de los tratamientos pre-germinativos tuvo un efecto positivo en la estimulación y aceleración de la germinación de las semillas de espárrago, con excepción del tratamiento hidrotérmico y el uso del ácido sulfúrico, los cuales manifestaron efectos negativos en la germinación.

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de espárrago (*Asparagus officinalis*) es muy importante para varios países de los Continentes Asiático y Americano, ya que forma parte de la dieta alimenticia y debido a su contenido de fibras, su bajo contenido de grasas y propiedades terapéuticas se popularizó. Es una planta dioica de la familia de las Liliaceae, originaria del Mediterráneo, crece en clima templado, aunque, se ha adaptado a climas semiáridas (Moreira-Araya y González-Mora, 2002).

El espárrago es una hortaliza de importancia a nivel de mercado internacional, en este ámbito, China es el primer productor mundial con 6, 848, 320 toneladas en 2017. Por su parte, México ocupa el tercer lugar a nivel mundial en la producción de este cultivo y el 90% de su producción nacional se destina a la exportación; dentro de los estados con mayor producción se encuentra Sonora con 59.8%, Guanajuato con 13.5% y Baja California 12.8%. Para el año 2017 la producción nacional de espárrago fue de 245,444 toneladas con un incremento de 13.3% que representan 28,812 toneladas adicionales respecto al 2016 (SAGARPA, 2018).

La alta demanda del producto por parte de los consumidores extranjeros genera ingreso al país, para el 2017 se reportaron 226.5 millones de dólares por las exportaciones (SAGARPA, 2017), por lo que contar con alta calidad genética y fisiológica garantiza una producción de calidad. La semilla de espárrago presenta una cubierta seminal algo dura, que cubre el cotiledón y posiblemente evita el paso de oxígeno (O_2) y hace posible la latencia física, puesto que la cubierta ocasiona impermeabilidad al agua (Montes y Holle, 1994).

La adecuada germinación depende del estado de latencia, la semilla llega a presentar dormición por distintas causas como la inmadurez en el embrión, requerimiento de luz, presencia de sustancias inhibitoras, entre otras, que generalmente ocasionan latencia en las cubiertas seminales o en el embrión y hacen posible que la semilla permanezca inerte pero viable por un periodo largo el cual depende de la especie (De Albuquerque-Rangel *et al.*, 2015; García-Brejio, 2016).

El estado de latencia de las semillas se manifiesta por la presencia de inactividad metabólica que puede durar días, meses o años, es decir, que la semilla está inactiva aun con las condiciones adecuadas para germinar; este fenómeno a su vez es una forma de supervivencia para las especies lo que provoca la dificultad para que esta germine. Grandes variedades variedad de cultivos presentan semillas con dicho inconveniente para germinar y en muchos casos puede reducir la producción total, debido a la falta de homogenización en la germinación (Varela y Arana, 2015).

Existen varios métodos para promover la ruptura de la latencia ya sea endógena o exógena, puesto que existe una gran variedad de plantas que presentan distintos tipos de semillas y se reflejan en base a las condiciones en las que se encuentran. Si es objetivo es reducir el tiempo de germinación, generalmente se acude a métodos para acelerar dicho proceso, se puede usar técnicas como la estratificación, escarificación (física o mecánica), lixiviación; donde generalmente se usan hormonas vegetales como citocininas y giberelinas, reactivos como ácidos y bases o algún otro método que contribuya a la aceleración de la actividad metabólica de la semilla (Varela y Arana, 2015).

Debido a la falta de información sobre la germinación de la semilla del cultivo de espárrago y al pertenecer a la familia de las Liliaceas, las cuales generalmente comprenden un grupo de plantas con semillas de testa dura lo que las hace impermeables, latentes y ocasiona una germinación no homogénea, respecto a lo anterior se decidió trabajar con tratamientos pre-germinativos y obtener semillas más viables para acelerar y homogenizar la germinación de la semilla de espárrago (Lallana *et al.*, 2005).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de diferentes tratamientos para promover la germinación de semillas de espárrago (*Asparagus officinallis* L.).

1.1.2. Objetivo Específico

Aplicar promotores de la germinación como son ácido sulfúrico, ácido giberelico, citocininas, y agua caliente en diferentes dosis y periodos de inmersión en las semillas de espárrago Variedad Atlas F1.

1.2. Hipótesis

Se ha documentado que la semilla del espárrago presenta dificultades para su germinación debido a la presencia de una testa semidura y sustancias que retardan el proceso germinativo, por lo que, se espera que al menos un tratamiento y dosis promueva la germinación rápida y homogénea.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Descripción botánica

El espárrago es una planta monocotiledónea, de la familia de las Liliaceae; es originaria del Mediterráneo, es una planta de clima templado, aunque se ha adaptado a climas semiáridas. La parte comestible brota de las yemas que normalmente mide de 18-25cm (Prohens y Nuez, 2008).

El espárrago es una planta dioica perenne, cuyo cultivo dura bastante tiempo en el suelo, del orden de 8 a 10 años, desde el punto de vista de su vida económica rentable. De acuerdo a Moreira y González (2002), la morfología de la planta del cultivo del espárrago es la siguiente:

- La planta masculina posee flores elongadas con estambres y en general, produce mayor número de turiones o tallos, pero menor diámetro que la femenina. La planta femenina posee flores redondeadas, más pequeñas y produce un menor número de turiones, pero de mayor diámetro. Los frutos jóvenes son de color verde y en la madurez son de color rojo con, aproximadamente, seis semillas de forma triangular.
- La corona de la planta es un rizoma o tallo modificado subterráneo, el cual posee yemas que al desarrollarse forman los tallos aéreos. Del rizoma se diferencian dos tipos de raíces: las de almacenamiento que son gruesas y carnosas, y las de absorción de agua y nutrientes, que son delgadas y fibrosas. Este sistema subterráneo se denomina corona o garra y puede alcanzar grandes dimensiones.
- Los cladófilos u hojas modificadas, similares a agujas realizan la fotosíntesis y producen los carbohidratos que se almacenan en las raíces carnosas. Después de que el follaje llega a su madurez fisiológica, los cladófilos se tornan de un color dorado, para luego secarse, producto de la senescencia parcial de la planta. Esto indica que la planta ha almacenado suficientes carbohidratos en el rizoma y las raíces carnosas; los

rizomas presentan múltiples yemas maduras y la planta está en condiciones de ser estimulada a producir turiones, que son la parte comestible.

Para obtener la parte comestible de la planta de espárrago (los turiones o espárragos), es necesario cortar la parte aérea, esto con intención de estimular y llevar las reservas generadas en las raíces carnosas hacia las yemas o brotes, y así desarrollar los tallos, parte de la planta de donde se obtiene el turión o espárrago; y que a su misma vez forma los cladodios. La planta puede llegar a generar dos coloraciones de espárragos (blanco o verde), el cual depende del tipo de cosecha. Se llegan a obtener espárragos blancos si los turiones se cosechan antes de emerger sobre el nivel del suelo, para esto también se realiza una aporca antes de la emergencia; y se obtienen espárragos verdes, si no se realiza una aporca sobre el nivel del suelo. Prácticamente se obtienen los mismos rendimientos tanto para el espárrago verde como el blanco en kg/ha (Moreira y González, 2002; Rivera y Rodríguez, 1999).

2.2 Características de la planta, aspectos climáticos

2.2.1. Clima

Originalmente, el espárrago predomina principalmente en zonas donde el clima oscila entre el clima cálido y el clima frío. A pesar de esto, esta planta se ha adaptado a climas semiáridas. Para que la planta pueda entrar en receso vegetativo (dormancia), necesita como condición primaria estar expuesta a climas helados, con una temperatura inicial no mayor a 9 °C. (Moreira y González, 2002; Rivera y Rodríguez, 1999).

Para que la semilla pueda germinar de una manera más óptima posible, la temperatura no debe de estar por debajo de los 8°C y debe de estar entre los 15-25°C para que los turiones puedan desarrollarse correctamente. Cuando las plantas se encuentran en un estado latente o de receso, se requiere una temperatura inferior, esto durante 60-90 días en el año. Para poder obtener altos rendimientos económicos, es necesario cultivar las plantas de espárrago, en donde la

precipitación anual oscile entre los 1500-2500 mm, y con una altura superior de 1000 msnm. (Kaur *et al.*, 2018).

El crecimiento del turión se logra gracias a la temperatura del aire, esto debido a que, en la parte inferior del ápice del turión se concentra la mayor velocidad de crecimiento del mismo. Mientras que desarrollo de las yemas están dadas con base a la temperatura del suelo. Esto determina que la producción anual se logre en primavera (Castagnino *et al.*, 2012).

Para el cultivo de espárrago, se deben de considerar ciertos cuidados con las altas temperaturas, ya que ocasiona, que los extremos de los turiones se abran antes del tiempo adecuado, y se ramifique a baja altura, lo anterior reduce el periodo de la cosecha y como consecuencia lo convierte en un producto no comerciable. Asimismo, las temperaturas mayores a 30°C provocan la deshidratación del turión, afectando las características morfológicas. Mientras los brotes que son sometidos a temperaturas de 40°C generan ramas de apenas 5 cm de emergencia sobre el nivel del suelo. Por otro lado, las altas temperaturas hacen posible la inducción de las yemas por medio de las reservas de sacarosa generadas en la raíz durante la dormancia invernal (Asprelli *et al.*, 2005; Montes y Holle, 1994; Rivera y Rodríguez, 1999).

2.2.2. Agua

Para poder establecer el cultivo del espárrago, se requiere una cantidad y oportunidad de riego exigente. Montes y Holle (1994), mencionan que su requerimiento de agua es similar a la del cultivo de alfalfa; y el consumo promedio de agua por año debe de ser de 2000 a 2500 m³/ha, en condición bajo el sistema de riego por surco.

Para evitar bajos rendimientos de producción de espárrago, se debe de prevenir una deficiencia de humedad, ya que la falta de humedad provoca efectos negativos en los turiones (parte comercial) como, por ejemplo, una reducción en la longitud o diámetro del turión; asimismo, la baja humedad produce turiones mucho más fibrosos, reduciendo su calidad. Inclusive puede

llegar a inducir la latencia de las yemas, reduciendo al máximo la producción (Moreira y González, 2002).

