

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Evaluación de P-Ca en Semilla y Planta de Tomate Bola (*Solanum lycopersicum*
L.) Cultivar Villa Narro.

TESIS

Por:

JUAN CARLOS GONZÁLEZ ESCOBAR

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Buenavista Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Evaluación de P-Ca en Semilla y Planta de Tomate Bola (*Solanum lycopersicum*
L.) Cultivar Villa Narro.

TESIS

Por:

JUAN CARLOS GONZÁLEZ ESCOBAR

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Homero Ramirez Rodriguez
Asesor Principal



Dr. Victor Manuel Reyes Salas
Coasesor



Dr. Armando Hernandez Pérez
Coasesor



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

Buenavista Saltillo, Coahuila, México.
Diciembre, 2019



AGRADECIMIENTOS

Al Dios, Gracias por darme la vida, por bendecirme y protegerme en todo momento, por permitirme seguir adelante en los momentos difíciles y darme licencia de culminar mi carrera, sin ti nada es posible.

Al mis papas, Gracias por creer en mi y por todo su apoyo incondicional que me brindaron durante toda mi carrera, sin su apoyo jamás lo habría logrado.

Al mi novia, Gracias por ser parte de mi vida, por tu compañía y por tus ánimos, sin tu ayuda no habría podido llevar a cabo este trabajo de investigación, ya que tú estuviste conmigo apoyándome en todo momento.

Al mis abuelos, Gracias por que siempre estuvieron ahí apoyándome.

Al mis hermanos, Gracias por su apoyo, consejos y sus buenos deseos para aprovechar esta oportunidad de estar en la universidad.

Al mi Alma Mater, Gracias por abrirme las puertas y darme la oportunidad de estudiar una carrera, por cobijarme en sus instalaciones, gracias a todas las comodidades que me ofrecía esta bella institución me sentía en casa. Gracias a mi universidad aprendí incontables cosas que hoy en día me hacen mejor persona y que además fue donde adquirí los mejores conocimientos de mi formación profesional.

Al Dr. Homero Ramírez Rodríguez, gracias por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto, por todos sus consejos para ser una mejor persona, por todo su tiempo que dedico para llevar seguimiento en todo momento este trabajo de investigación.

Al los doctores: Armando Hernández Pérez y Víctor Manuel Reyes Salas, por su amistad, por ser parte de este proyecto y por su tiempo y dedicación para la revisión y calificación de este trabajo.

DEDICATORIA

A mis papás:

Teresa de Jesús Escobar Flores

Rodolfo Gonzalez Herrera

Ustedes han sido el pilar de mi formación como persona y este logro es de ustedes papás, por ser mi inspiración y por animarme en los momentos difíciles, aconsejándome a no rendirme y seguir hasta el final, les agradezco que me hayan brindado todo su amor, apoyo, confianza y dedicación en este objetivo que teníamos en conjunto. Este gran reto no fue fácil para mí y mucho menos para ustedes pero gracias a Dios finalmente lo hemos culminado.

A mis abuelos

Josefina Flores Mejía

Josafat Nau Escobar Torres

Gracias por todos los consejos y ánimos que me brindaron para ser mejor persona y para aprovechar al máximo mi formación como profesionista, ustedes siempre me apoyaron para lograr esta meta.

A mis hermanos

Jesús Rolando Gonzalez Escobar

Daniel Gonzalez Escobar

Por apoyarme y siempre animándome para echarle ganas y culminar mi carrera, siempre me animaron para ser una mejor persona y ser un buen profesionista.

A mi novia

Jazmín Hernández Vargas

Por tu amor y confianza incondicional, por tu apoyo en todo momento en estos dos últimos años de mi carrera, tú siempre me motivabas a seguir adelante y a no rendirme en ningún momento, siempre me dabas ánimos y fuiste la única persona aquí en la universidad que me decía que confiabas en mí, que yo podía lograrlo, gracias a ese apoyo hoy doy por terminada mi carrera profesional.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIA	IV
ÍNDICE GENERAL	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE CUADROS	IX
RESUMEN	X
I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Objetivo General	13
1.1.1. Objetivos Específicos	13
1.2. Hipótesis	13
II. REVISIÓN DE LITERATURA	14
2.1. El Cultivo del Tomate	14
2.1.1. Generalidades del Tomate	14
2.1.2. Origen del Tomate	15
2.1.3. Clasificación Taxonómica	15
2.1.4. Descripción Botánica	15
2.1.5. Requerimientos Edafoclimaticos	18
2.1.6. Aspectos Socioeconómicos del Tomate	21
2.1.7. Información Nutricional del Tomate	24
2.1.8. Cultivar Villa Narro	26
2.2. Hormonas Vegetales o Fitohormona	26
2.2.1. Generalidades de las Fitohormonas	26
2.2.2. Que son las Fitohormonas y que Función Tienen	27
2.2.3. Vía de Señalización de las Fitohormonas	28
2.2.4. Clasificación	29
2.2.5. Giberelinas (GAs)	29
2.3. Fitorreguladores o Reguladores de Crecimiento Vegetal	37
2.3.1. Retardantes de Crecimiento	39
III. MATERIALES Y MÉTODOS	45
3.1. Localización del Área Experimental	45

3.2.	Clima	45
3.3.	Suelos	45
3.4.	Material Vegetal	46
3.5.	Siembra	46
3.6.	Trasplante	46
3.7.	Tratamientos Evaluados	47
3.8.	Descripción de los Tratamientos	48
3.9.	Diseño Experimental	49
3.10.	Variables Evaluadas en E0	49
3.10.1.	Porcentaje de Emergencia	49
3.10.2.	Altura de la Plántula	50
3.11.	Variables Vegetativas Evaluadas en E1 y E2	50
3.11.1.	Diámetro de Tallo	50
3.11.2.	Longitud y Número de Hojas	50
3.11.3.	Crecimiento del Tallo Principal	50
3.11.4.	Peso Fresco de Raíz	51
3.11.5.	Peso Seco de Raíz	51
3.12.	Variables Reproductivas Evaluadas en E1 y E2	51
3.12.1.	Distancia Entre Racimos	51
3.12.2.	Número de Racimos por Planta	51
3.12.3.	Número de Flores y Frutos	52
3.13.	Variables Evaluadas de Calidad de Fruto en E1 y E2	52
3.13.1.	Sólidos Solubles Totales	52
3.13.2.	Firmeza de Fruto	52
3.13.3.	Diámetro Polar y Ecuatorial del Tomate	53
3.13.4.	Rendimiento por Racimo y por Planta	53
IV.	RESULTADOS	55
4.1.	Variables Evaluadas en E0	55
4.1.1.	Porcentaje de Emergencia	55
4.1.2.	Altura de Plántula	55
4.2.	Variables Vegetativas Evaluadas en E1 y E2	56
4.2.1.	Diámetro de Tallo	56

4.2.2.	Longitud de Hojas (LH) y Número de Hojas (NH)	58
4.2.3.	Crecimiento del Tallo Principal	58
4.2.4.	Peso Fresco de Raíz.....	60
4.2.4.	Peso Seco de Raíz.....	61
4.3.	Variables Reproductivas Evaluadas en E1 y E2.....	61
4.3.1.	Distancia entre Racimos (DR).....	61
4.3.2.	Número de Racimos por Planta (NR).....	62
4.3.3.	Número de Frutos por Planta (NFR).....	62
4.3.4.	Número de Flores por Planta (NFL)	62
4.4.	Variables de Calidad de Fruto en E1 y E2	63
4.4.1.	Sólidos Solubles Totales (SST).....	63
4.4.2.	Firmeza de Fruto.....	64
4.4.3.	Diámetro Polar (DP) y Diámetro Ecuatorial (DE).....	64
4.4.4.	Rendimiento por Racimo y por Planta.....	65
V.	DISCUSIÓN.....	68
5.1.	Porcentaje de Emergencia y Altura de Plántula en E0.....	68
5.2.	Altura y Diámetro de Tallo en E1 y E2.....	69
5.3.	Longitud de Hojas y Número de Hojas por Planta en E1 y E2	72
5.4.	Peso de Raíz en E1 y E2	72
5.5.	Distancia Entre los Racimos; Número de Racimos, Flores y Frutos.	73
5.6.	Sólidos Solubles Totales (SST), Firmeza, Diámetro Polar (DP) y Diámetro Ecuatorial (DE).....	74
5.7.	Rendimiento	75
VI.	CONCLUSIÓN	78
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes internas y externas del tomate.....	14
Figura 2. Principales países productores de tomate en el 2017 (Participación porcentual).....	22
Figura 3. Producción en México de tomate saladette y bola en el 2017 (Millones de toneladas).....	24
Figura 4. Estructura química de las fitohormonas.....	28
Figura 5. Estructura química de GA ₁₂ con carbonos numerados.....	30
Figura 6. Esquema de la síntesis de giberelinas.....	32
Figura 7. Estructura de las giberelinas biológicamente activas.....	34
Figura 8. Ruta de la síntesis de giberelinas.....	36
Figura 9. Estructura química de Prohexadiona de calcio.....	41
Figura 10. Efecto de P-Ca en E1 sobre el diámetro del tallo principal en tomate bola var. Villa Narro.....	56
Figura 11. Efecto de P-Ca en E2 sobre el diámetro de tallo principal en tomate bola var. Villa Narro.....	57
Figura 12. Efecto de P-Ca en E1 sobre el crecimiento del tallo principal en tomate bola var. Villa Narro.....	59
Figura 13. Efecto de P-Ca en E2 sobre el crecimiento del tallo principal en tomate bola var. Villa Narro.....	59
Figura 14. Efecto de P-Ca en E1 y E2 sobre el peso fresco de raíz en tomate bola var. Villa Narro	60
Figura 15. Efecto de P-Ca en E1 y E2 sobre el peso seco de raíz en tomate bola var. Villa Narro	61
Figura 16. Efecto de P-Ca en E1 sobre el rendimiento en tomate bola var. Villa Narro, en el racimo 1, 2, 3 y total.....	65
Figura 17. Efecto de P-Ca en E2 sobre el rendimiento en tomate bola var. Villa Narro, en el racimo 1, 2, 3 y total.....	66

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Requerimientos nutricionales de acuerdo a la extracción de nutrientes por cada tonelada de fruto.....	22
Cuadro 2. Contenido nutricional del fruto de tomate.....	25
Cuadro 3. Descripción de los tratamientos en E0	47
Cuadro 4. Descripción de los tratamientos en E1.....	47
Cuadro 5. Descripción de los tratamientos en E2.....	48
Cuadro 6. Efecto de la semilla tratada (ST) en solución con P-Ca en E0 sobre el porcentaje de emergencia de tomate bola var. Villa Narro.....	55
Cuadro 7. Efecto de la semilla tratada (ST) con P-Ca en E0, sobre la altura de plántula de tomate bola var. Villa Narro.....	56
Cuadro 8. Efecto de la aspersion de P-Ca sobre la longitud de hojas (LH) y número de hojas por planta (NH) en tomate bola var. Villa Narro	58
Cuadro 9. Efecto de P-Ca sobre la distancia entre racimos (DR), número de racimos por planta (NR), número de flores por planta (NFL) y número de frutos por planta (NFR) en tomate bola var. Villa Narro.....	63
Cuadro 10. Efecto de P-Ca sobre los sólidos solubles totales (SST), firmeza, diámetro ecuatorial (DE) y diámetro polar (DP) en los frutos de tomate bola var. Villa Narro.....	64

RESUMEN

El tomate es una de las hortalizas más importantes a nivel mundial, en México ocupa el cuarto lugar en importancia por su gran contribución a la producción agrícola primaria. P-Ca pertenece al grupo de retardantes de crecimiento. Estos productos retardantes tienen el objetivo de inhibir la síntesis de giberelinas, lo que provoca una disminución en el crecimiento vegetativo y a su vez hacen que haya más asimilados disponibles, los cuales son enviados a los órganos de interés agronómico de cada cultivo. Prohexadiona de calcio (P-Ca) se ha aplicado en distintos cultivos hortofrutícolas, obteniendo resultados favorables en los intereses del productor. En este trabajo se realizaron 3 experimentos E0, E1 y E2. En E0 se sometieron a imbibición semillas de tomate bola en una solución a 50 ppm de P-Ca por 18 horas, las semillas tenían dos fechas de cosecha distintas unas fueron obtenidas en el ciclo 2011 y otras en el ciclo 2016. En E0 se aplicaron 4 tratamientos los cuales fueron: T1 (Semilla tratada del 2011), T2 (Semilla sin tratar del 2011), T3 (Semilla tratada del 2016) y T4 (semilla sin tratar del 2016), en este experimento P-Ca no tuvo efecto en el porcentaje de emergencia ni en la altura de plántula. En E1 y E2 se aplicaron 4 tratamientos los mismos para ambos, estos fueron: T1=Semilla tratada (ST), T2=Semilla tratada más aspersion foliar (ST+AF), T3=Testigo y T4=Aspersion foliar (AF), la única diferencia en E1 y E2 fue el año de la cosecha de las semillas utilizadas, en E1 se utilizaron semillas obtenidas del ciclo 2011 y en E2 semillas del ciclo 2016. Los tratamientos ST y ST+AF, recibieron el mismo procedimiento de imbibición a la semilla como en E0, además, el tratamiento ST+AF al igual que AF recibieron una aspersion foliar con P-Ca a 50 ppm en la etapa juvenil de la planta. En ambos experimentos (E1 y E2) se tuvo un testigo sin tratamiento alguno, en estos dos experimentos se obtuvieron resultados similares, los tratamientos AF y ST+AF tuvieron un efecto en el crecimiento del tallo principal, diámetro de tallo, peso fresco y seco de raíz, número de flores, SST de fruto y rendimiento total, mientras que el tratamiento ST no tuvo efecto alguno en ninguna de las variables evaluadas.

Palabras clave: Semilla, tomate, P-Ca, imbibición, emergencia, crecimiento, rendimiento.

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) produce un fruto carnoso tipo baya, el cual se considera una de las hortalizas más importantes a nivel mundial, su gran importancia económica proviene debido a su adaptabilidad, variabilidad, características organolépticas y sus usos (Serrani, 2008).

De acuerdo a la FAO en 2017, la superficie cultivada de tomate a nivel mundial se ubicó en 4.8 millones de hectáreas, en el mismo año se logró una producción mundial de 182.3 millones de toneladas, por otra parte el consumo per cápita mundial de tomate fue de 19 Kg (FIRA, 2019).

México ocupó la onceava posición mundial con el 1.9 % de superficie cultivada. En las exportaciones del 2017 sobresalió México con el 23.0 % del volumen mundial exportado, logrando ser el principal exportador de tomate a nivel mundial, además, en el 2018 el tomate fue el segundo producto hortícola más importante en el valor de las exportaciones agropecuarias mexicanas, solo después del aguacate, obtuvo una participación del 12.8 % con 2,079.5 millones de dólares (FIRA, 2019).

En México el cultivo del tomate es el cuarto en importancia, gracias a su contribución en el valor de la producción agrícola primaria, en 2017 la producción nacional se ubicó en un volumen de 3.47 millones de toneladas. Por otra parte, el consumo per cápita anual de tomate en México se ubica en alrededor de 16 kg/persona/año (FIRA, 2019).

La implementación de nuevas tecnologías en la horticultura contemporánea, tiene como objetivo mejorar la producción y calidad de los productos cosechados (Ramírez *et al.*, 2009), tal es el caso de los biorreguladores, puesto que, el uso de estas sustancias provoca efectos temporales en la fisiología de la planta, lo cual permite modificarla de acuerdo a los intereses agronómicos del agricultor (Ramírez *et al.*, 2003) y que además facilita el manejo del cultivo (Ramírez *et al.*, 2010b).

Los retardantes del crecimiento son antagonistas de las giberelinas y auxinas, estos productos representan el grupo comercialmente más importante de los biorreguladores de plantas (Rademacher, 2000), su uso provoca un balance entre

el crecimiento vegetativo y el crecimiento reproductivo por la inhibición la biosíntesis de giberelinas, esto favorece la formación de frutos (Rademacher, 2004). Los retardantes se pueden usar de manera relativamente flexible por el agricultor, esto le permite ajustar su cultivo de una manera deseada en cuanto al crecimiento vegetativo, obteniendo plantas más compactas, lo que permite facilitar la manipulación de los cultivos, esto también favorece para reducir el espacio en un invernadero requerido para la producción (Rademacher, 2000).

Prohexadiona de calcio (calcio 3-óxido-4-propionil-5-oxo-3-ciclohexanocarboxilato, P-Ca), es un retardante de crecimiento que se usa actualmente en la fruticultura y se considera una alternativa favorable en la horticultura moderna (Ramírez *et al.*, 2003; Ramírez *et al.*, 2010b), P-Ca inhibe la biosíntesis de giberelinas biológicamente activas (GA₁, GA₄ y GA₇) funcionando como imitador estructural del 2-oxoglútarico por lo que bloquea la fabricación de la dioxigenasa 3β-hidroxilasa (Rademacher, 2006), este retardante puede aumentar el contenido de citocininas en los meristemos apicales, lo que provoca una mayor floración y mayor cuajado de frutos (Ramírez *et al.*, 2008), además de obtener plantas más compactas, presenta efectos secundarios los cuales favorecen a los intereses agronómicos (Medjdoud, 2003), P-Ca es un retardante de crecimiento prometedor para la agricultura moderna, mejorando sustancialmente los rendimientos y la calidad de diferentes hortalizas y diversos árboles frutales (Ramírez *et al.*, 2012; Ramírez *et al.*, 2003; Rademacher, 2006; Shehaj, 2013).