2.2.3. Suelo

Se reconoce que el cultivo de espárrago prácticamente se puede plantar en casi todos los tipos de suelos. En muchas regiones se utilizan los suelos limosos, arenosos y francos arenosos. Pero los suelos más óptimos para el cultivo del espárrago se consideran los suelos bien drenados, profundos y ligeros, y los suelos con textura francos arenosos finos bien depurados. Los suelos francos arenosos son de gran provecho para el establecimiento de los cultivos tempranos. Los suelos pedregosos como también los arcillosos no se deben de usar debido, a que afectan a los turiones, deformándolos o evitando su emergencia. Las enfermedades pueden ser propicias en los suelos pesados y con muy altas cantidades de humedad. En el suelo, un pH neutro o ligeramente alcalino favorece e incrementa el rendimiento (Kaur *et al.*, 2018; Moreira y González, 2002).

2.3. Importancia económica

En los últimos 25 años el cultivo de espárrago ha reflejado un alza en más de un 200% en la producción a nivel mundial, estableciendo una propensión creciente, lo que actualmente ha destacado a la especie, haciéndola altamente valorada a nivel global (Castagnino *et al.*, 2012).

Existe una gran variabilidad en la productividad de un esparragal, el cual puede llegar a ser de siete mil kilos por hectárea hasta catorce mil como una máxima cosecha; esto dependerá de la cantidad y distribución de las plantas cultivadas en cuanto al terreno, así como la ejecución de un buen manejo agrícola (Desiderio-Vidal, 1958).

Después de la cosecha del cultivo de espárrago, es necesario mantener o resguardar lo cosechado a una temperatura cercana a la de congelación, minimizando así los cambios de calidad generados en el producto, durante las primeras 24 horas. Esto debido a que, el espárrago presenta una transformación importante después de ser cosechado, estos cambios

son propiamente químicos, en donde se reducen los azúcares e induce el aumento de material fibroso en lo que engloba la parte del brote de la planta del espárrago (Desiderio-Vidal, 1958; Rivera y Rodríguez, 1999).

Dentro del mercado, el espárrago tiene un alto nivel económico, registrándose en época de primavera los precios más elevados con las primeras cosechas. Dentro de la producción, el tiempo de cosecha que presenta el espárrago es de aproximadamente diez años, obteniéndose el mayor rendimiento en el quinto año de cosecha; aunque se debe tener en cuenta la calidad del turión o espárrago, ya que, los turiones con mayor longitud y peso presentan un mayor costo que los más pequeños (Asprelli *et al.*, 2005).

Anteriormente la tendencia era alta para la producción de espárrago blanco y verde, y estaba dado por Europa y América respectivamente, con el paso del tiempo el espárrago verde incremento su demanda, haciendo posible que los países productores de espárragos se enfoquen mayormente a la producción de espárragos verdes, generando a nivel mundial alrededor de un 60% de espárragos verdes, siendo el resto de la producción de espárrago blanco (Montes y Holle, 1994; Valdivia-Trujillo, 2015).

El espárrago (*Asparagus officinalis* L.) es un cultivo con alto porcentaje de demanda dentro del mercado internacional. Hasta el año 2013, Perú y México eran los primeros exportadores de espárragos generando un 40% y 28% de volumen total. Actualmente a nivel mundial, China se ha colocado en el primer lugar en la exportación de espárragos, seguido de Perú y México (Llanos-Martínez, 2017).

A nivel mundial, México se encuentra dentro de los primeros tres lugares en la producción de espárrago. Durante el año 2017, el estado de Sonora encabezó la producción, generando 146 mil 743 toneladas de espárragos, promoviendo así, divisas de 338 millones de dólares (14.6%), aportando un 59.8% a la producción nacional, mientras que Guanajuato y Baja California aportaron un 13.5 % y 12.8 % (86.1% en total). En el año 2016 la producción era de 216,632 toneladas, mientras que en 2017 fue de 245,444 toneladas, por lo que se obtuvo un incremento de un 13.3% (28,812 ton) de la producción de espárrago (SAGARPA, 2018).

2.4. Composición nutrimental del espárrago (*A. officinalis*)

Hoy en día, se ha incrementado el consumo de productos hortofrutícolas con alto contenido de fibras, puesto que la mayoría presentan bajos niveles de calorías y una mayor solubilidad, retención de agua y capacidad antioxidante. Dentro de estos vegetales se encuentra el espárrago, el cual presenta un alto contenido de fibras y en ciertos países se les ha dado un uso medicinal para combatir el cáncer, hongos y la inflamación estomacal. Debido a estas propiedades, el espárrago es un cultivo importante a nivel mundial, desde una perspectiva nutricional hasta lo económico (Agudelo-Cadavid *et al.*, 2015).

2.5. Germinación y latencia de semillas

La semilla es la parte más importante de una planta, desde el punto de vista de supervivencia logrando su dispersión; ya que, la semilla puede llegar a soportar la maduración hasta el establecimiento de la misma, formando nuevas generaciones. Existen dos fases primordiales para llevar a cabo el desarrollo de las semillas: la primera fase conlleva el desarrollo del embrión o la morfogénesis, durante el cual se genera un cigoto de una sola célula y concluye con la etapa de corazón, ya que se hallan formado todas las estructuras embrionarias. En la segunda fase se lleva a cabo la maduración de las semillas; en el cual, el embrión llena el saco de semilla, consta de un crecimiento (Bentsink y Koornneef, 2008; Rodríguez-Gacio *et al.*, 2009).

2.5.1. Tipos de semillas

En casi todas las especies, generalmente la semilla ha alcanzado la madurez cuando presenta un cambio de coloración. Existen especies de semillas que son incapaces de germinar, debido a que pueden presentar impermeabilidad, que van adquiriendo conforme se secan; asimismo, hay otras que germinan rápidamente luego de la antesis. Se reconocen dos tipos de semillas: ortodoxas (mayoría) y recalcitrantes, por lo general las primeras, no pierden la viabilidad a pesar de que solo adquieren un 2 a 5% de humedad; mientras que las otras semillas pueden

presentar hasta un 100% de contenido de humedad aun en la planta madre o fuera de esta, y pueden llegar a perder la viabilidad, si el contenido de humedad disminuye a un 30 o 65% (Pérez-Fernández y Gómez-Gutiérrez, 2005).

Las semillas pueden llegar a presentar un fenómeno de inactividad, que proporciona resistencia natural a factores adversos en el ambiente y puede llegar a impedir la germinación. Con base a lo anterior Dresch, *et al.* (2014) mencionan que “la clasificación de la latencia en semillas se basa en la permeabilidad de sus tegumentos (frutas), al agua (impermeable o permeable), en la morfología del embrión (las semillas pueden tener embriones subdesarrollados o totalmente desarrollados) y en numerosas respuestas fisiológicas a la temperatura”.

La semilla de *A. officinalis* puede presentar latencia física, como el caso de otras especies de plantas con testa dura, por lo que es necesario estimular la germinación, dado que esta mejora después de la aplicación de tratamientos pre-germinativos y así interrumpir la barrera del embrión para suavizar la cobertura de la semilla (Acosta y Rodríguez, 2005).

2.5.2. Latencia

La latencia o dormancia está dada por distintos factores genéticos y ambientales, como la luz, la temperatura, tiempo de resguardo de semillas, entre otros. La dormancia se define como la incapacidad de germinación de una semilla aun en las condiciones favorables. La semilla llega a perder la capacidad de germinación cuando hay una reducción de la actividad enzimática, y como consecuencia se reduce la energía (ATP) y la capacidad respiratoria (Bentsink y Koornneef, 2008; De Albuquerque *et al.*, 2015; Morad, 2013).

2.5.3. Germinación

En el endospermo de las monocotiledóneas y en los cotiledones de las dicotiledóneas, las reservas se producen y se resguardan durante la formación de la semilla. Para llevar a cabo la

germinación se deben de reactivar los procesos de traducción, transcripción y reparación del ADN luego del alargamiento de la célula. Después se debe de reactivar la división celular enseguida de la prolongación radicular. La germinación conlleva en su proceso la captación de agua y el alargamiento del eje embrionario de la semilla ya madura y seca. Físicamente la germinación presenta dos etapas, iniciando con la ruptura del endospermo y la ruptura de la testa. La germinación se completa con la ruptura del endospermo micropilar por la radicular emergente. Esencialmente en la semilla hay una activación metabólica hasta generar una plántula (Bentsink y Koornnef, 2008; Bewley y Black, 1949; Valdivia-Trujillo, 2015).

La germinación es un proceso que está en función de los factores externos e internos, siendo la absorción del agua un paso esencial para lograr la germinación. El tiempo de germinación dependerá de cada especie, ya que la cantidad de absorción de agua depende de la cubierta seminal, testa o cotiledón de la semilla (Contreras-Quiroz *et al.*, 2015).

Según Valdivia-Trujillo (2015), se pueden distinguir dos tipos de germinación;

1). La hipogea: en la mayoría de las especies, los cotiledones permanecen sobre o bajo el suelo; el punto de crecimiento (epicótilo) que está sobre los cotiledones comienza a crecer rápidamente formando un brote que termina en hojas rudimentarias (plúmula). La plúmula se dobla hacia atrás mientras que el brote sale del suelo, pero eventualmente se vuelve hacia la luz, y forma las primeras hojas de la plántula. Durante este período, los nutrientes de los cotiledones son absorbidos hasta secarse. Luego la plántula se nutre por sí sola (fotosíntesis).

2). La epigea: el hipocótilo comienza a crecer una vez que la radícula está suficientemente desarrollada. Esto generalmente hace que brote un arco fuera del suelo. El hipocótilo se hace más fuerte y los cotiledones se expanden, se vuelven verdes y comienzan a funcionar como hojas. Durante este tiempo la cubierta de la semilla se cae. Poco después el epicótilo comienza a crecer y la plúmula se desarrollará para producir las primeras hojas verdaderas. Si la semilla tiene un endosperma, este es absorbido por los cotiledones durante el crecimiento inicial.

La planta del género *Asparagus* es una monocotiledónea, presenta germinación hipogea (los cotiledones permanecen en el suelo). Durante la germinación, primero surge de la semilla la raíz primaria, un corto hipocótilo y la parte basal del cotiledón, mientras que la parte superior del cotiledón sirve como fuente de reservas. En la semilla madura se encuentra el embrión envuelto en un endospermo duro. Una vez ya establecida la raíz primaria surgen nuevas raíces secundarias. Asimismo, la yema terminal surge seguido de la emergencia de las hojas pequeñas del epicótilo (Valdivia-Trujillo, 2015).