Por lo anterior los estudios sobre este retardante de crecimiento son de gran importancia y utilidad para la horticultura en general, sobre todo en cultivos tan importantes como el de tomate. El efecto del tratamiento a semilla de tomate con P-Ca no ha sido previamente analizado. El presente trabajo se realizó con el fin de evaluar el crecimiento vegetativo-reproductivo, calidad de frutos y rendimiento total en tomate bola con el tratamiento a semilla y aspersion foliar con P-Ca, ambos a una concentración de 50 ppm.

1.1. Objetivo General

Evaluar el efecto del tratamiento a semilla y aspersion foliar con prohexadiona de calcio en tomate bola.

1.1.1. Objetivos Especificos

- Estudiar el efecto de la imbibición de la semilla con P-Ca sobre el crecimiento vegetativo-reproductivo, calidad de frutos y rendimiento total.
- Identificar el efecto de la aspersion foliar en la etapa juvenil con P-Ca sobre el crecimiento vegetativo-reproductivo, calidad de frutos y rendimiento total.
- Analizar el efecto de ambos tratamientos en conjunto sobre el crecimiento vegetativo-reproductivo, calidad de frutos y rendimiento total.

1.2. Hipótesis

El tratamiento a semilla y la aspersion foliar con prohexadiona de calcio, en conjunto o separados tendrán efectos positivos sobre el crecimiento vegetativo-reproductivo, calidad de frutos y rendimiento total en plantas de tomate bola.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El Cultivo del Tomate

2.1.1. Generalidades del Tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) pertenece a la familia de las Solanáceas (Solanaceae), esta familia es una de las más grandes e importantes entre las angiospermas, comprende unas 2,300 especies agrupadas en 96 géneros (Arcy, 1991). En esta familia se incluyen plantas domesticadas, de las cuales se consumen alguna parte de ellas (chile, papa, berenjena), también se incluyen unas poco domesticadas (miltomates), otras domesticadas pero de uso tradicional (hierva, mora, vuélvete loco) y algunas sin ningún uso actual (CATIE, 1990). La familia a la que pertenece esta hortaliza es muy fácil de reconocer en el campo, por ciertas características botánicas, normalmente los miembros contienen alcaloides (en el caso de tomate tomatina) en diversas concentraciones, esto depende de la especie que se trate así como también de la parte de la planta que se trate (CATIE, 1990).

Figura 1. Partes internas y externas del tomate



El tomate es cultivado por su fruto comestible que se puede consumir fresco o cocinado. Es utilizado para hacer tomate pelado, deshidratado, sopas, jugos, salsas, pastas, purés y en polvo. Los tomates son muy utilizados como condimentos en la cocina y en la industria de enlatados. En su estado verde, son usados para encurtidos y conservas (INTA, 1999).

Su desarrollo se comporta según las variedades y/o método de cultivo, se puede encontrar de forma rastrera, semierecta o erecta, además pueden presentar crecimiento limitado (variedades determinadas) o ilimitado (variedades indeterminadas) (Anderlini, 1970).

2.1.2. Origen del Tomate

El tomate es una planta cuyo origen se localiza en la región andina de Sudamérica, específicamente en Perú, Ecuador y Chile, además, algunas plantas asociadas con el tomate son parte de la flora de las Islas Galápagos, donde hoy en día aún se puede localizar en estado silvestre en distintos ambientes, por lo que representa una fuente de investigación y mejoramiento genético de la especie para lograr ciertas resistencias (Peter, 2011), sin embargo, la zona de domesticación fue el sur de México y norte de Guatemala (INTA, 2004).

2.1.3. Clasificación Taxonómica

De acuerdo a Spooner et al., (2005), de acuerdo a la taxonomía el tomate pertenece a:

- Reino: *Plantae*
- División: *Spermatophyta*
- Subdivisión: *Magnoliophyta*
- Clase: *Dicotyledoneas*
- Orden: *Solanales*
- Familia: *Solanaceae*
- Género: *Solanum*
- Especie: (*Solanum lycopersicum* L.).

2.1.4. Descripción Botánica

Las plantas de tomate son herbáceas perennes, sin embargo, fuera de su hábitat natural se comportan como anuales, puesto que pueden morir después de la primera estación de crecimiento, debido a los diferentes factores climáticos de cada zona (Hernández, 2011).

2.1.4.1. Raíz

Está compuesta por una raíz pivotante, la cual es corta y débil, pero está conformada por numerosas y potentes raíces secundarias y adventicias. Realizando un corte transversal la raíz principal del interior al exterior, podemos localizar la epidermis (donde se encuentran los pelos radicales especializados en la absorción de agua y nutrientes), córtex y cilindro central donde se sitúa el xilema (Falcón, 2014).

2.1.4.2. Tallo

Es ligeramente anguloso, semileñosos y con tricomas simples y glandulares, es de color verde, flexible y su longitud puede variar de 50 cm hasta más de 200 cm en variedades de hábito indeterminado, del tallo se desarrollan las hojas, tallos secundarios e inflorescencias (Falcón, 2014).

2.1.4.3. Hojas

Principalmente las hojas son pinnadas, alternas, compuestas e imparipinadas, con folíolos divididos (un gran folíolo terminal y hasta 8 folíolos laterales) y con borde dentado, el tamaño puede variar desde los 10 a los 50 cm (Benavides, 2010), la disposición de las nervaduras es penninervia (Rodríguez et al., 2001). Cuando se rosan desprenden un olor característico a tomate recién cosechado (Carravedo, 2005).

2.1.4.4. Flor

Las flores se presentan formando inflorescencias, las cuales pueden aparecer de cuatro tipos diferentes (racimo simple, cima unípara, cima bípara y cima múltipara), pueden llegar a tener hasta 50 flores por racimo. Se estima que pasan de 56-76 días desde la emergencia de la planta hasta que se inician los botones florales, si las inflorescencias se presentan alternadas con cada hoja o dos hojas, es una planta con crecimiento de hábito determinado, pero si los racimos se presentan más espaciados, se dice que la planta presenta un crecimiento de hábito indeterminado (Rodríguez et al., 2001).

Las flores son hermafroditas, hipóginas y regulares están formadas por un pedúnculo corto, el cáliz es gamosépalo (los sépalos se encuentran soldados entre

sí) de color verde y la corola gamopétala, puede ser de varios tonos de amarillo, el androceo está conformado por cinco o más estambres que se encuentran adheridos a la corola con las anteras que conforman un tubo alrededor del gineceo, el gineceo se conforma por 2-30 carpelos que al desarrollarse darán origen a los lóculos o celdas del fruto. La dehiscencia se produce por la mañana generalmente, el estigma puede ser receptivo a su propio polen o a otro, la receptividad que comienza dos horas antes de la dehiscencia y se prolonga de 4 a 8 hrs., el estilo se presenta más o tan largo como los estambres, lo que favorece considerablemente la autopolinización (Nuez, 1995).

2.1.4.5. Fruto

Botánicamente el fruto de las plantas de tomate es una baya, formada por un mesocarpio y un endocarpio carnosos que encierra un tejido placentario formado por un mucilago gelatinoso que envuelve a las semillas, una variedad comercial puede presentar alrededor de 300 a 350 semillas. La baya puede ser de colores variados según el cultivar, pero por lo regular es de color rojo en la madurez, su forma puede ser redondeada, achatada o en forma de pera y la superficie lisa o asurcada (Pindo, 2013).

El color depende de la degradación de la clorofila y la presencia de pigmentos carotenoides y licopeno, frecuentemente la distribución de los pigmentos es distinta entre piel y pulpa, esto se debe a que la intensidad y la calidad de la luz puede influir notablemente (Andrelini, 1970).

El fruto contiene de 94 a 95 % de agua; siendo el 5 a 6% restante una mezcla compleja en la que predominan los azúcares libres y ácidos orgánicos que dan al fruto su textura y sabor característico (Pindo, 2013).

2.1.4.6. Semilla

La forma es de color oval, de color grisáceo, su diámetro oscila de 3 a 5 mm de diámetro y está formada por un embrión, un endospermo y una testa o cubierta seminal (Rodríguez et al., 2001).

Las semillas de tomate tienen barreras en su cubierta lo que le permite restringir la penetración de compuestos solubles en agua (Beresniewicz et al., 1995), la cubierta seminal está constituida por un tejido duro e impermeable, compuesto de suberina, esto le permite que la permeabilidad de la semilla de tomate sea selectiva (Salanenka y Taylor, 2011).

2.1.5. Requerimientos Edafoclimaticos

Para que el cultivo de tomate sea capaz de crecer y desarrollarse de manera óptima como cualquier otro cultivo hortofrutícola, es necesario de ciertas condiciones edafoclimáticas.

2.1.5.1. Temperatura

La temperatura ideal para un óptimo desarrollo vegetativo durante el día debe ser entre 18-22°C y en la noche de 16°C, por otra parte para el desarrollo reproductivo es necesario de una temperatura diurna entre 23 y 28°C y durante la noche entre 15 y 22°C. Cuando las temperaturas exceden los 25 °C y disminuye por debajo de 12°C la fecundación es defectuosa o nula, esto se debe a que se disminuye la cantidad y calidad del polen, lo que provoca la caída de flores y deformación de frutos. Cuando las temperaturas son menores de 12°C, se producen ramificaciones en las inflorescencias. Por otra parte a nivel del fruto, también se pueden ver afectados, ya que se puede amarillear si se presentan temperaturas mayores de 30°C y menores de 10°C. En general, la diferencia de temperatura entre el día y la noche no debe ser mayor de 10°C (Hidalgo, 2013).

Consecuencias que pueden presentarse cuando un cultivo se expone a altas temperaturas:

- Reduce la viabilidad del polen
- Reduce la cantidad de flores por inflorescencia
- Distorsión de las anteras
- Elongación del estilo por arriba de las anteras
- La forma de la inflorescencia se vuelve asimétrica

- Cambios morfológicos dados principalmente por la elongación de los entrenudos
- Inflorescencias con apariencia débil
- Provoca una mala fecundación y un mal llenado de frutos (Noreña *et al.*, 2006).

Consecuencias de un cultivo expuesto a bajas temperaturas:

- Reduce la viabilidad y cantidad del polen
- Deformación y elongación del ovario y deformación de fruto
- Deformación de los estambres
- Incremento del número de flores por inflorescencia
- Entrenudos cortos y plantas compactas (Noreña *et al.*, 2006).

2.1.5.2. Suelo

El tomate puede adaptarse a diferentes tipos de suelo, pero los más favorables son los suelos sueltos, con buena aireación y con buen drenaje interno pero que a la par tengan una buena capacidad de retener humedad, de texturas francas a franco arcillosas, prefiere altos contenidos de materia orgánica y con un buen contenido de nutrientes. El pH del suelo debe oscilar entre 5.8 a 6.8 (Salvatore, 2012).

2.1.5.3. Humedad

La humedad relativa adecuada oscila entre un 60% y un 80%, la humedad relativa muy elevada favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta lo que induce el aborto a una gran parte de las flores (Collins, 2009), por lo cual Colombo y Obregón (2008) mencionan que la humedad relativa es considerado uno de los factores más importantes para la productividad y calidad de los frutos.

En cuanto a la humedad del suelo la exigencia del tomate es media, esta influye sobre todo en el crecimiento de los tejidos, transpiración, fecundación de las flores y desarrollo de las enfermedades criptogámicas, siendo más favorables humedades medias no superiores al 50 % con suelos no encharcados (Rodríguez, 2010). Las exigencias de humedad son medias, pero esto está determinado de acuerdo al

sistema radical y al follaje, aun así un déficit de humedad en el suelo provoca alteraciones en el metabolismo de las plantas.

2.1.5.4. Luz

El tomate exige y requiere días soleados con 8 a 16 horas luz (Noreña *et al.*, 2006). La luz es otro factor muy importante para la producción de tomate, los efectos de la luz están directamente relacionados con la fotosíntesis y transpiración vegetal (Gómez *et al.*, 2010). La luminosidad debe de ser buena, de no ser así puede afectar diversos procesos de crecimiento y desarrollo, así como también la floración, polinización y maduración del fruto (Casanova *et al.*, 2007).

Sánchez (2001), menciona que la energía solar, es seguramente el factor externo que ejerce mayor influencia sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, además, promueve la asimilación fotosintética del CO₂ y es la fuente primaria de calor y estímulo para la regulación del crecimiento y desarrollo. La concentración óptima de iluminación es de 10,000 a 15,000 lux.

2.1.5.5. Dióxido de carbono

Alpine, (1999), define el CO₂ atmosférico como; la fuente de carbono para la planta que la fija y la reduce a carbohidratos tras la expulsión del gas por los estomas, la concentración óptima del gas para la planta de tomate se encuentra entre 1,000 y 3,000 ppm de CO₂, pudiendo aplicar este con sistemas de gas presurizados (cintillas y goteros).

2.1.5.6. Fertilización

En la actualidad se consideran 17 elementos esenciales (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Mn, Mo, Cu, Zn, Cl y Ni) para el crecimiento y desarrollo de las especies que se cultivan entre ellas el tomate, de los elementos esenciales el carbono, el hidrogeno y el oxígeno es necesario de un mayor requerimiento, los cuales se concentran en la materia seca de la planta hasta en un 90 % (INIA, 2017).

La dosis de fertilización recomendada en el tomate se basa fundamentalmente en la extracción de nutrientes por los frutos y por lo que se requiere para la acumulación de materia seca por parte de la planta. De acuerdo a la extracción mineral, se

podieron determinar los coeficientes de extracción de nutrientes, los cuales se basan en los kilogramos de fertilizante que se debe aplicar por cada tonelada de fruto, estos coeficientes para tomate en invernadero son: 3,0; 1,0; 5,0; 2,5 y 1,0 para N, P, K, Ca y Mg, respectivamente (INIA, 2017).

Cuadro 1. Requerimientos nutricionales de acuerdo a la extracción de nutrientes por cada tonelada de fruto

Nutriente	Kg de Nutriente/ton de fruto
Nitrógeno (N)	2.6
Fosforo (P)	0.5
Potasio (K)	3.9
Calcio (Ca)	1.6
Magnesio (Mg)	0.4

Fuente: INIA, 2017

2.1.5.7. Riegos

El tiempo y frecuencia del riego está en función del tipo de sustrato, del tamaño de la planta y del medio ambiente del invernadero; generalmente un riego al día es suficiente, sin embargo, en etapas avanzadas y en condiciones de alta temperatura, es necesario aplicar dos riegos al día (INIFAP, 2012)

Según Ulchur *et al.*, (2004) recomiendan aplicar entre 0.5 y 0.8 litros/planta/día en los inicios del cultivo, de 1.3 y 1.8 litros/planta/día de la floración al llenado de fruto y entre 2.3 a 3.2 entre el inicio de la cosecha hasta el término de la producción.

2.1.6. Aspectos Socioeconómicos del Tomate

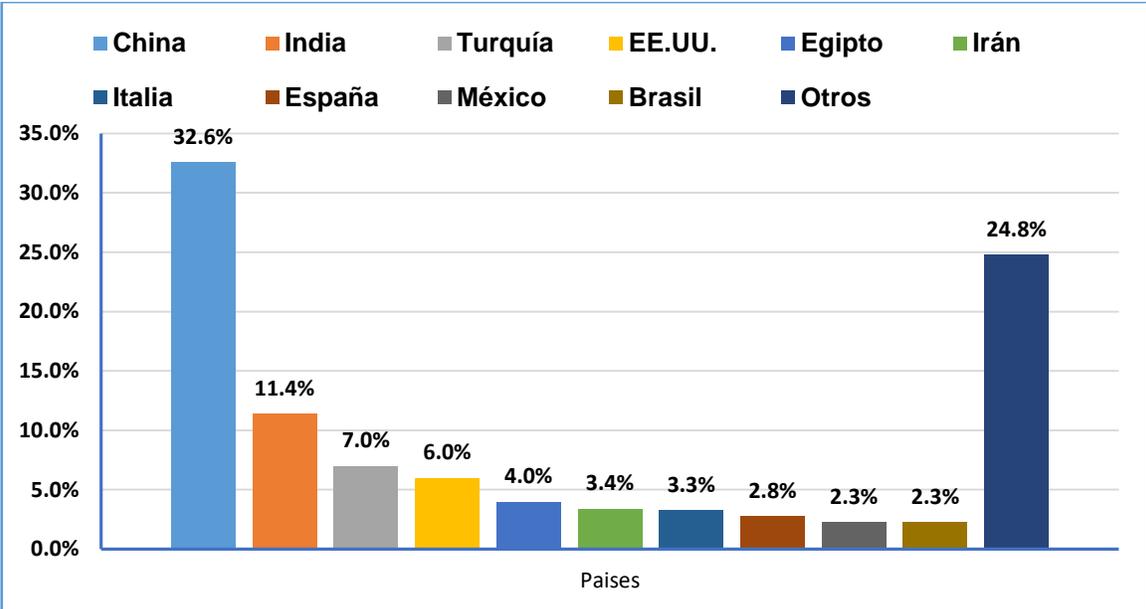
2.1.6.1. A Nivel Mundial

Según la FAO, el área cosechada a nivel mundial creció anualmente el 1.4 % entre 2007 y 2017, lo cual llevo a conseguir 4.8 millones de hectáreas cosechadas para el 2017, mientras tanto el rendimiento promedio mundial ha crecido el 1.5 % anualmente, logrando para el año 2017 un promedio de 37.6 ton ha⁻¹. En el mismo

año el 57.4 % del área cosechada para el 2017 se concentró en cinco países, siendo china el país con más superficie cosechada con el 21.2 % seguido de la India con el 16.4 %, Nigeria con el 12.2 %, Turquía con el 3.9 % y Egipto con el 3.8 % (FAO, 2019).