La semilla de la planta de *A. officinalis* presenta un óvulo anátropo (común en angiospermas) es decir, que llaga a incurvarse 180°; puede adquirir una forma achatada si presenta dos óvulos, o puede llegar a ser redonda, si sólo un óvulo ocupa la cavidad de la semilla. La semilla presenta un pequeño embrión de estructura simple y semi-arqueada (Fig.1). El punto de crecimiento se concentra en la base, en donde también en su extremo llega a aparecer la zona radicular (Montes y Holle, 1994).

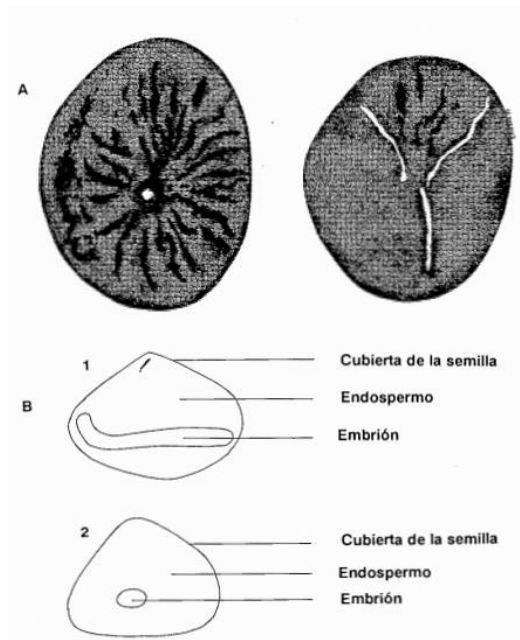


Figura 1. Morfología de la semilla de espárrago. A. Dos formas de semilla de espárrago. A la izquierda se observa una semilla redonda proveniente de un lóculo de una sola semilla. A la derecha se observa una semilla achatada en un lado o proveniente de un lóculo que produce dos semillas. B. Diagrama de la posición del embrión en la semilla. 1. Corte longitudinal. 2. Corte transversal (Montes y Holle, 1994).

2.6. Métodos pre-germinativos

El desarrollo de las plantas esta dado en base al proceso de germinación, hasta lograr la madurez (fructificación). Generalmente los procesos están inducidos por factores ambientales y por la activación de los procesos internos (Carrillo-Castañeda *et al.*, 2013; Soares-Oliveira *et al.*, 2015).

La latencia o dormancia, así como las hormonas y sustancias inhibidoras no hormonales son controladores internos que regulan la germinación de semillas y se ajustan a las condiciones medioambientales y metabológicas de la semilla (Saulo-Díaz, 2012).

La pérdida de la latencia del embrión se involucra con la presencia o ausencia del ácido abscísico (inhibidor de crecimiento) y ácido giberélico (promotor de crecimiento) (Valdivia-Trujillo, 2015).

Los tratamientos pre-germinativos, son todos aquellos métodos o procedimientos necesarios para romper o eliminar la latencia de las semillas, logrando establecer el medio adecuado para la germinación. Según Varela y Arana (2011), los métodos pre-germinativos más comunes son los siguientes:

- a) Estratificación: consiste en colocar las semillas entre estratos que conservan la humedad, comúnmente arena o vermiculita, en frío o calor. Generalmente sirve para romper la latencia fisiológica
- b) Escarificación (mecánica o química): comúnmente visto en especies forestales de testa dura. La escarificación son procesos que rompan, rayen, alteren mecánicamente o ablande las cubiertas de las semillas para hacerlas permeables al agua y a los gases.
- c) Lixiviación: las semillas son remojadas en agua corriente con la finalidad de remover los inhibidores químicos presentes en la cubierta. Este tratamiento también es empleado con el objetivo de ablandar la testa. El tiempo de remojo puede ser de 12, 24 y hasta 72 hrs.

- d) Combinación de tratamientos: se utiliza en semillas de especies que tienen más de un tipo de letargo.
- e) Hormonas y otros estimulantes químicos: existen compuestos que estimulan la germinación, entre los más usados están: nitrato de potasio, tiourea, etileno, ácido giberélico (GA3), citoquinas, entre otros. Todo este tipo de sustancias se emplean a diferentes concentraciones y tiempos de exposición.

Dentro de la semilla están presentes ciertos compuestos hormonales, como la citoquinina, giberelina, el ácido indolacético, entre otros, los cuales sirven como promotores de la germinación. Estos promotores naturalmente se concentran en pequeñas porciones y responden a los factores medioambientales y genéticos. Hoy en día, los compuestos son adquiridos en el mercado, y si se aplican correctamente a las semillas, estas pueden lograr su sintetización y así mejorar la capacidad de germinación (Valdivia-Trujillo, 2015).

Para llevar a cabo la germinación es necesario la presencia de varios promotores, Toh *et al* (2008), mencionan que el ácido abscísico (ABA) y las giberelinas (AG) son unas de las principales hormonas involucradas en el control de la germinación, pero aún no se tiene conocimiento de las acciones hormonales (metabolismo y capacidad de respuesta) y cómo estas reaccionan, responden y se alteran a altas temperaturas.

La transición entre la latencia de las semillas y la germinación representa una etapa crítica en el ciclo de vida de la planta y es un rasgo importante tanto en lo ecológico y comercial. El equilibrio entre la síntesis y el catabolismo de dos hormonas antagonistas, el ácido abscísico (ABA, inhibidor) y giberelinas (GA), controlan los sucesos de latencia de la semilla y la germinación. Las giberelinas son compuestos biológicamente activos entre las más comunes están, GA1, GA3, GA4 y GA7 los cuales llegan a eliminar la latencia y aceleran la germinación (Dresch *et al.*, 2014; Valdivia-Trujillo, 2015).

El endospermo y el tegumento promueven la latencia del embrión de la semilla, y condicionan la cantidad o proporción de giberelinas o citocininas necesarias para inducir la germinación y así, romper los efectos de latencia (Soares-Oliveira *et al.*, 2015).

Otro método para eliminar la latencia en semillas es la escarificación con el uso adecuado en tiempo y dosificación de ácido sulfúrico (H_2SO_4), el cual contribuye con la eliminación de las barreras de latencia y aceleran o promueve la germinación (Gutiérrez-Nava *et al.*, 2010).

Se sabe que el embrión de la semilla se encuentra inactivo cuando alcanza su madurez, por lo tanto, cuando se habla del almacenamiento de la semilla se deben de tener en cuenta las condiciones y los factores que pueden afectar la viabilidad; entre ellas la temperatura, la humedad relativa (bajas), tiempo de recolección de semillas y almacenamiento, entre otras. En el caso de las semillas de *A. officinalis*, según investigadores puede llegar a permanecer viable por 5 a 7 años si se almacenan entre los 2 a 5°C y 50-60% de humedad relativa (Montes y Holle, 1994).

La cantidad y velocidad de germinación de las semillas de *A. officinalis* dependerá de la temperatura del suelo y el ambiente, del manejo de agua y oxígeno, y la profundidad de siembra, esto debido a que la semilla presenta cierto porcentaje de latencia. El proceso de germinación se prolonga si la temperatura llega a ser menor que los 25 y 30°C (temperatura óptima para germinación). Varios investigadores han confirmado un método para acelerar la germinación y facilitar la emergencia de la planta, el cual consiste en remojar las semillas en agua durante tres a cinco días, a una temperatura de 30-40°C por 72hrs. Con este proceso se puede promover y homogenizar la germinación de la semilla en aproximadamente 15 días (Montes y Holle, 1994).

La inactividad del embrión de las semillas juega un papel importante para la supervivencia de la propia planta, puesto que evita la germinación en tiempos cortos favorables y no favorables. Por otro lado, las semillas que no presentan latencia llegan a tener ciertas ventajas, ya que germinan rápidamente en tanto las condiciones sean adecuadas, de forma que también evitan la depredación de la especie por otros depredadores (Willis *et al.*, 2014).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento

La presente investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Ecología del Departamento de Botánica de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada geográficamente a los 25° 23' 42'' latitud norte y 100° 50' 57'' longitud oeste, a una altitud de 1 743 msnm, en Buenavista, Saltillo, Coahuila.

3.2. Material vegetal

Para llevar a cabo la investigación se utilizaron semillas de espárrago de la variedad Atlas F1. Del lote de semilla, se hizo el conteo de 900 semillas las que se utilizaron para el establecimiento del experimento, y fueron distribuidas en dos condiciones de germinación (caja Petri y Peat-moss).

3.3. Desinfección de semillas

Previo al establecimiento de los tratamientos, las semillas se sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 6% para su desinfección durante 5 min., pasado ese tiempo las semillas se retiraron de la solución y se enjuagaron con agua destilada abundante hasta quitar el exceso de la solución de hipoclorito de sodio; y, por último, se procedió a su secado con papel absorbente tipo sanitas hasta quitar el exceso de humedad.

3.4. Tratamientos a evaluados

Se evaluaron 18 tratamientos, utilizando cinco productos a diferentes concentraciones, y el testigo respectivamente; los que se indican en el cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos pre-germinativos y concentraciones que se aplicaron a las semillas de espárrago.

| Tratamientos | | | | | | |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------|---|--|----------------------|--------------------------|
| Producto | Ácido giberélico (AG ₃) | Citocininas | Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) | Nitrato de potasio (KNO ₃) | Agua caliente (70°C) | Testigo (agua destilada) |
| Dosis/periodo | 500 ppm | 500 ppm | 25% | 0.1% | 5 min | ----- |
| | 1000 ppm | 1000 ppm | 50% | 0.2% | 10 min | ----- |
| | 2000 ppm | 2000 ppm | 100% | 0.4% | 20 min | ----- |
| Tiempo de remojo | 24hrs | 24hrs | 30min | 30min | ---- | 30min |

3.5. Establecimiento del experimento

El experimento se estableció bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar, este constó de dieciocho tratamientos con tres repeticiones cada uno; para cada una de las tres repeticiones se utilizaron 25 semillas de espárrago (75 semillas totales por cada tratamiento), y un total de 450 semillas distribuidas en 18 tratamientos por condición de germinación. Las semillas se colocaron en cajas Petri y se les aplicó la solución correspondiente previamente preparada (mencionados anteriormente) a la concentración y periodos establecidos para cada caso. Transcurrido el tiempo de remojo de las semillas en cada tratamiento, se secaron las semillas para su establecimiento en nuevas cajas Petri con papel filtro debidamente etiquetadas para su identificación y otras en recipientes de plástico tipo pasteleros con peat-moss, las cajas Petri contenía 10ml de agua destilada para mantener la condición de humedad y que las semillas continuarán el proceso de imbibición y posterior germinación, en tanto que el peat-moss la humedad se mantuvo por medio de la aplicación de 20ml de agua destilada cada tercer día. Finalizado el proceso de siembra, tanto las cajas Petri como los recipientes con peat-moss se colocaron en una cámara de germinación Plant Growth Chamber, modelo: MGC-300B,

donde se mantuvieron a $28^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}$. Se mantuvo monitoreo constante de la humedad a fin de evitar que el papel filtro se seque y afectará al proceso de imbibición.