Por otro lado en 2017 la producción mundial de tomate, se colocó en 182.3 millones de toneladas, con un crecimiento anual del 2.9 % entre el 2007 y el 2017, lo cual ha sido impulsado por el incremento del área cosechada así como también de la productividad promedio. El 61.0 % de toda la producción destacaron cinco países: China con 32.6 %, India con 11.4 %, Turquía con 7.0 %, Estados Unidos con 6.0 %, y finalmente Egipto con el 4.0 %. México ocupó la novena posición con una participación de 2.3 % (FIRA, 2019).

Figura 2. Principales países productores de tomate en el 2017 (participación porcentual)



Fuente: FAO, 2019

Para el año 2017 el consumo per cápita mundial alcanzo un promedio de 19.0 Kg, Turquía e Italia registran los mayores promedios de consumo a nivel mundial, con el 151.4 y 102.4 kg/año/persona respectivamente (FIRA, 2019).

Entre 2007 y 2017, las exportaciones mundiales incrementaron con una tasa anual del 2.2 %, en el cual destacaron México y Países Bajos, quienes en el 2017 tuvieron una participación del 23.0 y 14.5 % respectivamente, en el mismo año, el 55.0 %

del volumen mundial importado destacaron cinco países, en los cuales, encabeza Estados Unidos con el 25.7 %, en seguida se encuentra Alemania con el 12.3 %, posteriormente Rusia con el 8.6 % y finalmente Francia con el 8.5 % (FIRA, 2019)

2.1.6.2. A Nivel Nacional

En el 2017 México logró ser el principal exportador de tomate con el 23.0 % del volumen mundial, su principal mercado fue Estados Unidos, al cual México abasteció el 84.9 % del volumen importado por Estados Unidos (FIRA, 2019).

El cultivo de tomate ocupa el cuarto lugar en importancia debido a la contribución en el valor de la producción agrícola primaria de México, logrando en 2017 una participación en el valor total con 4.3 %, después del maíz grano con 17.1 %, aguacate 6.8 % y caña de azúcar con 6.5 % (FIRA, 2019).

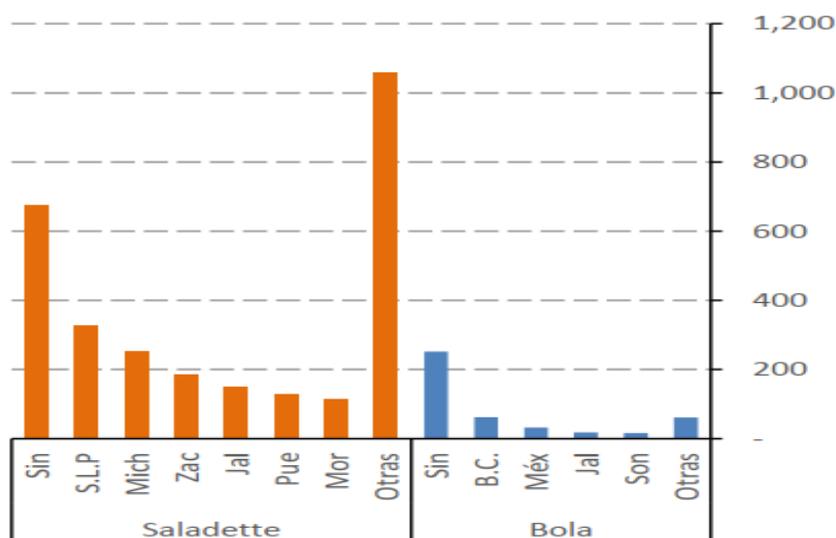
De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), la producción del tomate a partir del 2007 fue incrementando una tasa promedio de 3.6 % anualmente, logrando un volumen de 3.47 millones de toneladas en el 2017. Entre 2007 y 2017 la superficie que fue destinada para este cultivo esta en distintas proporciones para campo abierto y agricultura protegida, para el primer caso la superficie cultivada se redujo a una tasa promedio anual del 5.9 %, por lo cual, pasó de 64,663 ha en el 2007 a 35,175 ha para el 2017, en cambio la superficie cultivada en agricultura protegida ha ido creciendo con una tasa promedio anual del 22.7 %, ubicándose en 15,198 ha cultivadas en el 2017 (SIAP-SADER, 2019).

La producción nacional del tomate Saladette se concentra en cinco estados, encabezando Sinaloa con el 23.3 %, siguiéndolo San Luis Potosí con el 11.3 %, Michoacán con el 8.7 %, Zacatecas con el 6.4 % y Jalisco con el 5.2 %. Por otro lado la producción de tomate bola está concentrado en cuatro entidades, nuevamente encabeza Sinaloa con el 56.9 %, Baja California con el 14.1 %, Estado de México con el 7.2 % y Jalisco con el 4.1 % (SIAP-SADER, 2019).

El consumo nacional en el 2017 se ubicó en un máximo histórico con 1.88 millones de toneladas, esta cifra representa el 54.2 % de la producción nacional. Mientras

tanto el consumo per cápita nacional es de alrededor de 16 Kg año⁻¹, ubicándose por debajo del promedio mundial que es de 19 Kg año⁻¹ (FIRA, 2019).

Figura 3. Producción en México de tomate saladette y bola en el 2017 (Millones de toneladas)



Fuente: SIAP-SADER

Por otra parte los precios del tomate varían según el tipo, los precios de las variedades de saladette a campo abierto en 2017, se registró un promedio nacional de \$5,500 ton⁻¹, mientras que el tomate bola bajo las mismas condiciones se registró en \$4,666 ton⁻¹, en el mismo año los precios del tomate saladette y bola producido bajo invernadero registraron un promedio de \$7,745 y \$7,412 ton⁻¹ respectivamente. Con estas estadísticas se puede observar que los precios obtenidos empleando agricultura protegida mostraron un 40.8 y 58.9 % mayores que los precios obtenidos bajo campo abierto (SIAP-SADER, 2019).

2.1.7. Información Nutricional del Tomate

El tomate es uno de los cultivos hortofrutícolas de mayor importancia económica en el mundo. Su demanda está en continuo aumento ya que el fruto del tomate y sus productos derivados son considerados alimentos saludables (Davies y Hobson, 1981, citado por; Estrada, 2017).

Este producto representa uno de los integrantes más frecuentes en la dieta, además su uso está ampliamente generalizado en el arte culinario, debido a su color, sabor, aroma, firmeza y su apariencia (Baldwin *et al.*, 2008).

Cuadro 2. Contenido nutricional del fruto de tomate

Componente	Cantidad	Unidad	Componente	Cantidad	Unidad
Agua	940.0	g Kg ⁻¹	Magnesio	200.0	mg Kg ⁻¹
Carbohidratos	43.0	g Kg ⁻¹	Yodo	17.0	µg Kg ⁻¹
Grasa	2.0	g Kg ⁻¹	Zinc	2.4	mg Kg ⁻¹
Fibra	10.4	g Kg ⁻¹	Vitamina B ₁	0.6	mg Kg ⁻¹
Proteína	9.0	g Kg ⁻¹	Vitamina B ₂	0.4	mg Kg ⁻¹
Energía	170.0	kcal Kg ⁻¹	Vitamina E	7.0	mg Kg ⁻¹
Calcio	140.0	mg Kg ⁻¹	Vitamina C	137.0	mg Kg ⁻¹
Hierro	5.0	mg Kg ⁻¹	Vitamina A	136.0	µg Kg ⁻¹
Fosforo	230.0	mg Kg ⁻¹	Licopeno	160.3	mg Kg ⁻¹
Potasio	2040.0	mg Kg ⁻¹	Ácidos fenológicos	53.6	mg Kg ⁻¹
Sodio	130.0	mg Kg ⁻¹	Flavonoides	50.2	mg Kg ⁻¹

Fuente: Frusciante *et al.*, 2007.

Esta hortaliza tiene un alto potencial de desarrollo, debido a sus cualidades nutritivas, que se basan en altos contenidos de sales minerales (Ca, P, K, Fe, Mg), vitaminas, ácidos orgánicos y azúcares, los cuales son fundamentales para el desarrollo y funcionamiento de los órganos humanos (infoAgro, 2019).

Representa alto contenido de compuestos antioxidantes (licopeno, β caroteno, vitaminas A, C y E) y metabolitos secundarios, estos compuestos presentan una gran importancia para la prevención de diferentes enfermedades (Enfermedades cardiovasculares, cáncer, diabetes, hipertensión arterial y obesidad) (Causse *et al.*, 2010).

2.1.8. Cultivar Villa Narro

Las principales características de esta variedad son:

- Frutos extra firmes y larga vida de anaquel (Sánchez, 2014).
- Los frutos comercializables con un 75 % de tamaños extra grandes y grandes (3x4, 4x4, 4x5, 5x5 y 5x6) y un 25 % de frutos con tamaños mediano y chico (6x6 y 6x7) (Sánchez, 2014).
- Presenta un crecimiento de hábito semi-indeterminado con menor distancia entre racimos (Sánchez, 2016).
- Requiere de 21 días después del trasplante al inicio de floración (Sánchez, 2017).

Los tamaños antes mencionados se pueden obtener siempre y cuando el cultivo se maneje con las condiciones adecuadas como podas, nutrición, densidades, entre otros factores de manejo de acuerdo al sistema de producción. (Sánchez, 2014).

Para establecer esta variedad a campo abierto se recomienda de 16,000 a 18,000 plantas/ha, con camas de 180 a 184 cm y 30 cm entre planta, poda a dos tallos y un sistema de estacado regional modificado-modificado, mientras que en agricultura protegida se recomienda una densidad de 22,000 a 24,000 plantas/ha, con camas de 184 a 190 m y una distancia entre planta de 25 cm, bajo sistema de bolis con fibra de coco, fertirriego, poda a un tallo a una hilera y tutorado de con rafia y anillado (Sánchez, 2017).

2.2. Hormonas Vegetales o Fitohormona

2.2.1. Generalidades de las Fitohormonas

En cualquier organismo multicelular es imposible llevar a cabo un adecuado funcionamiento sin que exista una comunicación entre células, tejidos y órganos, en las plantas superiores esta comunicación depende en gran medida de señales endógenas que se translocan de un lugar a otro dentro de la planta, estas ideas fueron postuladas en el siglo XIX por el botánico alemán Julius von Sachs (1832-1897). Además, propuso que los mensajeros químicos son responsables de la diferenciación y del crecimiento de tejidos y órganos, también, existen algunos factores externos que intervienen en la concentración y ubicación de los mensajeros

químicos, aunque aún no se conocían realmente su existencia, sin embargo, sus ideas fueron de gran importancia para su posterior descubrimiento (Taiz y Zeiger, 2006).

En la actualidad se sabe que para un óptimo crecimiento y desarrollo de las plantas, no basta solo de los procesos de la fotosíntesis y de los minerales que son absorbidos a través de las raíces, sino que también es necesario de sustancias químicas endógenas, las cuales son mecanismos de regulación que tienen la capacidad de permitir la comunicación entre células, tejidos y órganos así como su perfecta coordinación de los procesos que se realizan en cada uno. Además, las plantas deben de ser capaces de captar y responder a las fluctuaciones del ambiente por medio de mensajeros químicos que regulen las actividades celulares de acuerdo a las percepciones de los factores ambientales. En las plantas la comunicación química entre las células se realiza principalmente a través de las hormonas vegetales o fitohormonas (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

2.2.2. Que son las Fitohormonas y que Función Tienen

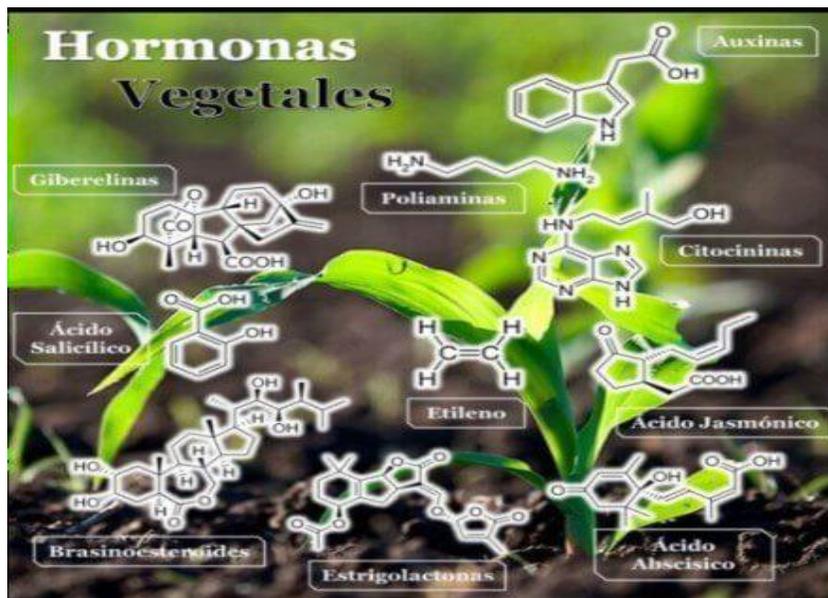
El termino hormona proviene de la palabra griega (*hormaein*) que significa excitar (Euita,upv., 2003). Según Bidwell (2008) las hormonas vegetales o fitohormonas, son sustancias orgánicas que se sintetizan en una parte de la propia planta y por lo general se translocan a otra parte en donde en muy pequeñísimas concentraciones efectúa funciones especializadas como inhibir, promover, acelerar y/o regular el crecimiento, el desarrollo y el metabolismo de la planta, ya sea de manera directa o indirecta, además, pueden actuar a nivel genético como inductores o represores de la expresión de un gen. Un análisis realizado de fluidos de xilema y floema determina que estos compuestos se encuentran por toda la planta, pero por lo general, los principales lugares de síntesis de fitohormonas son los ápices meristemáticos de raíces, tallos, semillas en pleno desarrollo y primordios de órganos vegetativos y reproductivos.

Las fitohormonas se caracterizan por su presencia en varios procesos morfogénéticos y de crecimiento de manera pleiotrópica, es decir, una misma hormona está presente en diversos procesos fisiológicos y diferentes reacciones

metabólicas, esta propiedad que presentan estas sustancias puede depender de la concentración en la que se encuentren, además una misma hormona puede tener funciones promotoras así como también inhibidoras, por lo que es muy importante que las hormonas se encuentren en las concentraciones adecuadas en cada una de las etapas fenológicas en la que se encuentre la planta (Srivastava, 2002, citado por; Serrani, 2008).

2.2.3. Vía de Señalización de las Fitohormonas

Figura 4. Estructura química de las fitohormonas



Fuente: Intagri, 2018

En estudios realizados en años anteriores se puede determinar que la sensibilidad de las células a las hormonas depende de varios factores como el genotipo, el órgano y tejido, la fase fenológica de la planta, el medio que la rodea y la presencia o ausencia de la hormona. Las células vegetales genéticamente están programadas para responder a señales químicas efectuadas por las hormonas (señalizadores), las células responden bajo un mecanismo de cadena de percepción y transducción de la señal o una cascada de señalización, este mecanismo comienza reconociendo o percibiendo la señal química de la fitohormona por un receptor que posteriormente utiliza otras sustancias (segundos mensajeros o proteínas efectoras) para la transducción de la señal, los segundos mensajeros activa o desactiva un gen que posteriormente emitirá una respuesta bioquímica y al final se expresara en una

respuesta fisiológica o morfológica para la planta, esta es la vía que siguen para responder a todos los estímulos tanto externos (luz, temperatura, humedad relativa, etc.) como internos (hormonas, proteínas, etc.) (Bidwell, 2008).

2.2.4. Clasificación

Según Tsuchiya *et al.*, (2010), las fitohormonas se clasifican de acuerdo a su estructura química y su función fisiológica, en la clasificación se tienen diferentes grupos los cuales son: Auxinas, Giberelinas, Citoquininas, Ácido abscisico, Etileno, Jasmonatos, Acido Salicilico, Brasinoesteroides y Poliaminas. En el 2008 se determinó una nueva hormona denominada Strigolactona, la cual tiene la función de inhibir la ramificación vegetal (Tsuchiya *et al.*, 2010).