3.6 Evaluación de la germinación

La toma de datos se inició siete días después de la siembra, se realizó la observación diaria para monitorear el contenido de humedad en la caja Petri, a fin de evitar que las semillas se quedaran sin la humedad necesaria. Al identificar las primeras germinaciones de las semillas, se inició el conteo y después se realizó el conteo cada tercer día.

Con los datos obtenidos se evaluó la efectividad del tratamiento, viabilidad y la homogenización de la germinación de la semilla de espárrago (*Asparagus officinalis*).

3.7. Variables evaluadas

Los índices de germinación desarrollados por Bewler y Black, (1994):

a) Índice de velocidad de germinación (IVG).

$$IVG = n_i/t_i$$

Índice de Velocidad de germinación (Maguire, 1962). Relación del número de semillas germinadas con el tiempo de germinación, donde M o IVG= índice de velocidad de germinación, n= número de semillas germinadas el día i, t = tiempo de germinación desde la siembra hasta la germinación de la última semilla.

b) Índice de velocidad de emergencia (IVEm).

$$IVEm = n_i/t_i$$

Índice de Velocidad de emergencia, ajustada (Maguire, 1962). Relación del número de plántulas emergidas con el tiempo de emergencia, donde $IVEm$ = índice de velocidad de emergencia, n = número de plántulas emergidas el día i , t = tiempo de emergencia desde la siembra hasta la emergencia de la última plántula.

c) Longitud de plúmula o tallo en caja Petri y en Sustrato (CPlong, Slong).

Con un calibrador vernier digital, se midió (mm) la parte de donde inicia el coleóptilo hasta el final de la plúmula.

d) Grosor de plúmula o tallo en caja Petri y en Sustrato (CPgro, Sgro).

Con un calibrador vernier digital, se midió (mm) el grosor del coleóptilo/tallo.

e) Porcentaje de germinación (%G)

El potencial germinativo o el porcentaje total de germinación, consiste en contabilizar cada una de las semillas germinadas (raíz) hasta el último día de la evaluación y el resultado se obtiene dividiendo el número total de plántulas emergidas, entre el número total de semillas sembradas y se multiplica por cien.

f) Tiempo promedio para alcanzar la germinación (TPG)

$$TPG = \sum (t_i \cdot n_i) / \sum n_i$$

Es una medida del tiempo promedio de germinación que necesitan las semillas para germinar, donde TPG = tiempo promedio de germinación, t_i = número de días después de la siembra, n_i = número de semillas germinadas el día i (González-Zertuche y Orozco-Segovia, 1996).

g) Tiempo promedio para alcanzar la emergencia (TPEm)

$$TPEm = \sum (t_i \cdot n_i) / \sum n_i$$

Es una medida del tiempo promedio de emergencia que necesitan las semillas para emerger la plumula, donde TPEm= tiempo promedio de emergencia, t_i = número de días después de la siembra, n_i = número de semillas germinadas donde inicia aparecer el epicotilo y plúmula el día i ; fórmula ajustada (González-Zertuche y Orozco-Segovia, 1996).

3.8. Análisis estadístico

A los datos obtenidos del experimento se les realizó el análisis de varianza mediante el Software Statistical Analysis Software (SAS Institute, 2002), de acuerdo al siguiente modelo:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad , i=1,2,\dots,t; \quad j=1,2,\dots,r$$

Donde,

y_{ij} : Denota la j -ésima medición del tratamiento i -ésimo.

μ : Media general.

τ_i : Efecto del i -ésimo tratamiento.

ε_{ij} : Error experimental de la j -ésima medición del i -ésimo tratamiento.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de varianza.

Los resultados mostrados en Cuadro 2 del experimento llevado a cabo bajo condiciones de laboratorio, con base al análisis de varianza, muestran que hay diferencia significativa y altamente significativa, entre los diferentes tratamientos y condición de germinación (caja Petri y sustrato peatmoss). Se puede observar que para los tratamientos se reflejó las diferencias significativas con $p \leq 95\%$ (≤ 0.05) en la variable Índice de Velocidad de Germinación en caja Petri (IVG); y diferencias altamente significativas del $p \leq 99\%$ (≤ 0.01) para las variables Índice de emergencia en sustrato (IVEm), longitud de tallo y grosor de tallo en caja Petri (CPlong, CPgros), longitud y grosor del tallo en sustrato (Slong, Sgros).

Coefficiente de determinación (R^2) se presenta en un rango desde 0.8503 hasta 0.9586, lo que representa que los datos se distribuyeron de manera homogénea entre tratamientos, por lo que el análisis se ajustó al modelo utilizado. Los coeficientes de variación (CV) registrados se presentaron en un rango desde, 10.12% para la variable longitud del tallo en sustrato (Slong), hasta 20.35% para la variable grosor del tallo en caja Petri (CPgros), encontrándose estos en un rango de aceptación de variación experimental llevada a cabo para un experimento de calidad (Bowman, 2001; Gordón-Mendoza y Camargo-Buitrago, 2015; Ruiz-Ramírez, 2010).

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza de los tratamientos pre-germinativos aplicados a semillas de Esparrago (*Asparagus officinalis*).

| Fuentes de variación | Gl | IVG | IVEm | CPlong | CPgro | Slong | Sgro |
|----------------------|----|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| Trat | 17 | 0.2873* | 0.3508** | 405.7431** | 0.5624** | 22866.1473** | 0.2633** |
| Rep | 2 | 0.0062 _{NS} | 0.0274 _{NS} | 27.4711 _{NS} | 0.0176 _{NS} | 322.7407 _{NS} | 0.0055 _{NS} |
| Model | 19 | 0.2577 | | | | | |
| Error | 34 | 0.0253 | | | | | |
| R^2 | | 0.8503 | 0.8796 | 0.8754 | 0.9386 | 0.9586 | 0.9243 |
| CV (%) | | 16.6705 | 19.1432 | 18.5449 | 20.352 | 10.1249 | 17.5896 |

** : Diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$); * : diferencias significativas ($\alpha \leq 0.05$); NS: no se presentaron diferencias significativas; CV(%): porcentaje del coeficiente de variación para cada variable; R^2 : coeficiente de determinación; Trat: tratamientos; Rep: repetición; Gl: grados de libertad; IVG: índice de velocidad de germinación en caja Petri; IVEm: índice de velocidad de emergencia en sustrato; CPlong: longitud del tallo en caja Petri; CPgro: grosor del tallo en caja Petri; Slong: longitud de tallo en sustrato; Sgro: grosor del tallo en sustrato.

4.2. Efecto de los tratamientos pre-germinativos

4.2.1. Índice de Velocidad de Germinación en caja Petri.

Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en índice de velocidad de germinación en caja Petri (IVG) (Cuadro 3). Los tratamientos con nitrato de potasio (KNO_3) en las tres concentraciones utilizadas (0.1, 0.2 y 0.4%), ácido giberelico (AG_3) y citocininas (CITO) a 500, 1000 y 2000 ppm, respectivamente, mostraron valores superiores en comparación al tratamiento de ácido sulfúrico (H_2SO_4) en 50 y 100% y agua caliente (AC) en sus tres tiempos (5, 10 y 15 minutos), y respecto al control. Respuestas semejantes menciona Espinoza-González (2018) y Mayo-Mosqueda *et al.* (2017), en semillas de otras especies, como el chile piquín, en el cual, se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (*Capsicum annuum*, var. *aviculare*) y una especie de la familia *Arecaceae* (palma).

4.2.2. Índice de Velocidad de Emergencia en Sustrato

Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos establecidos para el índice de velocidad de emergencia en el sustrato (IVEm) (Cuadro 3). Los tratamientos con KNO_3 a 0.1, 0.2 y 0.4% (1.057, 1.0753 y 1.0937%), AG_3 a 500, 1000 y 2000 ppm (1.0233, 0.936 y 0.965%) y citocininas a 500, 1000 y 2000 ppm (0.934, 0.9093 y 0.9767%), mostraron los mejores resultados en IVEm. Por otro lado, se observaron efectos negativos con los tratamientos con AC 5, 10 y 15 min y H_2SO_4 50% y 100%, estos presentaron las menores índices de velocidad de emergencia (0.6220, 0.2567 y 0; 0.7503 y 0.0933%), superadas por el promedio testigo absoluto (1.012%). Méndez-Nataera *et al* (2007), mencionan que los tiempos de inmersión o remojo de las semillas en agua caliente suelen disminuir el porcentaje de germinación, dentro de su experimento entre más era el tiempo de inmersión, la germinación era más baja en los cultivares de maíz, (Cargill 633, Himeca 2003 y Criollo). Esto debido a que el agua caliente pudo atravesar el pericarpio (capa protectora), logrando causar la muerte del embrión. Respuestas similares mencionan du Toit y Hernández-Pérez (2005), en su experimento de la erradicación de hongos en las semillas de espinaca tratándolas con agua caliente (40, 45, 50, 55 y 60 °C durante 10 a 40 minutos) y encontraron que la germinación se redujo a 50°C durante ≥ 30 min o 55 o 60°C durante ≥ 10 min.

4.2.3. Longitud de tallo de plántulas en caja Petri

En cuanto longitud del tallo de la plántula en caja Petri (CPlong), se encontraron diferencias entre tratamientos, donde se vieron favorecidos los tratamientos aplicados con KNO_3 a 0.1, 0.2 y 0.4%, AG_3 500, 1000 y 2000 ppm, y citocininas a 500 ppm, obteniéndose valores de 34.737, 41.303 y 38.974 mm para el KNO_3 , 36.194, 38.309 y 37.903 mm para AG_3 ; y un valor de 39.026 mm para citocininas, respectivamente (Cuadro 3). En general distintos tratamientos pre-germinativos actúan de distintas formas sobre la semilla o plántula, los efectos se reflejan en distintas partes de la plántula y dependerá de la concentración utilizada. Por tanto, la aplicación de KNO_3 ayuda a promover la germinación, mientras que giberelinas estimula la germinación, y a la misma vez promueve y mejora en gran parte los aspectos morfológicos de la planta (García-Federico *et al.*, 2010; Bewley y Black, 1994).