Jaillais y Chory (2010) mencionan que en los últimos años las hormonas se dividen en dos grupos, las hormonas que tienen funciones en el crecimiento y desarrollo (Auxinas, Giberelinas, Citoquininas) y aquellas que están relacionadas con el estrés biótico y abiótico (Etileno, Acido abscisico, Acido jasmónico, Ácido salicílico y brasinoesteroides), sin embargo, en estudios más recientes determinan que algunas hormonas pueden estar presentes en los dos grupos, es decir, tienen funciones tanto en el crecimiento y desarrollo como también están relacionadas en el estrés de las plantas.

2.2.5. Giberelinas (GAs)

2.2.5.1. Historia de las giberelinas

Las giberelinas son un numeroso grupo de compuestos químicos sintetizados de manera endógena por los vegetales, estos compuestos tienen funciones de regulación del crecimiento y desarrollo en las plantas superiores, fueron descubiertas por unos Fitopatólogos japoneses en 1936, quienes estudiaban una enfermedad en arroz llamada “bakanae” (planta loca) la cual era causada por el patógeno fúngico *Gibberella fujikorai* (ascomycota), esta enfermedad causada por este hongo presentaba un exceso de elongación del tallo y brotes en plantas de arroz. En 1938 Eichi Kurosawa aisló el componente activo del hongo *Gibberella fujikorai* al cual le denominó Acido Giberelico, a mediados de la década de los 50 se determinó que también las plantas podían sintetizar giberelinas (GAs) y se

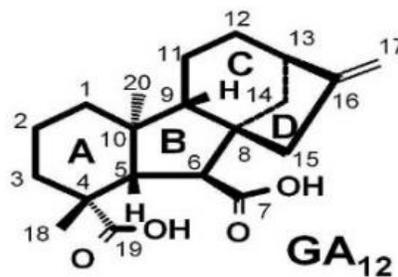
comenzó a sugerir que podían actuar como reguladores endógenos del crecimiento de los vegetales (Radley, 1956; Phinney et al., 1983).

Posteriormente se descubrió que existen muchos compuestos similares a la sustancia activa extraída del hongo *Gibberella*, actualmente se han identificado 136 giberelinas (GAs) a las cuales se les ha asignado un número (GA₁, GA₂, GA₃...GA₁₃₆) de acuerdo al orden de su descubrimiento, estos compuestos se han identificado en diversos organismos como hongos y bacterias pero principalmente en los vegetales (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

2.2.5.2. Que son las giberelinas

Las giberelinas son una extensa familia de diterpenos tetracíclicos ácidos, los cuales presentan una estructura química básica que está constituida por un anillo de ent-giberelano, estas fitohormonas pueden ser clasificadas en dos grupos de acuerdo al número de carbonos que presenten en su estructura química, algunas están constituidas por 20 carbonos y otras con 19 carbono. También pueden ser clasificadas por su actividad biológica (GAs biológicamente activas o inactivas), puesto que se pueden distinguir muy pocas con capacidad intrínseca o *per se* que son las que intervienen directamente en la regulación del crecimiento y desarrollo de las plantas (Cossio, 2013).

Figura 5. Estructura química de GA₁₂ con carbonos numerados



Fuente: Sponsel y Hedden, 2010

2.2.5.3. Características de las giberelinas

Las giberelinas sufren diversas transformaciones las cuales se determinan en varias vías, para entender un poco más de las estructuras químicas y las vías de

biosíntesis de las Giberelinas Iglesias y Talón (2008) mencionan las siguientes características.

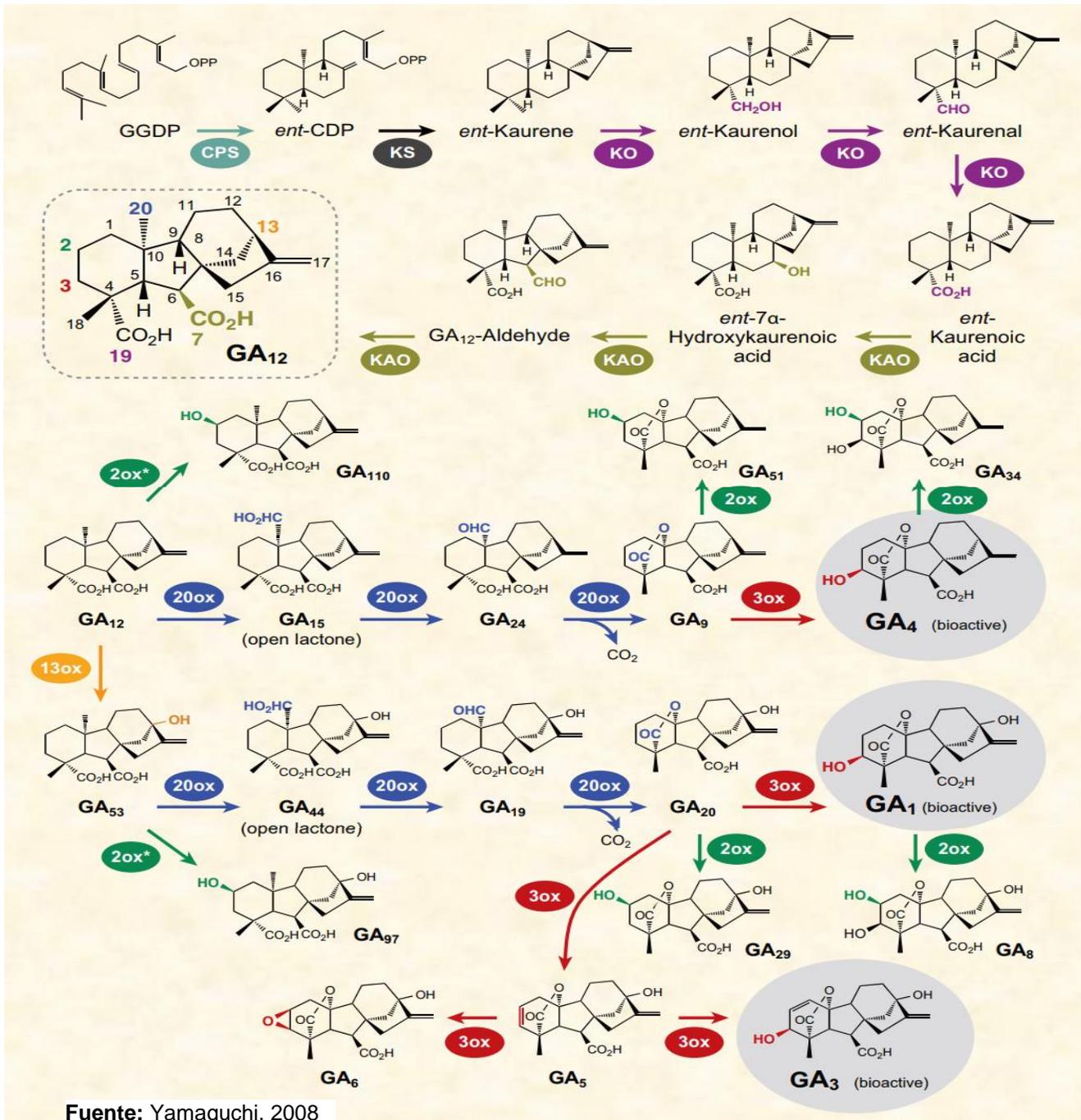
- ✓ Las giberelinas presentan un anillo básico de ent-giberelano y pueden estar formadas por 19 o 20 carbonos (GAs C₁₉ y GAs C₂₀)
- ✓ Las giberelinas con 20 carbonos (GAs C₂₀) pueden sufrir sucesivas oxidaciones en el carbono 20 (C-20), primeramente presentan un grupo metilo (CH₃), este se transforma en un hidroximetilo (CH₂OH), posteriormente se forma en un aldehído (CHO) y finalmente puede convertirse en un carboxílico (COOH)
- ✓ Las giberelinas con 20 carbonos (GAs C₂₀) que presentan un aldehído (CHO) en el carbono 20 (C-20), son precursoras de la giberelinas con 19 carbonos (GAs C₁₉), en la conversión de GAs C₂₀ a GAs C₁₉ el grupo carboxilo (COOH) del carbono 19 (C-19) se une al carbono 10 (C-10) y en forma de CO₂ se pierde el C-20 por medio de una descarboxilación oxidativa formando una λ -lactona entre el C-4 y el C-10 y así dando origen a las GAs C₁₉. La oxidasa del C-20 (GA 20-oxidasa) convierte GAs C₂₀ en GAs C₁₉. Esta proteína multifuncional cataliza las reacciones de oxidación y eliminación del C-20 en las tres vías biosintéticas de las GAs.
- ✓ Las giberelinas pueden presentar otra vía de biosíntesis importante, la cual consiste en la incorporación de un grupo hidroxilo (OH) en el carbono 13 (C-13).
- ✓ Otras vías de transformación de las giberelinas importantes son la incorporación de un grupo hidroxilo en el C-2 o en el C-3 esta transformación determina la actividad biológica de las mismas (Iglesias y Talón 2008).

2.2.5.4. Biosíntesis de las giberelinas

Todas las rutas oxidativas de las giberelinas son catalizadas por enzimas dioxigenasas que se encuentran en el citoplasma, para la vía oxidativa del C-20 interviene la oxidasa del C-20 de la GAs (GA 20-oxidasa), para la hidroxilación del C-2 actúa la enzima 2 β -hidroxilasa (2ox), estas enzimas inducen a la desactivación de las giberelinas y la desactivación es irreversible, mientras que la hidroxilación en la posición C-3 causada por la 3 β -hidroxilasa (3ox) se ha identificado como la clave

para que las GAs presenten actividad biológica, por lo que se puede decir que el balance de las giberelinas está determinada por las hidroxilación en el C-2 y en el C-3. Otra de las rutas importantes de síntesis es la 13-hidroxilación, la cual consiste en la incorporación de un grupo hidroxilo en el C-13 que de igual forma la causa una dioxigenasa denominada 13-hidroxilasa (Yamaguchi, 2008).

Figura 6. Esquema de la síntesis de Giberelinas



Fuente: Yamaguchi, 2008

La biosíntesis de las giberelinas se puede dividir en 3 etapas, estas etapas se determinan de acuerdo al origen de las enzimas que intervienen en las diversas reacciones para la formación de estas fitohormonas, estos orígenes son los organelos celulares, los cuales proporcionan los catalizadores enzimáticos necesarios como: las terpeno ciclasas que se sintetizan en los protoplastos, las monooxigenasas que se encuentran en el retículo endoplasmático (RE) y las dioxigenasas que están presentes en el citosol (Rademacher, 2000).

La biosíntesis de las giberelinas puede ser promovida por dos rutas las cuales están involucradas dos sustancias distintas, una ruta comienza con una molécula de ácido mevalónico (AMV), que posteriormente se transforma en isopentenil pirofosfato (IPP). La otra ruta es a partir de metileritritol (MEP) que posteriormente al igual que el ácido mevalónico se convierte en isopentenil pirofosfato (IPP,) la diferencia entre estas dos sustancias es que el AMV proviene del citosol y el MEP se encuentra en los plastidios, después de esto el IPP sufre diversas oxidaciones y se transforma en geranylgeranyl difosfato (GGDP). Posteriormente la biosíntesis de GAs se divide en tres etapas que están determinadas de acuerdo al origen de las enzimas catalizadoras que actúan en las diferentes reacciones hasta llegar a la formación de las GAs activas (Jordán y Casareto, 2006; Azcón Bieto y Talón, 2008; Yamaguchi, 2008; Sponsel y Hedden, 2010; Kalra y Bhatla, 2018).

- La primera etapa se realiza por enzimas que se localizan en los plastidios y abarca desde el geranylgeranyl difosfato (GGDP) a ent-kaureno, la etapa comienza en la ciclación de GGDP a causa de la sintasa inmadura copalil pirofosfato (CPP) que en seguida se transforma en CPP ya maduro, posteriormente en el CPP maduro interactúa la sintasa de Kaureno de igual forma inmadura para la formación de ent-Kaureno, con la formación de este compuesto termina la participación de las enzimas provenientes de los plastidios.
- La segunda etapa ocurre con la participación de enzimas asociadas al retículo endoplasmático, desde el compuesto ent-kaureno hasta la formación de GA₁₂-aldehído, las enzimas que interviene en esta etapa son

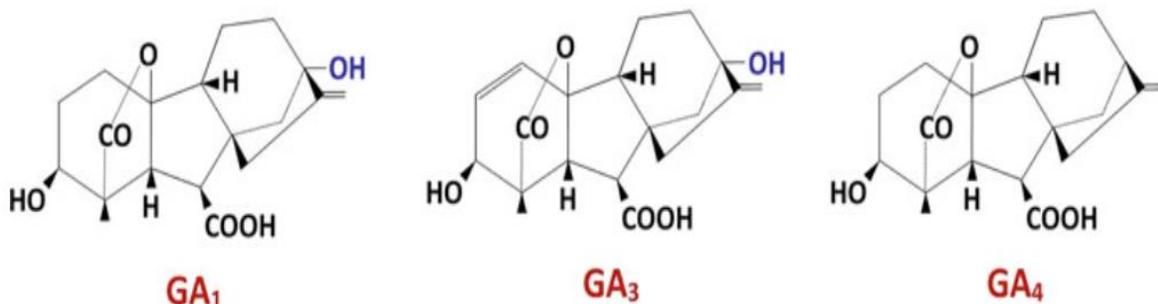
monooxigenasas dependientes del citocromo P-450, el ent-kaureno sufre una oxidación secuencial, inicialmente se forma ent-kaurenol, en seguida ent-kaurenal, después se forma ácido kaurenico, posteriormente se convierte a ácido kaurenico 7-hidroxi y finalmente se transforma en GAs₁₂-aldehído con la formación de este compuesto termina la etapa 2.

- En la tercera etapa intervienen enzimas que se encuentran en el citosol, primeramente el GA₁₂-aldehído se transforma en GA₁₂ esta es la primera GA verdadera, a partir de GA₁₂ se pueden sintetizar las demás giberelinas mediante de diversas reacciones oxidativas, que son catalizadas por oxidasas principalmente las GA₂₀-oxidasa (GA₂₀ox), las GA₃-oxidasa (GA₃ox) y las GA₂-oxidasa (GA₂ox) y así se forman las GAs activas o inactivas, después las GAs activas también se pueden desactivar, todas estas interconversiones se realizan con enzimas mencionadas anteriormente las cuales se encuentran en el citosol (Jordán y Casareto, 2006; Azcón Bieto y Talón, 2008; Yamaguchi, 2008; Sponsel y Hedden, 2010; Kalra y Bhatla, 2018).

2.2.5.5. Giberelinas activas

Del numeroso grupo de las giberelinas que están descritas actualmente, solo algunas cuantas tienen una actividad biológica intrínseca o per se para la regulación del crecimiento y desarrollo de los vegetales, las giberelinas que presentan mayor

Figura 7. Estructura de las Giberelinas biológicamente activas



Fuente: Kalra y Bhatla, 2018

actividad biológica son la GA₁, GA₃ (Ácido giberelico), GA₄ y GA₇, de las giberelinas restantes algunas cuantas solo son precursoras o degradadoras de las GAs activas,

las giberelinas más activas suelen ser de 19 carbonos, las cuales presentan un grupo β -hidroxilo en la posición C-3 (Kobayashi et al., 2000).

Las GAs de mayor actividad biológica presentan comúnmente un grupo β -hidroxilo (OH) en el C-3, un grupo carboxilo (COOH) en C-6 y una λ -lactona entre el C-4 y el C-10, siendo la GA₁ la fitohormona con mayor actividad biológica en los vegetales (Yamaguchi, 2008)

Mientras tanto la GA₃ se denomina como una GA biológicamente muy activa, sin embargo se encuentra en un número muy reducido de plantas. En el caso de las otras dos GAs que se identifican como altamente activas (GA₄ y GA₇), es muy probable que su actividad biológica se deba a la formación posterior de GA₁ Y GA₃ respectivamente (Talón, 2000).

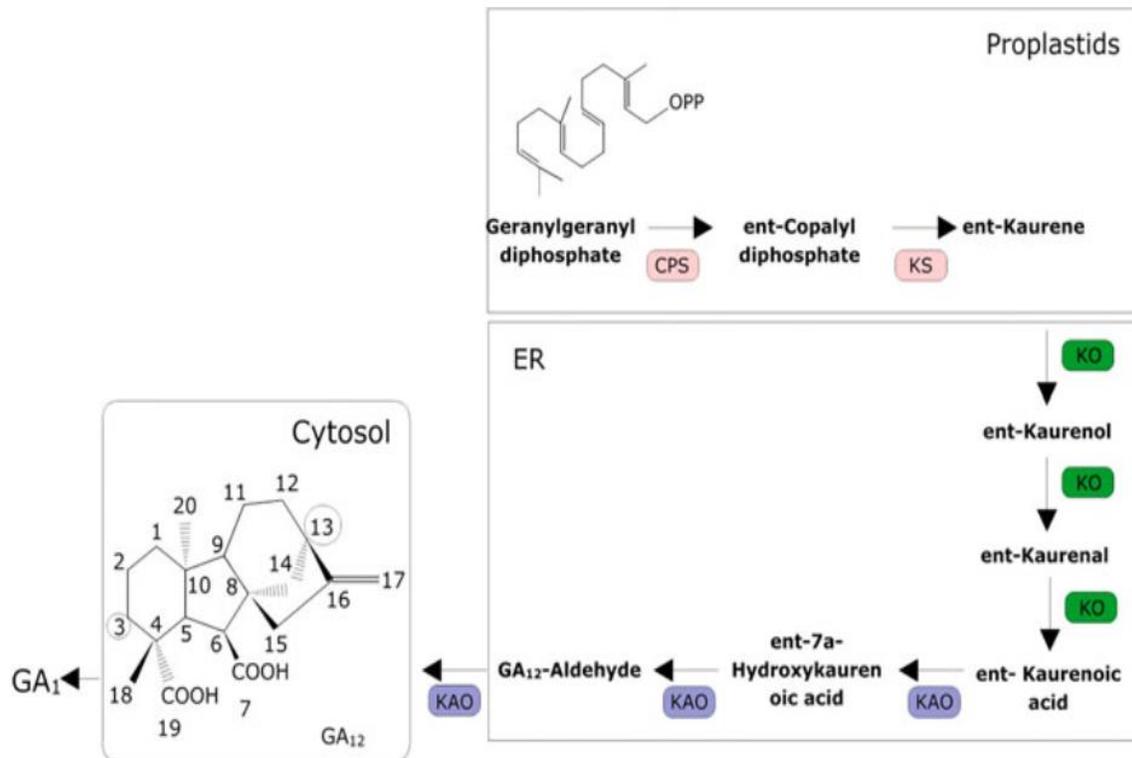
2.2.5.6. Lugar de Síntesis

Por lo general los mayores niveles de giberelinas son encontrados en zonas reproductivas o en zonas que se encuentran en constante crecimiento, se encuentran mayormente en partes jóvenes de los vegetales, en partes viejas también se pueden encontrar pero en muy bajas concentraciones, se pueden presentar muy fácilmente en los puntos de crecimiento como los meristemas apicales de tallos, raíces y yema, además se pueden localizar en semillas inmaduras y en embriones de germinación (Srivastava, 2002). Las giberelinas producidas en las hojas jóvenes son translocadas vía floema al resto de la planta, mientras que las GAs producidas en las raíces son translocadas vía xilema a los diferentes órganos de las plantas (Barcelo Coll et al., 2007).

La síntesis de giberelinas puede darse en distintos lugares de los vegetales, en la etapa fenológica de plántula, la síntesis y las mayores concentraciones de GAs pueden detectarse en lugares de constante crecimiento y en partes un poco más viejas como los frutos y en menores cantidades en raíces, sin embargo, las GAs que presentan actividad biológica no se encuentran en todas las partes de la planta, en algunos de los lugares de síntesis se pueden presentar solo las GAs precursoras de las GAs activas, presentando numerosas inter conversiones entre ellas. Las GAs precursoras de las GAs activas se mueven por el floema y son translocadas a

distintos lugares de destino en donde finaliza la síntesis de GAs activas, es ahí donde se hace la conversión de una giberelina inactiva a una activa, pero esta conversión se puede ver afectada por diversos factores externos como la temperatura, el fotoperiodo, la humedad relativa, etc. (Jordán y Casaretto, 2006).

Figura 8. Ruta de la síntesis de Giberelinas



Fuente: Kalra y Bhatla, 2018

2.2.5.7. Translocación

El transporte se realiza a través del floema en conjunto con fotoasimilados y también se pueden presentar vía xilema, esto puede ser por el desplazamiento radial de floema a xilema, por lo que se puede deducir que las GAs no tienen polaridad en el transporte (Cossio, 2003)

2.2.5.8. Funciones

Las principales funciones hormonales de las giberelinas, es la inducción longitudinal de la raíz, tallo y hojas, promueve la germinación de semillas, favorece el alargamiento de las plantas de día largo (DL) y además promueve la producción de flores y frutos en la mayoría de las plantas (Rademacher, 2000).

Las giberelinas biológicamente activas actúan directamente sobre el crecimiento y desarrollo de los vegetales, este grupo de fitohormonas cubren todos los aspectos de los antecedentes de la vida de las plantas interviniendo en diversos procesos como, elongación del tallo, elongación de raíz, expansión de las láminas foliares, inducción de la floración, interviene en la partenocarpia y liberación de algunas enzimas en diversos tejidos (Ueguchi-Tanaka et al. 2007)

2.2.5.9. Efectos fisiológicos de las giberelinas

- Las giberelinas inducen el crecimiento y desarrollo a través de la estimulación de la división y elongación de las células, la inducción la provocan durante el ciclo celular al acortar el ciclo. En la fase G₁ promueven la fabricación de ADN, además modifican la elasticidad de la pared celular, promoviendo la deposición transversal de microtúbulos y también intervienen en el transporte de calcio (Taiz y Zeiger 2006).
- Estimula la germinación de las semillas: Las GAs degradan la proteína DELLA, por lo que regula la expresión génica de la α -amilasa y así finalmente cataliza la degradación del almidón por lo que promueve la germinación
- Inducen la partenocarpia, fenómeno mediante el cual crece el fruto sin existir una fecundación
- Inducción de la floración en las plantas de fotoperiodo de día largo que son cultivadas en épocas no apropiadas
- Detienen o retardan el envejecimiento, esto se ha comprobado en hojas y frutos de cítricos (Cossio, 2013).

2.3. Fitorreguladores o Reguladores de Crecimiento Vegetal

Las hormonas vegetales o fitohormonas son sintetizadas de manera endógena por la planta, sin embargo, en la actualidad en el mercado existen numerosos productos naturales (extraídos de otros organismos) o sintéticos (fabricados por el hombre), los cuales son llamados fitoreguladores o reguladores de crecimiento vegetal, estos compuestos se aplican de manera exógena a los vegetales, los cuales presentan una naturaleza igual o similar a algunas fitohormonas, incluso algunos de los productos sintéticos pueden provocar efectos más intensos que las hormonas endógenas a concentraciones más bajas o iguales, estas sustancias pueden ser

reconocidas por receptores específicos de las fitohormonas (Jordán y Casaretto, 2006).

Los reguladores de crecimiento son productos fabricados por el hombre y son diferentes a los nutrientes, en muy pequeñas concentraciones y por su estructura molecular estimulan, inhiben o modifican el crecimiento y desarrollo de las plantas, algunos de estos compuestos sintéticos pueden ser: auxinas (AIA, Ácido Indol Acético) y 2,4-D (ácido diclorofenoxiacético), citoquininas (BAP, bencilamino purina y la quinetina), giberelinas (GA3 o ácido giberelico), etileno, ácido absícico, inhibidores y poliaminas (Torres y Montero, 2009, citado por; Elizondo, 2010).

Dentro del grupo de los reguladores del crecimiento podemos encontrar algunos de origen natural (biorreguladores), los cuales son compuestos químicos idénticos a las hormonas, pero son aplicados de manera exógena, los biorreguladores son fabricados mediante compuestos químicos y pueden imitar la acción hormonal, dentro de este último grupo encontramos los retardadores del crecimiento, los cuales bloquean la síntesis de una fitohormona o bien interfieren con su translocación, evitando que esta llegue a su sitio de acción (Whiley et al., 2002).

Los reguladores actúan modificando el crecimiento y desarrollo de las plantas a través de su acción sobre vías y procesos fisiológicos y bioquímicos específicos (Jankiewicz, 2003). Estas sustancias son únicas en su característica por ser absorbidas por el tejido vegetal y transportadas a un sitio de reacción antes de inducir un efecto no deseado (Ramírez et al., 2010b).

Estos compuestos son utilizados en la agricultura con el fin de obtener diversos resultados, que favorezcan los intereses agronómicos, el efecto de estas sustancias puede ser modificado de acuerdo a la etapa que se apliquen, así como también las concentraciones en las que se aplique, puesto que un mismo ingrediente activo puede generar distintos efectos sobre la planta (Sánchez sf., citado por; Elizondo, 2010).

2.3.1. Retardantes de Crecimiento

Los retardantes de crecimiento son productos químicos sintéticos que regulan el crecimiento de las plantas, estas sustancias tienen como objetivo inhibir la síntesis de GAs, estos compuestos han sido utilizados durante varios años para manipular el crecimiento de las plantas. La utilidad del uso de los retardantes en la agricultura, puede deberse a la selectividad que brindan para la inhibición de la biosíntesis de GAs sin causar una toxicidad y sin disminuir la producción de los cultivos (Sponseth y Hedden, 2010).

Son productos sintéticos que son empleados en la agricultura para reducir la longitud de las plantas, sin causar cambios en los patrones de desarrollo ni causar fitotoxicidad, estas sustancias son antagonistas de las GAs y auxinas, los retardantes son el grupo más importante a nivel comercial de los reguladores de crecimiento de las plantas. Los retardantes de crecimiento tienen como objetivo inhibir la biosíntesis de giberelinas, logrando principalmente la reducción longitudinal y división celular, por lo que son una herramienta agronómica que permite causar cambios en las condiciones de crecimiento y además, pueden ser usados de manera relativamente flexible por el agricultor. Al mantener las plantas más compactas, permite reducir el espacio de producción y disminuir costos del manejo. La utilización de estos productos es más flexible que un genotipo fijo con esas condiciones de crecimiento (Rademacher, 2000).

Los retardantes de crecimiento de las plantas retrasan la división y elongación celular en tejidos de brotes, regulando de esta forma la altura de las plantas, de manera fisiológica, sin provocar malformaciones en las hojas o los tallos (Graebbe, 1987; Weaver, 1996, citado por; Giacomelli, 2017; Rademacher, 2000).

En la actualidad se han encontrado varios usos prácticos, en Europa en cultivos de grano pequeño se han convertido en parte integral de la producción, en algodón se ha podido controlar el crecimiento vegetativo, los árboles frutales se han podido ajustar para mantenerlos más compactos, esto ha causado la disminución de costos y se ha tenido una mejor relación entre el crecimiento vegetativo y reproductivo, así

como también se ha mejorado la calidad de algunas especies ornamentales (Rademacher, 2000).

El uso de los retardantes de crecimiento tiene como objetivo inhibir la síntesis de giberelinas, lo que puede provocar distintos efectos secundarios (Rademacher, 2000; Medjdoud, 2003) como:

- Obtener plantas más compactas pero más gruesas (Rademacher, 2000).
- No solo interfieren en el contenido de GAs sino que también tienen efecto sobre la concentración de las demás fitohormonas.
- Una mayor translocación de asimilados hacia diferentes sumideros
- Incrementar el contenido de clorofila (Medjdoud, 2003).
- Influyen sobre la acumulación de carbono y en la forma, distribución y concentración de los carbohidratos
- Alteran la participación de los asimilados hacia el rendimiento de grano (Shekoafa y Emam, 2008).
- Estos reguladores de crecimiento por lo regular son aplicados en forma de aerosol a las hojas y posteriormente son translocados a los sitios de crecimiento y es ahí donde realizan su función (Rademacher, 2000).

Actualmente se conocen cuatro grupos de inhibidores de la biosíntesis de giberelinas, la agrupación se debe al momento en que cada uno de ellos actúan: Compuestos “onio”, compuestos de un heterociclo que contiene Nitrógeno (N), bloqueadores estructurales del 2-oxoglutarico y 16, 17-dihidro-GA (Rademacher, 2000).

2.3.1.1. Acilciclohexanodionas

Dentro del grupo de bloqueadores estructurales del 2-oxoglutarico se encuentran compuestos que se denominan acilciclohexanodionas. Estos compuestos interfieren en las últimas etapas de la biosíntesis de GAs, precisamente bloquean el catabolismo de las dioxigenasas 3 β -hidroxilasa y 2 β -hidroxilasa, esto ocurre ya que estos compuestos tienen similitud en la estructura del 2-oxoglutarico el cual es el co-sustrato para la formación de las dioxigenasas antes mencionadas (Rademacher et al., 1992)

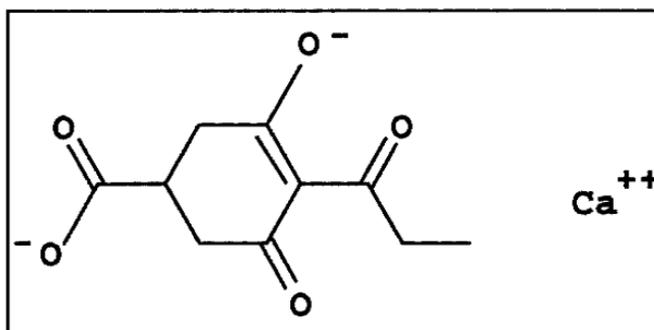
Ciclohexanodionas también llamado ciclohexanetriones representan una nueva clase de retardantes de crecimiento, dentro de las cuales se incluye la Prohexadiona de calcio (Nakayama et al., 1990).

2.3.1.2. Prohexadiona de Calcio, Prohexadiona-Ca, Pro-Ca o P-Ca

2.3.1.2.1. Generalidades

El retardante prohexadiona de calcio posee una fórmula química $C_{10}H_{10}CaO_5$ (PubChem, 2007). Bas 125W es el código experimental para el regulador de crecimiento de plantas, con el nombre común Prohexadiona de calcio o en breve Prohexadiona-Ca; o el nombre químico sistemático calcio 3-oxido-4-propionil-5-oxo-3-ciclohexeno carboxilato, incluso algunos otros autores simplifican el nombre común a Pro-Ca o P-Ca. Otros códigos para el ingrediente activo de este retardante incluyen BX-112, KIM112 y Bas 9054W. Este ingrediente activo fue patentado por Kumiai Quimico industry Co., el cual fue registrado en Japón para el control de crecimiento en arroz (Evans et al., 1999).

Figura 9. Estructura química de Prohexadiona de calcio



Fuente: Evans et al., 1999

El retardante prohexadiona de calcio pertenece al grupo de inhibidores de giberelinas llamado acilciclohexanodionas (Medjoub, 2003).

2.3.1.2.2. Modo de acción

Prohexadiona de calcio inhibe la biosíntesis de giberelinas, por lo que reduce el crecimiento longitudinal. La estructura molecular es similar a la del 2-oxoglutarico esto permite que sea un imitador de este compuesto, el cual es el co-sustrato para la formación de las dioxigenasa que catalizan las hidroxilaciones en la posición 3β ,

el principal objetivo de esta molécula es inhibir la biosíntesis de giberelinas en las etapas tardías, bloqueando así la formación de las dioxigenas 3 β -hidroxilasa, lo que causa una reducción de las GAs activas (GA₁, GA₄ y GA₇) y una acumulación de sus precursores (GA₂₀, GA₅₃, etc.) (Evans et al., 1999; Rademacher, 2006).

Además, inhibe la síntesis de etileno al bloquear la enzima aminociclopropanocarboxílico (ACC) oxidasa. Las giberelinas son hormonas que participan activamente en el crecimiento vegetativo, por lo tanto, la inhibición de estas hormonas provocan una reducción la altura de las plantas, obteniendo plantas más compactas (BASF, 2005), lo que provoca un ahorro en los trabajos de podas y mejora el cuajado de frutos (Evans et al., 1999)

2.3.1.2.3. Metabolismo

P-Ca presenta una vida media, debido a que la molécula activa no es tan estable como la de otros retardantes de crecimiento, en plantas superiores la degradación de este retardante dura pocas semanas; en el suelo tiene una vida media menor a una semana y en su mayoría se descompone a dióxido de carbono; en agua la molécula de P-Ca se descompone por fotólisis a dióxido de carbono y otros productos (Evans et al., 1999).

2.3.1.2.4. Propiedades Toxicológicas y Ecotoxicológicas

En cuanto a la toxicidad tiene un DL₅₀ oral >500 mg Kg⁻¹ y un DL₅₀ cutáneo de >2000mg Kg⁻¹ en rata. El compuesto no es mutagénico, carcinogénico ni teratogénico, además no tiene efectos negativos en pájaros, peces, abejas melíferas ni en microorganismos del suelo (Evans et al., 1999).

2.3.1.2.5. Translocación

En las plantas Prohexadiona-Ca es absorbido por el follaje, 8 hrs. después de la aplicación el ingrediente activo es absorbido completamente, posteriormente es translocado de manera acropétalo a los puntos de crecimiento, mientras que el movimiento de manera basipétalo se realiza en menor medida, normalmente solo se ve afectado el crecimiento que ha sido asperjado, la molécula no persiste en la planta, por lo que el efecto es temporal y no afecta el crecimiento de la siguiente temporada en plantas perennes. Con agua suficiente y una alta humedad relativa

durante la mañana o al atardecer, el ingrediente activo puede ser absorbido más rápidamente por la planta, pero también esto depende de la concentración, del vigor de la variedad y de las condiciones climáticas (Evans et al., 1999).

2.3.1.2.6. Efectos

La aplicación de retardantes de crecimiento como P-Ca pueden provocar efectos secundarios que pueden contribuir a mejorar la producción de acuerdo a los intereses agronómicos de cada cultivo. Entre los efectos secundarios que puede provocar P-Ca es modificar el contenido de otras hormonas endógenas, tal es el caso el aumento de las citoquininas y Acido abscisico, así como la disminución de etileno (Rademacher, 2000).