4.2.4. Longitud de tallo de plántulas en sustrato

En la variable longitud del tallo en sustrato (Slong) se encontraron diferencias entre tratamientos, en el cual se vieron favorecidos los tratamientos aplicados con KNO_3 (0.1, 0.2 y 0.4%) con valores de 277.20, 261.67 y 275.27 mm, AG_3 (500, 1000 y 2000 ppm) con 284.53, 273 y 265.67 mm, y H_2SO_4 (25 y 50%) 269.40 y 264.95 mm, respectivamente, e incluso el testigo presento valores superiores; en comparación con los tratamientos aplicados con citocininas (CITO 1000 y 2000 ppm) y el H_2SO_4 100% con valores de 133.40, 67.67 y 110.07 mm respectivamente; esto debido a que las fitohormonas y los compuestos químicos utilizados en el remojo de las semillas influyeron de distinta forma en la emergencia y características morfológicas de la plántula del espárrago. Lo anterior indica que las citocininas y giberelinas, al formar parte de un producto fitohormonal presentan un efecto promotor en la emergencia, pero esto dependerá de sus diferentes concentraciones establecidas sobre la germinación de semillas (Abril-Saltos *et al.*, 2017; Camelo *et al.*, 2011; Cano-Vásquez *et al.*, 2015).

4.2.5. Grosor del tallo

En cuanto a las variables grosor del tallo de las plántulas en caja Petri (CPgros) y grosor de tallo de las plántulas en sustrato (Sgros) se encontraron diferencias entre tratamientos, en el

cual los tratamientos aplicados con citocininas 2000, 1000 y 500 ppm presentaron los mejores resultados obteniendo valores de 2.0387, 1.3493 y 0.7693 mm para CPgros, mientras para Sgros fueron de 1.06467, 1.04133 y 0.7806 mm respectivamente (Cuadro 3). La aplicación de las fitohormonas a las semillas influyó de distinta forma en la emergencia y características morfológicas de las plántulas de espárrago, por lo que la aplicación de las citocininas como tratamiento pre-germinativo en las semillas, genero plántulas con mayor grosor del tallo, aunque con una longitud de tallo reducido, esto debido a que, en algunas concentraciones, las citocininas pueden llegar a suprimir el crecimiento de la raíz (Tanimoto, 2005).

Cuadro 3. Efecto de los tratamientos pre-germinativos aplicados a semillas de espárrago (*Asparagus officinalis*).

| Trat | Dosis/tiempo | IVG | IVEm | CPlong (mm) | CPgro (mm) | Slong (mm) | Sgro (mm) |
|--------------------------------|--------------|----------|-----------|-------------|------------|------------|-------------|
| H ₂ SO ₄ | 25% | 1.1457 a | 0.9663 a | 33.523 ab | 0.6000 cd | 269.40 a | 0.6793 cd |
| | 50% | 0.9767 a | 0.7503 a | 25.036 abc | 0.5480 cd | 265.93 a | 0.7686 abc |
| | 100% | 0.3003 b | 0.0933 c | 7.469 ed | 0.2693 de | 110.07 bc | 0.3773 defg |
| KNO ₃ | 0.1% | 1.2717 a | 1.057 a | 34.737 ab | 0.5792 cd | 277.20 a | 0.7901 abc |
| | 0.2% | 1.0967 a | 1.0753 a | 41.303 a | 0.4547 cd | 261.67 a | 0.72933 bc |
| | 0.4% | 1.057 a | 1.0937 a | 38.974 a | 0.5827 cd | 275.27 a | 0.8933 abc |
| CITO | 500 ppm | 1.0497 a | 0.934 a | 39.026 a | 0.7693 c | 262.53 a | 0.7806 abc |
| | 1000 ppm | 0.9503 a | 0.9093 a | 34.875 ab | 1.3493 b | 133.40 cb | 1.04133 ab |
| | 2000 ppm | 1.0703 a | 0.9767 a | 19.193 bcd | 2.0687 a | 67.67 cd | 1.06467 a |
| AG ₃ | 500 ppm | 1.177 a | 1.0233 a | 36.194 a | 0.5793 cd | 284.53 a | 0.7613 abc |
| | 1000 ppm | 1.057 a | 0.936 a | 38.309 a | 0.5707 cd | 273 a | 0.6300 cde |
| | 2000 ppm | 1.0093 a | 0.965 a | 37.903 a | 0.6980 c | 265.67 a | 0.6000 cdef |
| AC | 5 min | 1.0877 a | 0.6220 ab | 33.569 ab | 0.6373 cd | 270.73 a | 0.3133 efgh |
| | 10 min | 0.9527 a | 0.2567 bc | 15.331 cde | 0.6633 cd | 143.47 b | 0.2906 fgh |
| | 15 min | 0 b | 0 c | 0 e | 0 e | 0 d | 0 h |
| Testigo | 1 | 1.057 a | 0.9737 a | 32.262 ab | 0.5647 cd | 283.67 a | 0.3173 efgh |
| | 2 | 1.0233 a | 1.000 a | 29.423 abc | 0.5027 cd | 262.60 a | 0.2733 gh |
| | 3 | 0.9057 a | 1.000 a | 26.292 abc | 0.5740 cd | 244.67 a | 0.3246 efg |

Trat: tratamientos; IVG: Índice de velocidad de germinación en caja Petri; IVEm: Índice de velocidad de emergencia en sustrato; CPlong: longitud del tallo en caja Petri; CPgro: grosor del tallo en caja Petri; Slong: longitud de tallo en sustrato; Sgro: grosor del tallo en sustrato; AC: agua caliente. Letras diferentes por columna indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo a Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

4.3. Porcentaje de germinación (%G)

La Figura 2 muestra el porcentaje de germinación (%G) en caja Petri, de la semilla de espárrago, en este parámetro, las semillas se vieron favorecidas con la aplicación de los tratamientos pre-germinativos, con excepción de los tratamientos con agua caliente (AC) 10 y 15 minutos y H₂SO₄ 50 y 100% que ocasionaron efectos negativos sobre el porcentaje de germinación y de emergencia, respectivamente. Los tratamientos KNO₃ al 0.1%, AG₃ 500 ppm y H₂SO₄ al 25% tuvieron los mejores efectos y alcanzaron 93.3, 93.3 y 89.3% de la germinación comparados con el promedio de los 3 testigos utilizados, que fue de 83.6%. Estos mismos tratamientos presentaron una germinación superior de 9.7, 9.7 y 5.7% sobre el promedio de los testigos. Se debe tener en cuenta que el H₂SO₄ 25% aceleró la germinación, pero, también provocó la muerte de varias semillas, por lo que habría que experimentar con concentraciones más bajas que las estudiadas en este trabajo.

4.4. Porcentaje de emergencia (%Em)

En este parámetro se midió en las plantas establecidas en sustrato. Figura 2 se muestra el porcentaje de emergencia, en el cual, se aprecia que los mayores incrementos en el porcentaje de emergencia se reflejaron en los tratamientos KNO₃ 0.4, 0.2, 0.1 %, estos presentaron valores de 88.0%, 86.7% y 86.7%, lo que representa 4.4%, 3.1% y 3.1%, respectivamente, de diferencia con respecto al promedio de los testigos (83.6%). El tratamiento con AG₃ 500 ppm presentó 85.3% de emergencia y un incremento de 1.7 % sobre el promedio de los 3 testigos utilizados. Todos los demás tratamientos manifestaron efectos negativos; algunos, como en el caso de agua caliente (AC) por 15 y 10 minutos, y el H₂SO₄ 100% provocaron alto porcentaje de mortalidad con 83.6, 58.3 y 74.3% menor en emergencia con respecto al promedio de los testigos. En base a lo anterior, Andrade y Lauretin (2015), mencionan que el uso de nitrato de potasio promueve e incrementa el porcentaje de germinación de las semillas, como en su experimento realizado con tres cultivares de ají dulce (*Capsicum chinense Jacq.*), el cual se vio favorecido con la aplicación de nitrato de potasio al 0.2%; mientras que en el espárrago la concentración 0.1% fue la mejor, sin descartar las demás concentraciones (0.2 y 0.4%).

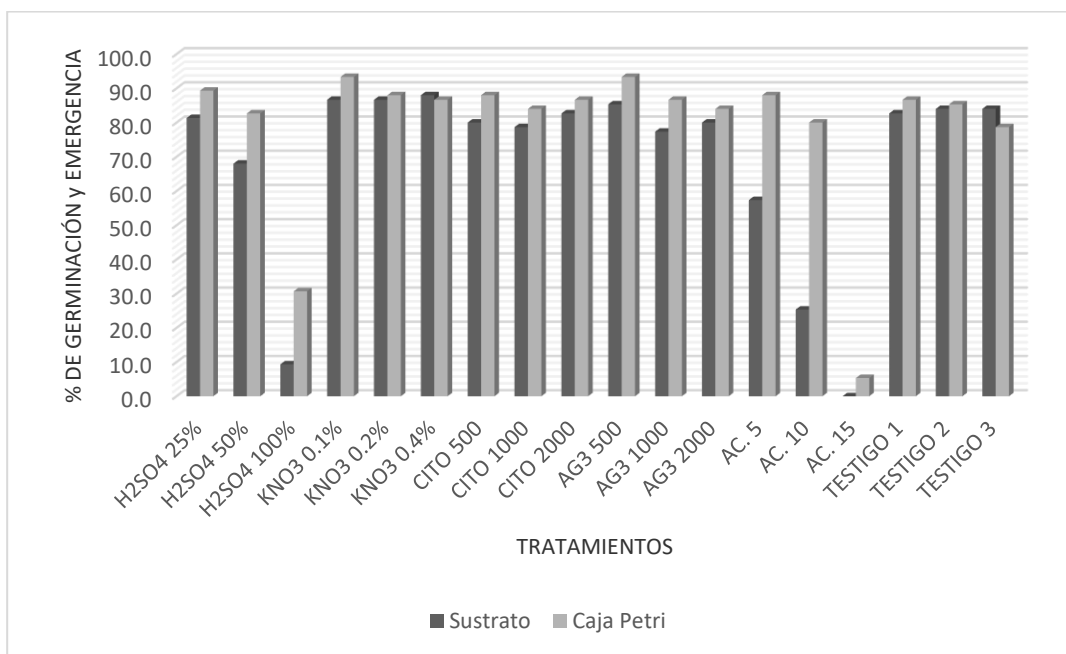


Figura 2. Porcentaje de germinación y de emergencia (%G y %Em) después de 16 días de siembra de semillas de espárrago en condiciones de caja Petri y sustrato bajo 18 tratamientos pre-germinativos.