Reduce el contenido de giberelinas endógenas en diferentes especies frutícolas y oleícolas (Rademacher, 2000; Rademacher, 2004; Ramírez et al., 2006; Ramírez et al., 2005; Ramírez et al., 2008), esto provoca que los asimilados que están destinados para el crecimiento que es inhibido por el retardante, son translocados a otros tejidos de demanda, por lo que pueden contribuir a los intereses agronómicos de cada cultivo (Medjdoub, 2003; Njiti et al., 2013), al reducir la demanda de asimilados en el meristemo apical provoca una acumulación de los mismos (Ramírez et al., 2003), estos se pueden translocar hacia los frutos (Rademacher, 2006), por ejemplo, en tomate (Ramírez et al., 2005; Ramírez et al., 2009) causa un cambio en la translocación de asimilados y aumenta la formación de yemas florales, lo que causa un aumento de frutos por planta. Los frutos no solo se benefician en la mayor disponibilidad de asimilados sino también por la reducción de etileno (Herrera, 2007), por otro lado en especies de grano, los asimilados pueden ser transportados al llenado de los granos (Alfaro, 2008; Lokuruge et al., 2015), en especies de raíz como el camote (Njiti et al., 2013) los asimilados acumulados son translocados hacia la raíz.

Además de todos los efectos que se han obtenido en los distintos trabajos antes mencionados, P-Ca también tiene efecto en distintos procesos metabólicos en los cuales se ha demostrado que favorecen a obtener una menor incidencia de

patógenos (Roemmelt et al., 2003) y mayor tolerancia al estrés causado por factores ambientales (Medjdoub, 2003).

P-Ca inhibe el crecimiento vegetativo y en la actualidad su uso es en la fruticultura, pero recientemente es considerado como una alternativa viable en la horticultura moderna (Ramírez et al., 2010a).

P-Ca es un retardante de crecimiento que ha sido aplicado en diferentes especies de plantas, por lo que en la mayoría de las especies frutícolas, olerícolas y ornamentales en las que se ha estudiado el efecto, ha contribuido a la disminución del crecimiento vegetativo, lo que ha provocado una acumulación de asimilados que posteriormente son translocados a diferentes tejidos, atribuyendo beneficios a los intereses agronómicos de cada cultivo, además, tiene el potencial de causar otros cambios bioquímicos dentro de la planta, contribuyendo a una mayor tolerancia al estrés abiótico y al ataque de plagas y enfermedades.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del Área Experimental

El presente trabajo se realizó durante el periodo primavera-verano en el invernadero de alta tecnología del departamento Forestal que pertenece a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicada en Calzada Antonio Narro 1923 Colonia Buenavista, Saltillo, Coahuila, con Latitud N 25°21'10.3, longitud O 101°01'38.3" y una altitud de 1742 msnm.

3.2. Clima

De acuerdo al sistema de Koppen modificado por E. García, el clima de la región para Buenavista, Saltillo, Coahuila, es representado por Bso K (x') (e), donde los términos significan:

Bso= es el más seco del grupo de los climas con coeficiente $P/t < 22.9$.

P/t = relación de precipitación y temperatura.

K= Templado con verano cálido, temperatura media anual fluctúa entre 12°C y 18°C el mes más frío entre -3°C y 18°C

X'= Régimen de lluvias intermedio entre verano e invierno.

E= Extremos con oscilación entre 7°C y 14°C

La temperatura media anual es de 19.8°C con fluctuaciones entre la media mensual de 11.6°C como mínima y 21.7°C como máxima. La época de lluvias, se desarrolla en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre, siendo junio y julio los meses más lluviosos, la precipitación anual es de 455 mm. Los vientos prevalecientes tienen una dirección de noreste con una velocidad de 22.5 km/hr. (UAAAN, Departamento de Agrometeorología).

3.3. Suelos

En el área de la UAAAN, los suelos son relativamente homogéneos debido a la escasa variación litológica de la localidad y por su topografía casi uniforme, la mayor

parte del material son provenientes de la Sierra Zapaliname que está conformada principalmente por rocas calizas y de areniscas.

3.4. Material Vegetal

En este trabajo se utilizaron semillas y plantúlas de tomate tipo bola, variedad semi-indeterminada denominada Villa Narro, dentro de sus características importantes destaca por tener frutos de larga vida de anaquel y extra firmes, además un 75 % presentan tamaños extra grandes y grandes, un 25 % de tamaños mediano y chico en todo su ciclo de producción, esto siempre y cuando se realicen las practicas adecuadas como la poda a 1 o 2 tallos, programa de nutrición y otras prácticas culturales que se deben de realizar al cultivo, así como también el tipo de sistema de producción que se emplee.

3.5. Siembra

La siembra se realizó el 19 de Marzo de 2018 en dos charolas de poliestireno de 200 cavidades, en la charola 1 se sembraron semillas que fueron cosechadas en el 2011, de las cuales 100 semillas se trataron con prohexadiona de calcio (P-Ca) y 100 semillas sin tratar, en la charola 2 se realizó lo mismo con semillas cosechadas en el 2016. El sustrato utilizado fue 50 % Peat Moss y 50 % perlita (v/v), las charolas permanecieron en el invernadero de alta tecnología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro durante 49 días, se aplicaban riegos diarios con regadera.

3.6. Trasplante

De las 400 semillas sembradas solo se utilizaron 56 plántulas, 28 plántulas eran provenientes de semillas del 2011, de las cuales 14 fueron tratadas con prohexadiona de calcio y 14 fueron sin tratar, las otras 28 plántulas fueron de semilla del 2016 que de igual forma 14 fueron tratadas con el retardante de crecimiento y 14 sin tratar. Con las plántulas utilizadas se obtuvieron 8 tratamientos con 7 unidades experimentales cada uno.

El trasplante se realizó el 7 de Mayo de 2018 cuando las plántulas alcanzaron 10 cm de altura con 5 hojas verdaderas aproximadamente, se seleccionaron las plántulas al azar, se trasplantaron en bolsas negras de plástico con capacidad de 9 L. El sustrato se obtuvo utilizando suelo, Peat moss y vermiculita en una relación de

3:1:1 respectivamente, se mezclaron los componentes hasta que el sustrato quedo homogéneo, después se llenaron las bolsas a un 80 % aproximadamente de su capacidad con el sustrato obtenido, posteriormente se hizo un hoyo en donde se colocó la plántula con todo cepellón.

3.7. Tratamientos Evaluados

Cuadro 3. Descripción de los Tratamientos en E0

Experimento cero (E0)		
	Año de la semilla	Tratamientos
Charola 1	2011	Semilla sin Tratar (T1)
		Semilla Tratada (T2)
Charola 2	2016	Semilla sin Tratar (T3)
		Semilla Tratada (T4)

Cuadro 4. Descripción de los tratamientos en E1

Experimento 1 (E1) semilla del 2011			
Tratamientos	Descripción del tratamiento	Tratamientos abreviados	Dosis de P-Ca
T1	Semilla Tratada	ST	50 ppm
T2	Semilla Tratada más Aspersión Foliar	ST+AF	50 ppm + 50 ppm
T3	Testigo Absoluto	Testigo	-
T4	Aspersión Foliar	AF	50 ppm

Cuadro 5. Descripción de los tratamientos en E2

Experimento 2 (E2) semilla del 2016			
Tratamientos	Descripción del tratamiento	Tratamientos abreviados	Dosis de P-Ca
T1	Semilla Tratada	ST	50 ppm
T2	Semilla Tratada más Aspersión Foliar	ST+AF	50 ppm + 50 ppm
T3	Testigo Absoluto	Testigo	-
T4	Aspersión Foliar	AF	50 pm

3.8. Descripción de los Tratamientos

Para el E0 se utilizaron dos charolas (Charolas 1 y 2), la charola 1, contenía semillas del ciclo 2011, el 50 % de estas semillas fueron tratadas con P-Ca, las cuales comprendieron el T1 y el otro 50 % sin ningún tratamiento, estas formaron el T2. En la charola 2 se tenían las semillas del ciclo 2016 y de igual manera contenía 50 % de semillas tratadas con P-Ca (T3) y el otro 50 % de semillas sin ningún tratamiento (T4).

El tratamiento que se le aplicó a las semillas consistió en lo siguiente: Se utilizó el producto comercial Apogee®, el cual contiene el 27.5 % del ingrediente activo P-Ca. Primeramente se realizaron los cálculos correspondientes para determinar la cantidad de producto que se utilizó, lo cual para obtener una solución a una concentración a 50 ppm de ingrediente activo, en seguida, en dos cajas Petri se colocó el producto y el agua correspondiente para conseguir la concentración deseada, posteriormente en una caja Petri se colocaron semillas del 2011 y en otra se colocaron las semillas del 2016, así permanecieron en imbibición durante 18 horas, para finalmente sembrarlas en las charolas correspondientes.

En el E1 y en el E2 se evaluaron los mismos tratamientos, lo único que cambio fue el año de las semillas, las plántulas utilizadas en ambos experimentos fueron extraídas de las charolas del E0. En el E1 se utilizaron 28 plántulas de la charola 1, de las cuales 14 eran provenientes de semillas tratadas y 14 eran de semillas sin tratar, lo mismo se realizó para el E2 pero en este caso se utilizaron las plántulas de la charola 2. Las 28 plántulas utilizadas (en E1 de la charola 1 y en E2 de la charola 2) se repartieron en 4 tratamientos (T1, T2, T3 y T4), obteniendo 7 plantas por cada tratamiento. El T1 (ST), consistió en utilizar plántulas de semillas tratadas con P-Ca; el T2 (ST+AF), consistió de semillas tratadas más una aspersion foliar con P-Ca; el T3 (Testigo), no recibió ningún tratamiento y; el T4 (AF), consistió en solo realizar la aspersion foliar.

El tratamiento con la aspersion foliar de P-Ca a 50 ppm, se realizó 20 días después del trasplante (DDT). La aplicación del producto se realizó en la etapa juvenil, cuando las plantas presentaban alrededor de 10 hojas verdaderas. La aplicación se realizó con una bomba manual con capacidad de 1 L, se asperjaron las plantas completamente y especialmente en los meristemas apicales realizando la aspersion a punto de rocío en un horario entre 9:00-10:00 A.M.

3.9. Diseño Experimental

El E0 consistió de 4 tratamientos con 10 repeticiones y; el E1 y E2 con 4 tratamientos y 7 repeticiones cada experimento.

El diseño estadístico que se empleó para E0, E1 y E2 fue un Completamente al Azar y a los datos obtenidos se les aplico un análisis de varianza (ANVA) y además se realizó una comparación de medias con el método de Tukey con probabilidad menor o igual a 0.05 ($P \leq 0.05$).

Los datos obtenidos se analizaron con el software "The SAS System for Windows" versión 9.0.

3.10. Variables Evaluadas en E0

3.10.1. Porcentaje de Emergencia

La evaluación de este parámetro se realizó de manera visual, contando las plántulas emergidas de cada tratamiento y posteriormente calculando el porcentaje, se

realizaron tres lecturas, las cuales fueron a los 20, 28 y 36 días después de la siembra (DDS), para esta variable se tomaron 10 unidades experimentales por cada tratamiento.

3.10.2. Altura de la Plántula

Esta variable se evaluó a los 20, 28 y 36 días después de la siembra (DDS), se midió con una cinta métrica de la marca TRUPER de 1.55 m, la medición se realizó de la base de la plántula hasta el meristemo apical, para esta variable se tomaron 10 unidades experimentales por cada tratamiento.

3.11. Variables Vegetativas Evaluadas en E1 y E2

Los parámetros evaluados en E1 y E2 fueron exactamente los mismos para ambos

3.11.1. Diámetro de Tallo

El grosor del tallo se evaluó a los 5, 12, 19, 26, 33, 40, 55 y 75 días después de la siembra (DDS), la medición siempre se realizó aproximadamente un centímetro arriba de las hojas cotiledónales, con un vernier Digital LSD de la marca STANLEY (con capacidad de 150 mm). Este parámetro fue evaluado de 7 unidades experimentales por tratamiento.

3.11.2. Longitud y Número de Hojas

La longitud de hojas se midió con una cinta métrica de la marca TRUPER de 155 cm, midiendo cada una de las hojas desde el peciolo hasta la base el último foliolo de la hoja, posteriormente, se calculó un promedio de las longitudes de todas las hojas de la planta para obtener un solo dato por unidad experimental. Para este parámetro se utilizaron las 7 repeticiones por cada tratamiento.

El número de hojas se evaluó a los 5, 12, 19, 26, 33, 40, 55 y 75 días después de la siembra (DDS), esta variable se evaluó de manera visual contando desde las primeras hojas verdaderas del tallo principal hasta las hojas apicales que estuvieran bien formadas. Esta variable se tomó de 7 unidades experimentales por cada tratamiento.

3.11.3. Crecimiento del Tallo Principal

El crecimiento del tallo principal se evaluó a los 5, 12, 19, 26, 33, 40, 55 y 75 días después de la siembra (DDS), lo cual se realizó con una cinta métrica de la marca

TRUPER de 155 cm, la medición se realizó de la base del tallo hasta el meristemo apical del tallo principal, se realizó a 7 unidades experimentales por tratamiento.

3.11.4. Peso Fresco de Raíz

Este parámetro se evaluó después de la última cosecha y se realizó de la siguiente manera: primeramente se cortó la planta aproximadamente 10 cm arriba del cuello, se dejó por unos días para que se deshidratara todo el sustrato y para cuando se sacara la raíz, el sustrato de las bolsas estuviese un poco compacto y no se desmoronara, posteriormente con una navaja se cortó cuidadosamente la bolsa que contenía el sustrato, en seguida, se sacó todo el sustrato que estaba un poco compacto y se depositó en un bote con agua para que se remojará y se pudiera desprender solamente la raíz, lo cual se realizó cuidadosamente lavando bien para quitar el sustrato que tenía adherido y para extraer la raíz completa, finalmente se dejó escurrir y se pesó en una Báscula Digital marca Noval Mh 500 con capacidad de 0.1-500 g.

3.11.5. Peso Seco de Raíz

Los datos de esta variable se obtuvieron posteriormente de evaluar el peso fresco realizando lo siguiente: las raíces se colocaron en medio de un periódico y se colocaron bajo el sol para que se deshidrataran por completo, posteriormente de que las raíces estuvieran completamente deshidratadas se pesaron en una Báscula Digital marca Noval Mh 500 con capacidad de 0.1-500 g.

3.12. Variables Reproductivas Evaluadas en E1 y E2

3.12.1. Distancia Entre Racimos

Este parámetro se determinó midiendo con una cinta métrica marca TRUPER de 1.55 m, la distancia que tenía de un racimo a otro, posteriormente, se calculó una media para determinar la distancia promedio que tenía la planta entre los racimos. Este parámetro se evaluó con 7 repeticiones por cada tratamiento.

3.12.2. Número de Racimos por Planta

El número de racimos por planta se determinó contando de manera visual, todos los racimos del tallo principal así como también los racimos del tallo secundario. Este parámetro se determinó de 7 repeticiones por cada tratamiento.

3.12.3. Número de Flores y Frutos

El número de flores y frutos se evaluó contando las flores y los frutos de 3 racimos del tallo principal y del primer racimo del tallo secundario de 7 plantas por cada tratamiento, esta evaluación se realizaba cada que aparecía un racimo contando las flores y después contando los frutos amarrados y al final se sumaron las flores y frutos de cada racimo evaluado para obtener el total.

3.13. Variables Evaluadas de Calidad de Fruto en E1 y E2

3.13.1. Sólidos Solubles Totales

Esta variable se determinó con un refractómetro de la marca ATAGO (Brix 0-32 %), la evaluación consistió en lo siguiente: en seguida de evaluar la firmeza de los frutos, del orificio que se le realizo a los tomates con el penetrómetro, se extrajo jugo y se colocó en el sensor del refractómetro, posteriormente observando directamente hacia la luz a través del lente del refractómetro se mostraba una escala vertical, al poner el jugo del tomate en el sensor esa escala se dividía en una parte blanca y una parte oscura y los Sólidos Solubles Totales (SST) se marcan en donde se divide la parte blanca de la parte obscura, los resultados son en porcentaje (%), de igual forma que la firmeza, para los SST se tomaron dos lecturas y posteriormente se calculó la media. Los datos para esta variable se determinaron de 3 frutos por planta y posteriormente se calculó la media para cada unidad experimental.

3.13.2. Firmeza de Fruto

Los datos para este parámetro se obtuvieron con ayuda de un penetrómetro de la marca McCORMICK FT-327, con capacidad de 1 a 12 Kg y una puntilla de 8 mm de diámetro. Primeramente con una navaja se quitó el epicarpo del fruto y posteriormente aplicando fuerza con la mano se introdujo el penetrómetro a la altura del ecuador, se anotó la lectura en Kg, en seguida se retiró el penetrómetro y se realizó lo mismo en el lado opuesto de donde se sacó la primera lectura, lo cual para obtener dos lecturas y posteriormente calcular la media por fruto, para esta variable se tomaron 3 frutos por planta y después se sacó un promedio por cada repetición.