El porcentaje de emergencia (%Em) de semillas de espárrago se vio favorecido con los tratamientos pre-germinativos aplicados con ácido giberelico (AG_3) y el nitrato de potasio (KNO_3) a diferentes concentraciones, superando a los tratamientos aplicados con agua caliente (AC) y ácido sulfúrico (H_2SO_4 100%) los cuales presentaron un %Em bajo, sin embargo, suficiente para superar al tratamiento testigo (Figura 2). Abril-Saltos *et al.* (2017), mencionan que el uso de AG_3 promueve positivamente la germinación de semillas de diferentes especies (*Eugenia stipitata* y *Stachytarpheta cayennensis*); esto debido a que esta fitohormona tiene la capacidad de inducir la movilización de las reservas de las semillas y estimular la germinación y emergencia (Bewley y Black, 1994; García-Federico *et al.*, 2010; Valdivia-Trujillo, 2015).

La aplicación de KNO_3 en las semillas de espárrago favoreció el tiempo (no mostrado) y el %Em al igual que el AG_3 , lo que indica que las semillas presentan cierta latencia física, a diferencia de los resultados descritos por Mayo-Mosqueda *et al.* (2017), en semillas de *Calyptrogyne ghiesbreghtiana* (palma o guanito), en el cual el KNO_3 solo favoreció el

porcentaje de germinación y emergencia, y en cuestión del tiempo de germinación no presento diferencias comparadas con otros tratamientos. Asimismo, Cano-Vásquez *et al.* (2015), mencionan que el KNO_3 generó la menor cantidad de porcentaje y aceleración de la germinación de semillas de chile piquín, y menciona la respuesta negativa del KNO_3 en las semillas de cebolla (*Allium cepa*), una especie cercana y proveniente de la misma familia (*Liliaceas*) del espárrago.

Se ha encontrado que el tratamiento hidrotérmico genera mayores efectos negativos que positivos en la estimulación de la germinación de las semillas de ciertas especies, García-Federico *et al.* (2010), realizaron un experimento estableciendo un tratamiento hidrotérmico de 50°C en semillas de chile piquín, el cual dilato la germinación y la emergencia de la plántula. Para el experimento de las semillas de espárrago, se estableció un tratamiento hidrotérmico de 70°C , lo que indica que las semillas de espárrago son sensibles a altas temperaturas, y causó la muerte de las semillas, (Figura 2).

En la Figura 2 se refleja cómo influyen las concentraciones utilizadas de los promotores de germinación sobre el porcentaje de germinación en las semillas de espárrago y su emergencia. En donde los mejores resultados de porcentaje de germinación para las semillas de espárrago y por tanto, la emergencia de la plántula, se vieron con la aplicación de los distintos productos a concentraciones bajas (H_2SO_4 al 25%, KNO_3 al 0.1%, CITO a 500 ppm y AG_3 a 500 ppm), a diferencia de lo que mencionan, Mandujano *et al.* (2007), en el experimento en donde se aplicó AG_3 a pequeñas concentraciones para estimular la germinación de tres especies de semillas del genero *Opuntia* (Cactaceae), y en el que se presentó un bajo porcentaje de germinación; aunque generalmente la familia Cactaceae y algunas otras especies de plantas por lo general requieren de una variación de tratamientos mecánicos, físicos y químicos para lograr un alto porcentaje de germinación (Hock *et al.*, 2006; Rojas-Aréchiga *et al.*, 2011;). Para el caso de la aplicación de los promotores de germinación a las semillas de espárrago, las concentraciones altas de los distintos productos utilizados, fueron o son aceptables hasta cierto punto con base al porcentaje de germinación total, cabe mencionar que dentro de estos están, el nitrato de potasio (KNO_3), las citocininas (CITO) y giberelinas (AG_3), descartando el ácido

sulfúrico concentrado (H_2SO_4 al 100%) y el tratamiento hidrotérmico de agua caliente con mayor tiempo de remojo (AC 15 min), ya que estos dos últimos cuentan con un gran número de semillas sin germinar. El ácido sulfúrico pudo causar cierto daño a la semilla, debido a que la cubierta seminal de la semilla de espárrago no es muy gruesa, a pesar de la presencia del endospermo que cubre el cotiledón (Kubitzki, 1998). Respuestas similares mencionan Viera *et al.* (2019), en una especie de mora, en la cual el ácido sulfúrico posiblemente causó daños directos en la semilla, reduciendo el porcentaje de la germinación. Contrario a lo anterior, Hernández-Vargas *et al.* (2001), mencionan para otras familias de plantas, donde hablan de especies como *Enterolobium cyclocarpum*, *Pithecellobium dulce* y *Prosopis laevigata*, los cuales requieren altas temperaturas y altas concentraciones de ácido sulfúrico con un tiempo aun mayor de remojo, para lograr un cierto porcentaje de germinación.

Las semillas de espárrago mostraron un aumento en la germinación, con la aplicación de las dos fitohormonas (giberelinas y citocininas) utilizadas en el experimento. En la Figura 3, se hace una comparación del efecto morfológico ejercido en la parte del tallo de la plántula del espárrago, por medio de la aplicación previa de las giberelinas y citocininas en las semillas, donde el uso de giberelinas promovió la elongación del tallo de la plántula de espárrago. Mientras que las citocininas generaron plántulas con tallo de menor longitud, pero con un mayor diámetro, esto debido, a que las citocininas son un tipo de hormonas que promueven la división celular y tienen la capacidad de retrasar la senescencia de los órganos, lo que contribuyó a promover plántulas con mayor diámetro en el tallo. Esto tiene una ventaja para el cultivo de espárrago, ya que, si se obtienen cosechas de espárrago o turiones de mayor longitud y diámetro, se incrementan los ingresos, puesto que la parte comercial (turiones) provienen del tallo (Jordán y Casaretto, 2006; Lluna-Duval, 2006). Araujo-Vásquez (2010), mencionan dentro de su experimento, que la aplicación de citocininas favoreció ciertos aspectos morfológicos de la planta de rosas, el cual presentó un mayor diámetro en los tallos.

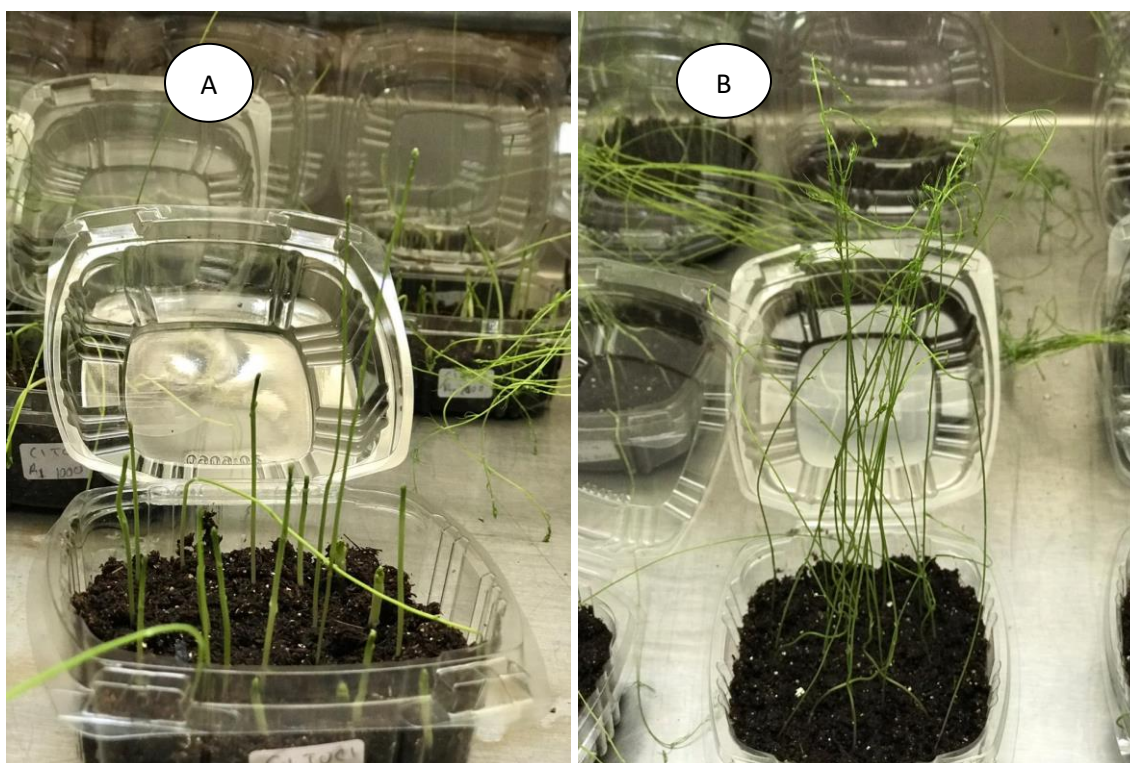


Figura 3. A) plántulas de espárrago a los 12 días después de la siembra de la semilla establecido previamente a 2000 ppm de citocininas. B) plántulas de espárrago a los 12 días después de la siembra de la semilla, establecido previamente con giberelinas a 2000 ppm.

4.5. Tiempo promedio para alcanzar la germinación

En la Figura 4, se observa que en los tratamientos aplicados con las citocininas (500, 1000 y 2000 ppm) y giberelinas (500, 1000 y 2000 ppm) aceleraron el tiempo para la germinación de las semillas, siendo estas un promedio de 5.0, 5.1 y 5.2; 5.1, 5.5 y 6.1 días, respectivamente, disminuyendo de un 0.3 a 0.7 de días para la germinación en comparación del promedio del testigo (5.8). Asimismo el H_2SO_4 (25, 50 y 100%) aceleró el tiempo de germinación de 5.6, 4.6 y 3.8 días respectivamente, en promedio aceleró un 1.1 en tiempo para alcanzar la germinación de la semilla con base al promedio del testigo, sin embargo, el efecto negativo del H_2SO_4 se vio reflejado en el porcentaje de germinación de semillas, esto debido a la concentración o tiempo de remojo de las semillas con este tratamiento, a diferencia de las citocininas, AG_3 y el KNO_3 , los cuales promovieron el tiempo y el porcentaje de germinación. Con lo anterior se podría probar el uso del H_2SO_4 en otras concentraciones y tiempo de remojo

inferiores a los utilizados en este experimento, puesto a que reduce el tiempo de germinación. Respuestas similares mencionan Viera *et al.* (2019), en su experimento con una especie de mora, en la cual el ácido sulfúrico probablemente causó daños directos en la semilla, reduciendo la germinación. Carranza, *et al* (2016), en su investigación obtuvieron una respuesta positiva en la germinación de la semilla de *Badea* (*Passiflora quadrangularis* L.) en el cual, la aplicación de AG₃ a 1200 ppm y KNO₃ al 0.4%, aceleró el tiempo de germinación con 6,55 y 6,39 semillas/día. Asimismo, respecto a lo anterior Matilla (2016), menciona que las citocininas y giberelinas juegan un papel importante en el proceso de división celular, por tanto, influyen en la actividad mitótica del endospermo y del embrión de tal manera que estimula a la germinación de la semilla.