Enseguida se realizaron los cálculos para determinar la firmeza en Kg/cm², para esto se utilizaron las siguientes formulas:

$$\text{Area de la puntilla} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{(3.1416)(0.8)^2}{4} = 0.502656 \text{ cm}^2$$

$$\text{Area de 1 cm} = \frac{(1\text{cm}^2)(0.8\text{cm})^2}{0.8 \text{ cm}^2} = 0.62832 \text{ cm}^2$$

$$\text{Firmeza del fruto en Kg/cm}^2 = \frac{(ACM)(LP)}{(AP)}$$

Donde:

ACM= Área de 1 cm

LP= Lectura del Penetrómetro

AP= Área de puntilla

3.13.3. Diámetro Polar y Ecuatorial del Tomate

Estas dos variables se evaluaron después de que se realizaba la cosecha, por cada unidad experimental se tomaron tres frutos con tamaño intermedio a los cosechados, que posteriormente se tomó la lectura con un vernier Digital LSD de la marca STANLEY (con capacidad de 150 mm) colocándolo de polo a polo del fruto y así determinar el diámetro polar de cada tomate, para el diámetro ecuatorial de igual forma se hizo con el vernier, colocándolo de un extremo del ecuador al otro. Para obtener los datos finales se tomaron dos lecturas de cada fruto evaluado, una se tomaba de la parte que se apreciaba con un mayor diámetro y la segunda de la parte que se observaba con un menor diámetro y al último se calculó el promedio de las dos lecturas y así determinar el diámetro ecuatorial de cada fruto.

3.13.4. Rendimiento por Racimo y por Planta

Esta variable se realizó solamente con la evaluación de tres racimos del tallo principal y un racimo del tallo secundario, cada fruto cosechado se pesaba individualmente, se etiquetaba de que planta y a que racimo pertenecía y al finalizar se sumaron los pesos de los frutos obtenidos por cada racimo evaluado y así obtener el rendimiento por cada racimo, por último se sumó el rendimiento de cada

uno de los racimos evaluados para obtener el rendimiento total. Los frutos se pesaron en una Báscula Digital marca Noval Mh 500 con capacidad de 0.1-500 g.

IV. RESULTADOS

4.1. Variables Evaluadas en E0

Estas variables fueron evaluadas antes de asignar las plantas para los tratamientos del E1 y E2, por lo que, se le asignó como un experimento cero (E0), puesto que los parámetros evaluados no llevaron continuidad para los experimentos 1 y 2.

4.1.1. Porcentaje de Emergencia

Para el porcentaje de emergencia en E0 a los 20 DDS no se apreciaron diferencias estadísticas, sin embargo, a los 28 y 36 DDS se mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos (Cuadro 6), obteniendo los mayores porcentajes de emergencia en la charola 2, la cual tenía los tratamientos T3 y T4 ambos con semilla del 2016, sin embargo, en ninguna de las 2 charolas se mostraron diferencias entre las semillas tratadas y las semillas sin tratar, es decir, en ambas charolas las semillas tratadas con P-Ca presentaron resultados similares respecto a las semillas sin tratar.

Cuadro 6. Efecto de la semilla tratada (ST) en solución con P-Ca en E0 sobre el porcentaje de emergencia de tomate bola var. Villa Narro

Días Después de Siembra (DDS)	Charola 1		Charola 2		CV (%)
	Semilla tratada (%)	Semilla sin tratar (%)	Semilla tratada (%)	Semilla sin tratar (%)	
	(T1)	(T2)	(T3)	(T4)	
20	34 A	32 A	35 A	36 A	10.41
28	50 B	53 B	65 A	67 A	16.23
36	65 B	67 B	75 A	77 A	17.12

Valores con letras iguales en la misma columna no tienen diferencia significativa entre los tratamientos de acuerdo a la prueba de Tukey, ($P \leq 0.05$).
Cada valor representa la media de 10 repeticiones.

4.1.2. Altura de Plántula

Para la variable de altura de la plántula a los 20, 28 y 36 DDS no se mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efecto de la semilla tratada (ST) con P-Ca en E0, sobre la altura de plántula de tomate bola var. Villa Narro

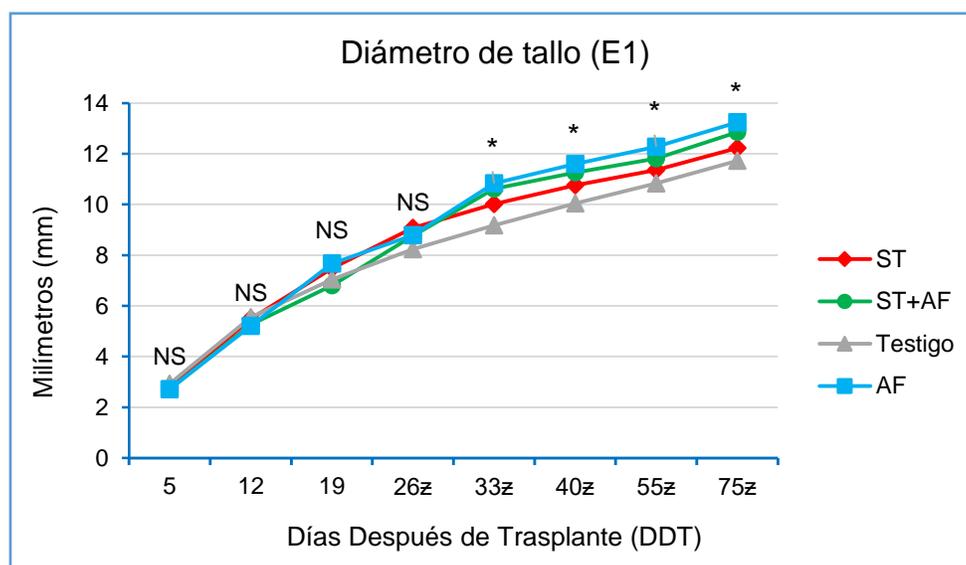
Días Después de Siembra (DDS)	Semilla del 2011		Semilla del 2016		CV (%)	Tukey P≤0.05
	Semilla tratada (cm) (T1)	Semilla sin tatar (cm) (T2)	Semilla tratada (cm) (T3)	Semilla sin tatar (cm) (T4)		
20	3.45	3.625	3.775	3.825	11.52	NS
28	3.9	3.975	4.55	4.325	11.98	NS
36	4.8525	4.975	5.325	5.7375	11.85	NS

NS: No significativo para cada columna.
Cada valor representa la media de 10 repeticiones.

4.2. Variables Vegetativas Evaluadas en E1 y E2

4.2.1. Diámetro de Tallo

Figura 10. Efecto de P-Ca en E1 sobre el diámetro del tallo principal en tomate bola var. Villa Narro



NS: No significativo y *: significativo con prueba tukey P≤0.05.

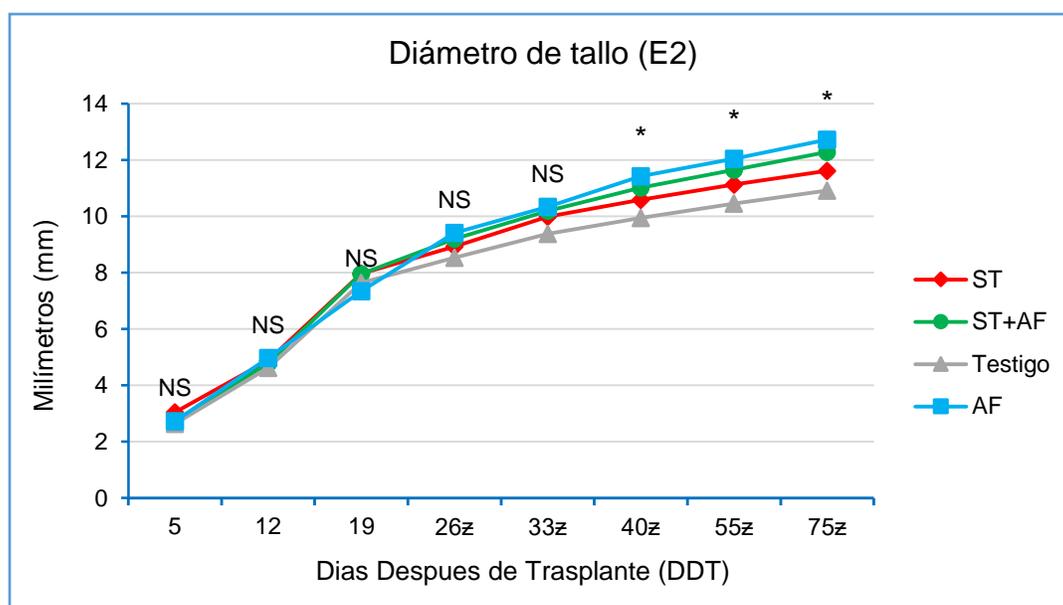
Cada punto representa la media de 7 repeticiones.

ST: Semilla tratada; ST+AF: Semilla tratada más aspersión foliar; AF: Aspersión foliar.

z: Datos tomados después del tratamiento AF.

En las plantas de E1, el diámetro final del tallo principal presentó diferencias significativa entre tratamientos (Figura 10), las medidas se comenzaron a tomar 5 DDT, posteriormente se realizó semanalmente por 4 semanas, después de las 4 semanas se tomaron a los 55 DDT y posteriormente a los 75 DDT, en las primeras tres semanas DDT no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos, en el día 33 DDT los mejores tratamientos fueron ST+AF y AF con 10.6143 mm y 10.8286 mm respectivamente, en seguida fue el tratamiento ST con 10.0143 mm. El testigo fue el de menor grosor con una diferencia de 1.6572 mm respecto al mejor tratamiento. En los 40, 55 y 75 DDT el mejor tratamiento fue el AF obteniendo a los 75 DDT una media de 13.2429 mm.

Figura 11. Efecto de P-Ca en E2 sobre el diámetro de tallo principal en tomate bola var. Villa Narro



NS: No significativo y *: significativo con prueba tukey con $P \leq 0.05$.

Cada punto representa la media de 7 repeticiones

ST: Semilla tratada; ST+AF: Semilla tratada más aspersión foliar; AF: Aspersión foliar.

z: Datos tomados después del tratamiento AF.

En E2, las tendencias entre tratamientos para el diámetro del tallo principal fue muy similar a las del E1 (Figura 11). A los 5, 12 y 19 DDT no se observaron diferencias significativas, posteriormente a partir del día 40 DDT la tendencia se mostró a favor de los tratamientos ST+AF Y AF, registrando los mayores diámetros del tallo con 11.0743 y 11.4286 mm respectivamente, sin embargo, en el diámetro final del tallo

destacó el tratamiento AF con una media de 12.7286 mm con una diferencia de 1.9143 mm respecto al testigo.

4.2.2. Longitud de Hojas (LH) y Número de Hojas (NH)

Para el número de hojas (NH) en el experimento 1 y 2 no se observó diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 8), pero en ambos experimentos se puede apreciar claramente una tendencia hacia los tratamientos ST+AF y AF los cuales presentaron un mayor número de hojas, de igual manera la longitud de hoja (LH) no mostró diferencias estadísticas (Cuadro 8), sin embargo, para esta variable se puede apreciar un notable incremento en las plantas testigo respecto a los demás tratamientos

Cuadro 8. Efecto de la aspersión de P-Ca sobre la longitud de hojas (LH) y número de hojas por planta (NH) en tomate bola var. Villa Narro

TRATAMIENTOS	Experimento 1		Experimento 2	
	LH	NH	LH	NH
	(cm)	(No.)	(cm)	(No.)
ST	30.571	31.8571	29.571	29.8571
ST+AF	30.286	33.0	30.571	31.1429
Testigo	32.786	31.2857	34.143	27.2857
AF	30.0	33.2857	29	31.8571
CV (%)	11.47	5.27	12.98	5.04
Tukey, P≤	NS	NS	NS	NS

NS: No significativo con prueba tukey $P \leq 0.05$.

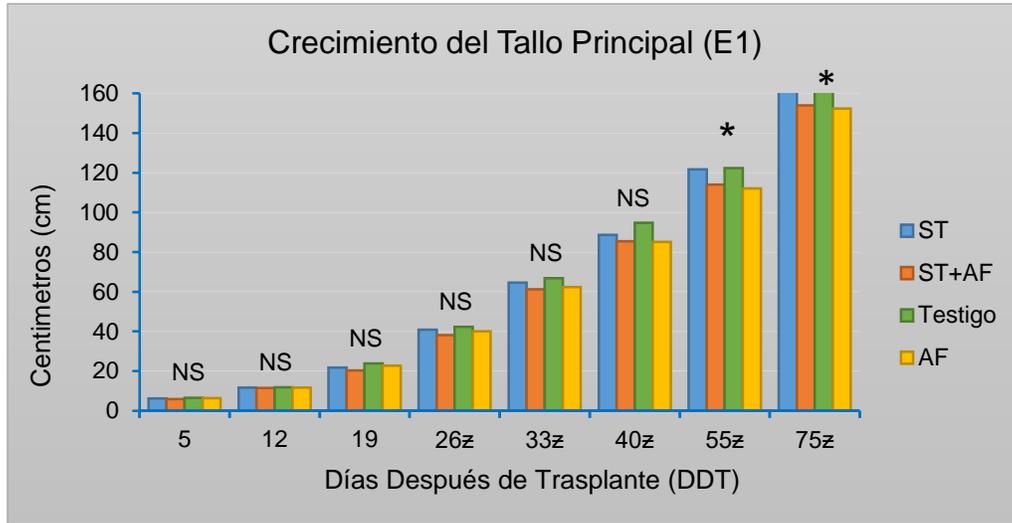
Cada valor representa la media de 7 repeticiones.

ST: Semilla tratada; ST+AF: Semilla tratada más aspersión foliar; AF: Aspersión foliar.

4.2.3. Crecimiento del Tallo Principal

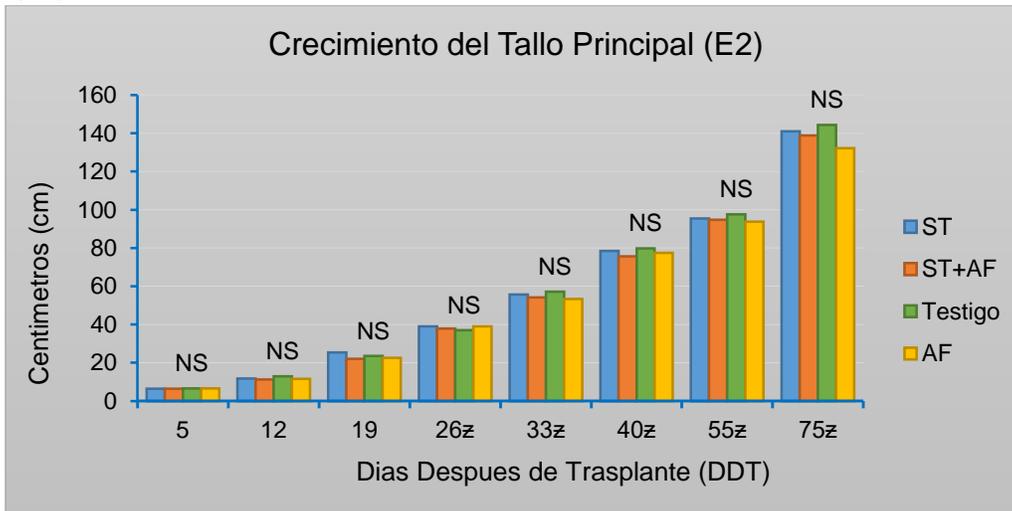
En el E1 el crecimiento del tallo principal mostró una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) a los 75 DDT (Figura 12), las diferencias numéricas se hicieron notar desde los 26 DDT, donde se puede apreciar una ligera tendencia de valores superiores al testigo

Figura 12. Efecto de P-Ca en E1 sobre el crecimiento del tallo principal en tomate bola var. Villa Narro



NS: No significativo y *: significativo con prueba tukey $P \leq 0.05$.
 Cada punto representa la media de 7 repeticiones.
 ST: Semilla tratada; ST+AF: Semilla tratada más aspersión foliar; AF: Aspersión foliar.
 z: Datos tomados después del tratamiento AF.