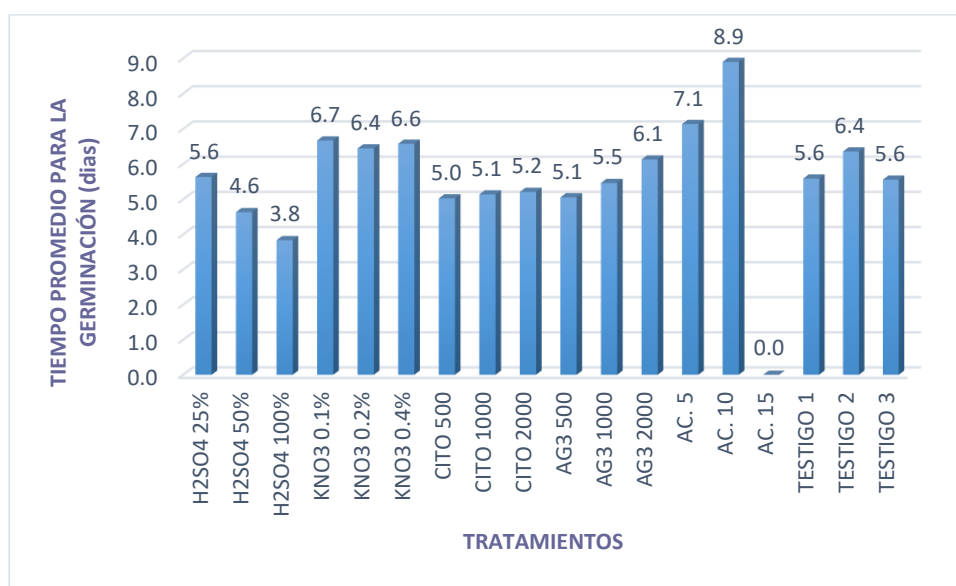


Figura 4. Tiempo promedio para alcanzar la germinación (TPG) de semillas de espárrago en condición de caja Petri.

4.6. Tiempo promedio para alcanzar la emergencia

En la Figura 5, se observa que en los tratamientos aplicados con KNO₃ (0.1, 0.2 y 0.4%) aceleraron la emergencia en promedio de 8.3, 8.3 y 8.6 días. Así mismo, las citocininas (500, 1000 y 2000 ppm) y giberelinas (500, 1000 y 2000 ppm) redujeron el tiempo de emergencia

de las plántulas de espárrago, siendo estas un promedio de 9.1, 8.4 y 9.5; 9.1, 10.1 y 9.1 de días, respectivamente, disminuyendo un 1.1 (KNO_3), 0.5 (CITO) a 0.1 (AG_3) días para la emergencia en comparación del promedio del testigo (9.5). Asimismo, el H_2SO_4 (25, 50 y 100%) aceleró el tiempo de emergencia de la plántula de 9.3, 9.2 y 7.8 días respectivamente, superando así un 0.8 en tiempo de emergencia al testigo; sin embargo, se sabe que afectó la germinación, y como consecuencia, también afectó la emergencia, puesto que las semillas murieron desde que se llevó a cabo el remojo de las semillas, respuestas similares se observaron en el tratamiento hidrotérmico con agua caliente a 70°C . García-Federico *et al.* (2010), realizaron un experimento en semillas de chile piquín, estableciendo un tratamiento hidrotérmico de 50°C , el cual retrasó la germinación y la emergencia de la plántula, e incluso provocando la muerte de las semillas. Las citocininas juegan un papel importante en el alargamiento celular de los tejidos de reserva y el embrión, por lo tanto, la aplicación de estas fitohormonas aceleró y promovió positivamente la emergencia (Matilla, 2016).

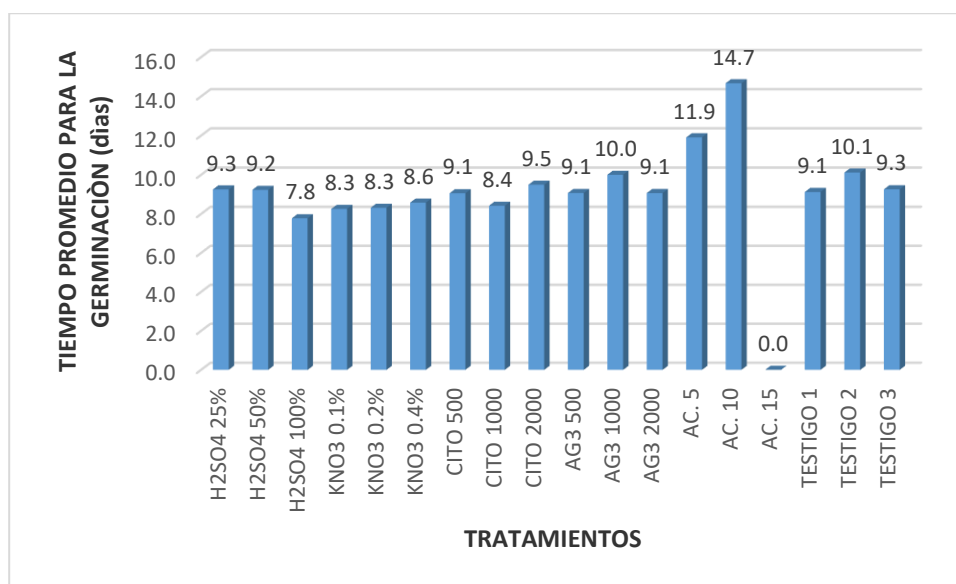


Figura 5. Tiempo promedio para alcanzar la emergencia (TPEm) de semillas de espárrago en condición sustrato.

V. CONCLUSIONES.

La aplicación de los tratamientos pre-germinativos presentó un efecto positivo en la estimulación y aceleración de la germinación de las semillas, a excepción del tratamiento hidrotérmico por 15 minutos y el uso del ácido sulfúrico al 100 %, los cuales tuvieron efectos negativos en la germinación y emergencia de semillas de espárrago.

El ácido giberélico y las citocininas (a 500 ppm, respectivamente), y nitrato de potasio al 0.1% promovieron los mayores porcentajes de germinación y de emergencia.

VI. LITERATURA CITADA

1. Abril-Saltos, R., Ruiz-Vásquez, T., Alonso-Lazo, J., y Cabrera-Murillo, G. (2017). Germination, seed diameter and pregerminative treatments in species with different purposes of use. *Agron. Mesoam.*, 28(3), 703-717.
2. Acosta-Percástegui, J., y Rodríguez-Trejo, D. A. (2005). Factors affecting germination and pregerminative treatments of *Lupinus montanus* seeds. *Interciencia*, 30(9), 576-579.
3. Agudelo-Cadavid, E. L., Restrepo-Molina, D. A., y Cartagena-Valenzuela, J. R. (2015). Chemical, physicochemical and functional characteristics of dietary fiber obtained from asparagus byproducts (*Asparagus officinalis* L.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 68(1), 7533-7544.
4. Andrade S. y Laurentin H. (2015). Effect of potassium nitrate on seed germination of three sweet pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) cultivars. *Revista Unell. Cienc.* 33: 25-29.
5. Araujo-Vásquez, J. E. (2010). *Incidencia de la aplicación de citoquininas en tres estados fenológicos y dos sectores del tallo en la brotación de basales en el cultivo del rosal (rosa sp.) var. circus* (Trabajo de investigación previo a la obtención del título de Magíster en Gestión de la Producción de flores y frutas Andinas para la Exportación). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
6. Asprelli, P. D., López-Anido, F. S., y Cointry, E. L. (2005). Caracteres agronómicos en el cultivo de espárrago de diferentes edades y manejos. *Pesq. Agropec.*, 40(1), 47-52.
7. Bentsink, I. y Koornneef, M. (2008). *Seed Dormancy and Germination-the Arabidopsis book*. American Society of Plant Biologists. Pg. 1-18.
8. Bewley J. D. y Black M. (2.ed). (1994). *Seeds-physiology of development and germination*. New York, USA.: Plenum press.
9. Bowman, D.T. (2001). Common use of the CV: a statistical aberration in crop performance trials (Contemporary Issue). *The Journal of Cotton Science*, 5:137-141.
10. Camelo, R. M., Vera, S. P., y Bonilla, R. B. (2011). Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. *Revista Corpica*, 12(2), 159-166.
11. Cano-Vázquez, A., López-Peralta, M., Zavaleta-Mancera H., Cruz-Huerta, N., Ramírez-Ramírez, I., Gardea-Béjar, A., y González-Hernández, V. (2015). Variación en grados de latencia en semillas entre colectas de Chile piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*). *Botanical Sciences*, 93(1), 175-184.

12. Carranza, C., Castellanos, G., Deaza, D., y Miranda, D. (2017). Efecto de la aplicación de reguladores de crecimiento sobre la germinación de semillas de badea (*Passiflora quadrangularis* L.) en condiciones de invernadero. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 10(2), 284-291.
13. Carrillo-Castañeda, G. M., Bautista-Calles, F., y Villegas-Monter, A. (2013). Postharvest seed treatments to improve the papaya seed germination and seedlings development. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16 (1), 133-141.
14. Castagnino, A. M., Díaz, K. E., Rosini, M. B., Guisolis, A., y Marina, J. (2012). Productividad de una plantación de espárrago verde (*Asparagus officinalis* var. *altilis* L.) con diferentes tamaños de “arañas” y densidades, en su séptimo año. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3(2), 286-288.
15. Contreras-Quiroz, M. R., Pando-Moreno, M., y Jurado, E. (2015). Seed germination of plant species from semiarid zones after hydration–dehydration treatments. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, XIV (1), 41-50.
16. De Albuquerque-Rangel, J. H., Peter-Gardiner, C., y Lewis-Burt, R. (2015). Dormancy releasing mechanisms in soil seed banks of *desmanthus* genotypes. *Caatinga*, 28(1), 90-99.
17. Desiderio-Vidal, M. (diciembre 1958). Cultivo del Espárrago. *Hojas Divulgadoras*, (23), Madrid, pg. 2-24.
18. Dresch, D. M., Scalon, S. P., y Masetto, T. E. (2014). Effect of storage in overcoming seed dormancy of *Annona coriacea* mart. seeds. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 86(4), 2077-2085.
19. du Toit, L. y Hernandez-Perez, P. (2005). Efficacy of hot water and chlorine for eradication of *cladosporium variabile*, *Stemphylium botryosum*, and *Verticillium dahliae* from spinach Seed. *Plant Disease* 89(12):1305-1312.
20. Espinoza-González, J. (2018). *Respuesta fisiológica a tratamientos pre-germinativos en semillas de cinco genotipos de chile piquín (Capsicum annuum, var. Aviculare)*. (Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo en Producción). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México.
21. García-Breijo, F. J. (2016). *Tema 16: Latencia en Yemas y Semillas* (unidad docente de biología vegetal). ETSMRE Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
22. García-Federico, A., Montes-Hernández, S., Rangel-Lucio, J. A., García-Moya, E., y Mendoza-Elos, M. (2010). Respuesta fisiológica de la semilla chile piquín [*Capsicum*

- annuum* var. *glabriusculum* (dunal) heiser y pickersgill] al ácido giberélico e hidrotermia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(2), 203-216.
23. González-Castañón, M. L. (2006). Utilización del cultivo de espárrago verde en bandas para el control de la erosión en terrenos de mediana pendiente. *Informaciones Técnicas del Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón*, (174), pp. 2-4.
 24. González-Zertuche, L. y Orozco-Segovia, A. (1996). Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *manfreda brachystachya*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* (58): 15-30
 25. Gordón-Mendoza, R. y Camargo-Buitrago, I. (2015). Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. *Agron Mesoam.*, 26(1), 55-63.
 26. Gutiérrez-Nava, P., De León-González, F., Etchevers-Barra, J., y Casas-Fernández A. (2010). Effect of scarification, self-inhibition, and sowing depth on seed germination of *Lupinus campestris*. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(3): 365-371.
 27. Hernández-Vargas, G., Sánchez-Velásquez, L. R., y Aragón, F. (2001). Tratamientos pregerminativos en cuatro especies arbóreas de uso forrajero de la selva baja caducifolia de la sierra de Manantlán. *Foresta Veracruzana*, 3(1), 9-15.
 28. Hock, S. M., Knezevic, S. Z., Petersen, C. L., Eastin, J., y Martin, A. R. (2006). Germination techniques for common lambsquarters (*Chenopodium album*) and pennsylvania smartweed (*Polygonum pensylvanicum*). *Weed Technology*, 20(2), 530-534.
 29. Kaur, R., Jaidka, M., y Sepat, S. (2018). Scientific cultivation of *asparagus*. Pp 271-279
Recuperado de:
file:///C:/Users/telma/Documents/taller/Normas%20APA%20Sexta%20Edición.pdf
 30. Kubitzki, K. (1998). *The families and genera of vascular plants-flowering plants monocotyledons: Lilianae (except Orchidaceae)*. New York, Estate united: Springer.
 31. Lallana, V. H., Elizalde, J. H. y Garcia, L. F. (2005). *Unidad Temática 11: Germinación y Latencia de Semillas y Yemas* (texto didáctico-unidad temática N° 11 del Programa del Plan de Estudios 2002 y N°12 y 13 del programa del plan de estudios 1986). Facultad de Ciencias Agropecuarias-Universidad Nacional de Entre Ríos. Paraná Argentina.
 32. Llanos-Martínez J. (2017). *Caracterización de 21 híbridos super machos de espárrago (Asparagus officinalis) para la producción en verde bajo condiciones de Huarmey*

- (Tesis de licenciatura para optar el título de Ingeniero Agrónomo). Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
33. Lluna-Duval, R. (2006). Hormonas vegetales: crecimiento y desarrollo de la planta. *Revista Horticultura*, 196: 22-26.
 34. Maguire, J. D. (1962). Speed of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, (2), 176-177.
 35. Mandujano, M. C., Golubov, J., y Rojas-Aréchiga, M. (2007). Efecto del ácido giberélico en la germinación de tres especies del género *Opuntia* (*Cactaceae*) del desierto Chihuahuense. *Cactáceas y Suculentas mexicanas*, 52(2), 46-52.
 36. Matilla, Angel J. (2016). Desarrollo y germinación de las semillas (2Ed.) Fundamentos de Fisiología Vegetal (pp. 537-558). McGraw Hill Interamericana.
 37. Mayo-Mosqueda, A., Espinoza-Moreno, J., Centurión-Hidalgo, D., y Cazares-Camero J. G. (2017). Estrategias para mejorar la germinación de semillas de *Calyptrogyne ghiesbreghtiana* (linden y h. wendland). *Polibotánica*, (24): 1-10.
 38. Méndez-Natera, J., Ysavit-Marcano, L., y Merazo-Pinto, J. (2007). Uso de agua caliente para evaluar la calidad de la semilla de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Tecnológica ESPOL*, 20(1), 229-236.
 39. Montes, A. y Holle, M. (1994). El Cultivo de espárrago en el trópico. Distrito Central, Honduras. Zamorano Academic Press. Pg. 13.
 40. Morad Shaban. (2013). Review on physiological aspects of seed deterioration. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 6(11), 627-631.
 41. Moreira-Araya, M. A. y González-Mora, W. (1.ed). (2002). *Manejo agronómico y análisis económico del cultivo de espárrago para condiciones tropicales: una experiencia de diez años de investigación*. San José, Costa Rica. Editorial de la universidad de Costa Rica: 14-15.
 42. Pérez-Fernández, M. A. y Gómez-Gutiérrez J. M. (27 septiembre 2018). *Importancia e interpretación de la latencia y germinación de semillas en ambientes naturales*. Área de Ecología. Facultad de Ciencias, pp. 2-29.
 43. Prohens, J. y Nuez, F. (2008). *Vegetables II: Fabaceae, Liliaceae, Solanaceae, and Umbelliferae*. Nueva York, USA. Springer Science Business Media, LLC. Pp.1-4.
 44. Rivera, I. y Rodríguez, P. R. (1999). *Perfil de mercado: espárrago*. Instituto de Economía y Sociología, EEA. San Pedro, Buenos aires. Pp. 2-36 Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-dt_05.pdf

45. Rodríguez-Gacio, M. C., Matilla-Vázquez, M. A., y Matilla, A. J. (2009). Seed dormancy and ABA signaling. *Plant Signaling y Behavior*, 4(11), 1035-1048.
46. Rojas-Aréchiga, M., Aguilar, K. M., Golubov, J., y Mandujano, M. C. (2011). Effect of gibberellic acid on germination of seeds of five species of cacti from the Chihuahuan Desert, Northern Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 56(3), 393-435.
47. Ruiz-Ramírez, J. (2010). Importancia de la investigación. *Revista Científica*, 20(2), 124-125.
48. SAGARHPA. (2018). *Sonora es líder en la producción nacional de espárrago*. Información Agropecuaria, Pesquera y Acuícola del Estado de Sonora-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos Hidráulicos, Pesca y Acuicultura. Recuperado de: <http://oiapes.sagarhpa.sonora.gob.mx/notas/econo/esparrago10son.pdf>
49. Saulo-Díaz, R. M. (2012). *Métodos, técnicas y tratamientos para inhibir dormancia en semillas de plantas forrajeras*, (Trabajo final presentado como requisito del curso de post-grado). Universidad de la Empresa, Montevideo-Uruguay. Pp. 4-10.
50. SAS Institute (2002). The SAS® System for Windows® (Version 9.3). Statistical Analysis System Institute Inc. Cary, N.C., U.S.A. 4424 p. Wellhausen.
51. Soares-Oliveira, T. G., Gonçalves-Rodrigues Junior, A., Pereira-de Souza, P., y Monteiro-Ribeiro, L. (2013). Use of phyto regulators in overcoming macaw palm seed dormancy. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 35(4), 505-511.
52. Squeo, F. A. y Cardemil, L. (2006). Fisiología Vegetal. En Jordán, M. y Casaretto, J. (Ed), *Hormonas y Reguladores del Crecimiento: Auxinas, Giberelinas y Citocininas* (pp. 1-28). La Serena, Chile: Ediciones Universidad de La Serena.
53. Tanimoto, E. (2005). Regulation of root growth by plant hormones-roles for auxin and gibberellin. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24: 249-265.
54. Toh, S., Imamura, A., Watanabe, A., Nakabayashi, K., Okamoto, M., Jikumaru, Y., Hanada, A., Aso, Y., Ishiyama, K., Tamura, N., Iuchi, S., Kobayashi, M., Yamaguchi, S., Kamiya, Y., Nambara, E., y Kawakami, N. (2008). High temperature-induced abscisic acid biosynthesis and its role in the inhibition of gibberellin action in arabidopsis seeds. *Plant Physiology*, 146: 1368-1385.
55. Valdivia-Trujillo, C. B. (2015). *Prueba de tetrazolio en semillas de espárrago (Asparagus officinalis L.)*, (Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú. Pp. 4-75.

56. Varela S. y Arana V. (2011). *Latencia y germinación de semillas: tratamientos pre-germinativos*. (Silvicultura en Vivero, Cuadernillo N° 3). Área Forestal - INTA EEA Bariloche, Argentina. Pp. 2-10.
57. Viera, W., Vásquez, W., Pupiales, P., Viteri, P., Sotomayor, A., Feican, C., y Campaña, D. (2019). Escarificación química y aplicación de ácido giberélico para la germinación de semillas de cultivares de mora (*Rubus glaucus* Benth). *Interciencia*, 44(3), 161-166.
58. Willis, C. G., Baskin, C. C., Baskin, J. M., Auld, J. R., Venable, D. L., Cavender-Bares, J., Donohue, K., Rubio de Casas, R.; y NESCent Germination Working Group. (2014). The evolution of seed dormancy: environmental cues, evolutionary hubs, and diversification of the seed plants. *New Phytologist* *Trus*, 203(1), 1-10.