Figura 13. Efecto de P-Ca en E2 sobre el crecimiento del tallo principal en tomate bola var. Villa Narro



NS: No significativo con prueba tukey $P \leq 0.05$.
 Cada barra representa la media de 7 repeticiones.
 ST: Semilla tratada; ST+AF: Semilla tratada más aspersión foliar; AF: Aspersión foliar.
 z: Datos tomados después del tratamiento AF.

y al tratamiento ST respecto a los tratamientos ST+AF y AF, esta tendencia se sigue observando a los 40 y 55 DDT, hasta los 75 DDT se puede contemplar la diferencia significativa, observando una altura media de 168.857 cm en el testigo, mientras que el tratamiento AF presentó una altura media de 152.371 cm, obteniendo una

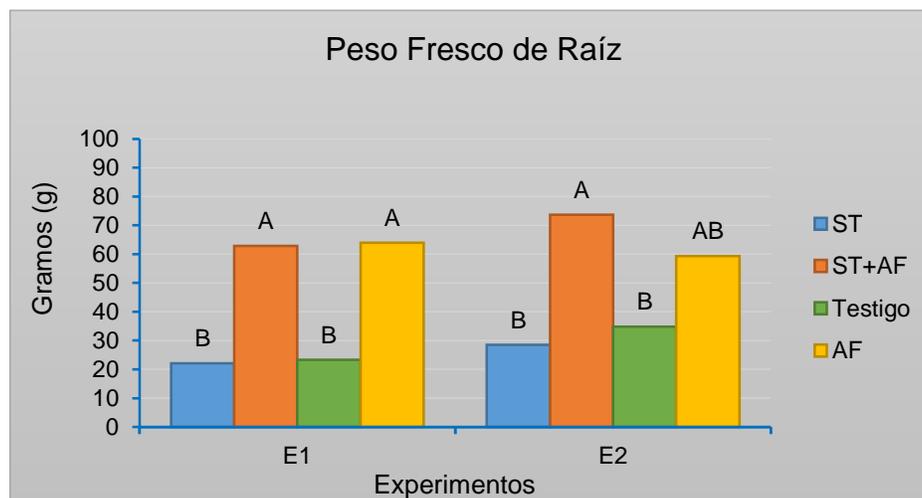
diferencia de 16.486 cm, lo cual indica que en el tratamiento AF se obtuvieron las plantas más compactas que las plantas testigo.

Mientras tanto en E2 no se presentaron diferencias significativas (Figura 13), sin embargo, a partir de los 33 DDT se puede observar una tendencia de valores menores a los tratamientos ST+AF y AF de acuerdo al tratamiento ST y al testigo.

4.2.4 Peso Fresco de Raíz

Para la variable de peso fresco de raíz se encontró diferencias altamente significativas ($P \leq 0.001$) entre los tratamientos E1 y E2 (Figura 14). Para E1 se registró un mayor peso fresco de raíz en los tratamientos ST+AF y AF con valores de 62.857 y 63.943 g respectivamente, mientras que el tratamiento ST y el testigo mostraron los pesos más bajos con 22.086 y 23.3 g respectivamente, el tratamiento AF fue el que registro el peso fresco más elevado con una diferencia de 40.643 g respecto al testigo.

Figura 14. Efecto de P-Ca en E1 y E2 sobre el peso fresco de raíz en tomate bola var. Villa Narro.



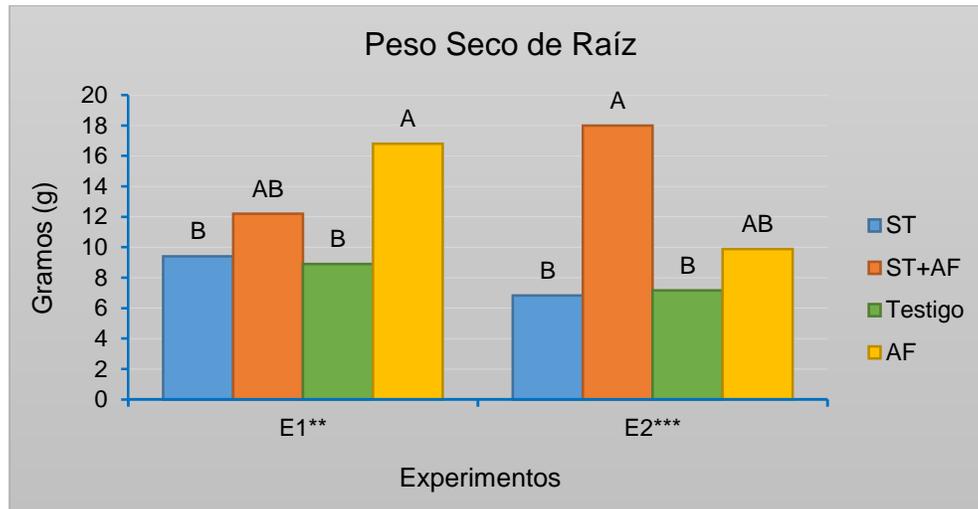
Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de tukey $P \leq 0.001$. Cada barra representa la media de 7 repeticiones.

ST: Semilla tratada; ST+AF: Semilla tratada más aspersión foliar; AF: Aspersión foliar.

En E2 mostró una diferencia altamente significativa (Figura 14), el tratamiento ST+AF obtuvo el valor más alto con 73.69 g, en seguida está el tratamiento AF con 59.3 g, posteriormente está el testigo con 34.76 g y el tratamiento con el menor valor fue ST el cual registro un peso promedio de 28.46 g, se obtuvo una diferencia de 38.93 g a favor del tratamiento ST+AF en comparación al testigo.

4.2.4. Peso Seco de Raíz

Figura 15. Efecto de P-Ca en E1 y E2 sobre el peso seco de raíz en tomate bola var. Villa Narro.



Valores con la misma letra son estadísticamente iguales, **: significativo $P \leq 0.01$ y ***: significativo $P \leq 0.001$ de acuerdo a la prueba de tukey.

Cada barra representa la media de 7 repeticiones.

ST: Semilla tratada; ST+AF: Semilla tratada más aspersión foliar; AF: Aspersión foliar.

El peso seco de raíz de igual manera que el peso fresco, presentó una diferencia altamente significativa ($P \leq 0.001$) en ambos experimentos (Figura 15), en E1 el tratamiento AF presentó un mayor peso seco de raíz con 16.8 g, el tratamiento ST+AF se encuentra en seguida con 12.2 g, posteriormente el tratamiento ST esta con 9.413 g y finalmente el testigo fue el que presentó un menor peso seco de 8.902, para E2 el tratamiento ST+AF fue el que sobresalió con el mayor peso seco con 17.986 g y el peor tratamiento para esta variable fue el ST, sin embargo el testigo fue el segundo tratamiento más bajo con 7.171 g obteniendo una diferencia de 10.815 g menos que el tratamiento ST+AF.

4.3. Variables Reproductivas Evaluadas en E1 y E2

4.3.1. Distancia entre Racimos (DR)

La distancia entre racimos (DR) mostró una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos en E1 y E2 (Cuadro 9), en E1 las plantas que presentaron una mayor distancia entre racimos fueron las del tratamiento ST con 28.389 cm, mientras que en E2 el testigo obtuvo el promedio más alto con 26.5 cm entre racimos, por otro lado en ambos experimentos el tratamiento AF registró las

distancias más cortas, en E1 con 23.355 cm y en E2 con 23.0 cm, en E1 se registró una diferencia de 3.05 cm y en E2 una de 3.5 cm entre el tratamiento AF y el testigo.

4.3.2. Número de Racimos por Planta (NR)

El número de racimos por planta (NR) no registró diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro 9), sin embargo se presentaron diferencias numéricas, en E1 el tratamiento AF presentó una media de 8.2857, el cual fue el tratamiento con el valor más alto respecto a los demás tratamientos y con una diferencia de 1.2857 respecto a la media del testigo que fue de 7.0. En E2 se presentaron diferencias numéricas y de igual forma se observa una tendencia del tratamiento AF al presentar una media mayor de racimos con 9.5714 mientras que el testigo obtuvo una media de 8.0, lo cual indica que hay una diferencia de 1.5714 entre el tratamiento AF y el testigo.

4.3.3. Número de Frutos por Planta (NFR)

En esta variable no se presentaron diferencias significativas (Cuadro 9), pero se pueden apreciar diferencias numéricas en ambos experimentos, el tratamiento que presentó una media con el mayor número de frutos fue el ST+AF con 16.786 y 13.9286 frutos en E1 y E2 respectivamente, el tratamiento que mostró el menor número de frutos fue el testigo en E1 con una media de 14.286 frutos y en E2 con 11.0713 frutos, registrando una diferencia numérica entre el tratamiento ST+AF y el testigo de 2.5 frutos en E1 y 2.8573 frutos en E2.

4.3.4. Número de Flores por Planta (NFL)

Para el número de flores por planta (NFL) se registraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0.05$) en ambos experimentos (Cuadro 9). En E1 el tratamiento AF produjo el mayor número de flores con una media de 53.143 flores y el tratamiento ST fue el que mostró el menor número de flores con una media de 42.143 flores, registrando una diferencia de 11 flores entre las medias del tratamiento AF y el testigo. En E2 el mejor tratamiento para esta variable fue el ST+AF con una media de 48 flores, el peor tratamiento fue el testigo, el cual presentó una media de 29.429 flores, mostrando una diferencia de 17.429 flores entre el testigo y el tratamiento ST+AF.

Cuadro 9. Efecto de P-Ca sobre la distancia entre racimos (DR), número de racimos por planta (NR), número de flores por planta (NFL) y número de frutos por planta (NFR) en tomate bola var. Villa Narro

TRATAMIENTOS	Experimento 1				Experimento 2			
	DR (cm)	NR (No.)	NFL (No.)	NFR (No.)	DR (cm)	NR (No.)	NFL (No.)	NFR (No.)
ST	28.389	6.857	42.14	15.0	24.03	8.285	36.0	10.892
ST+AF	26.405	7.714	50.71	16.78	23.25	8.857	48.0	13.928
Testigo	27.875	7.0	44.85	14.28	26.5	8.0	30.429	11.071
AF	23.355	8.285	53.14	15.89	23.0	9.571	40.42	11.25
CV (%)	11.8	18.08	14.16	25.98	9.36	13.71	20.59	19.5
Tukey, P≤	*	NS	*	NS	*	NS	*	NS

NS: No significativo y *: significativo con prueba de tukey $P \leq 0.05$.

Cada valor representa la media de 7 repeticiones.

ST: Semilla tratada; ST+AF: Semilla tratada más aspersion foliar; AF: Aspersion foliar.

4.4. Variables de Calidad de Fruto en E1 y E2

4.4.1. Sólidos Solubles Totales (SST)

Para esta variable se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en E1 y E2 (Cuadro 10), en donde el tratamiento ST+AF presentó una media con el valor más elevado con 6.011 % de SST y 6.184 % en E1 y E2 respectivamente, de igual manera el tratamiento que presentó el menor porcentaje fue el mismo para ambos experimentos, siendo el tratamiento ST con el menor porcentaje de 5.04 % de SST en E1 y con 4.92 % en E2. En E1 se registró una diferencia de 0.907 % entre las medias del tratamiento ST+AF y el testigo, mientras que en E2 se registró una diferencia de 1.264 %.

Cuadro 10. Efecto de P-Ca sobre los Sólidos Solubles Totales (SST), Firmeza, Diámetro Ecuatorial (DE) y Diámetro Polar (DP) en los frutos de tomate bola var. Villa Narro

TRATAMI ENTOS	Experimento 1				Experimento 2			
	SST (%)	Firmeza (Kg/cm ²)	DE (mm)	DP (mm)	SST (%)	Firmeza (Kg/cm ²)	DE (mm)	DP (mm)
ST	5.04	1.3629	65.75	51	4.92	1.36276	74.48	55.91
ST+AF	6.011	1.47535	69.225	53.64	6.184	1.4641	73.74	60.2
Testigo	5.46	1.33053	64.765	48.75	5.116	1.3558	73.265	54.27
AF	5.51	1.46856	69.43	54.13	5.996	1.43117	77.31	62.248
CV (%)	10.10	6.95	8.61	12.66	13.37	5.76	9.71	10.03
Tukey, P ≤	**	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS

NS: No significativo y **: significativo con prueba de tukey $P \leq 0.01$.

Cada valor representa la media de 7 repeticiones.

ST: Semilla tratada; ST+AF: Semilla tratada más aplicación foliar; AF: Aplicación foliar

4.4.2. Firmeza de Fruto

En E1 la firmeza del fruto no presentó diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro 10) mientras que en E2 si se registraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) (Cuadro 10), dónde el tratamiento que presentó el valor más alto fue el ST+AF con una media de 1.4641 Kg cm⁻² mientras que el tratamiento con el valor más bajo fue el testigo con una media de 1.3558 Kg cm⁻², siendo la diferencia entre ellos de 0.1083 Kg cm⁻².

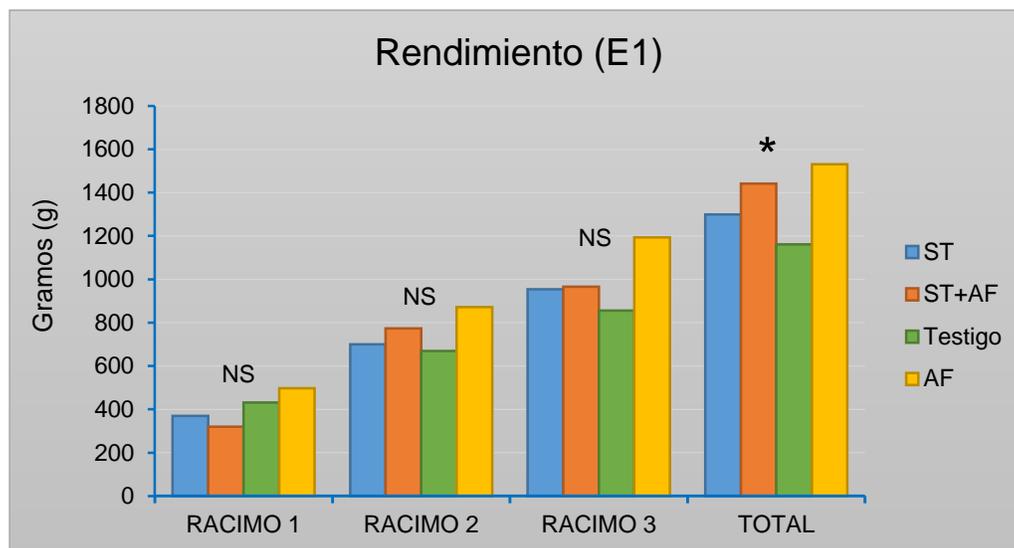
4.4.3. Diámetro Polar (DP) y Diámetro Ecuatorial (DE)

El diámetro polar (DP) y diámetro ecuatorial (DE) no mostraron diferencias significativas (Cuadro 10). Sin embargo, en el DE el tratamiento que presentó valores mayores fue el AF con 69.43 mm y 77.31 mm en E1 y E2 respectivamente, y el testigo presentó una tendencia a mostrar valores más bajos en ambos experimentos con 64.765 mm en E1 y 73.265 mm en E2, mientras tanto para el DP

tuvo la misma tendencia que el DE el tratamiento con valores más altos fue el AF y el testigo con los valores más bajos en los dos experimentos.

4.4.4. Rendimiento por Racimo y por Planta

Figura 16. Efecto de P-Ca en E1 sobre el rendimiento en tomate bola var. Villa Narro, en el racimo 1, 2, 3 y total.



NS: no significativo y *: significativo con prueba tukey $P \leq 0.05$

Cada barra representa la media de 7 repeticiones

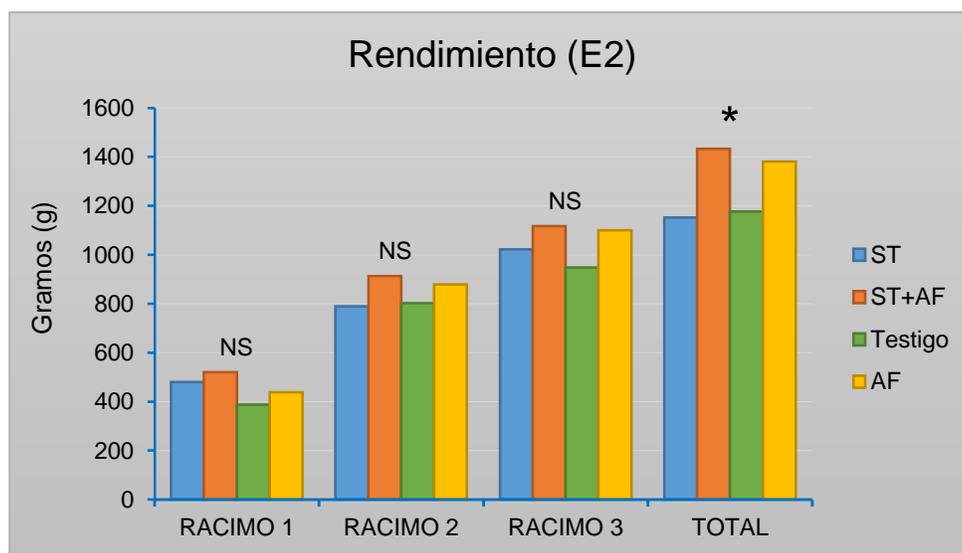
ST: Semilla tratada; ST+AF: Semilla tratada más aspersión foliar; AF: Aspersión foliar.

El rendimiento se evaluó con 4 racimos por planta, tres racimos fueron del tallo principal y un racimo del tallo secundario. En las Figuras 16 y 17 se puede apreciar el peso que obtuvo el primer racimo en ambos experimentos, posteriormente se fueron acumulando los pesos de los racimos hasta llegar al rendimiento total de los cuatro racimos evaluados, así se realizó para E1 y E2.

En el E1 el peso del primer racimo no mostró diferencias significativas (Figura 16) sin embargo, se pueden apreciar diferencias numéricas sobresaliendo el tratamiento AF con un peso de 497.6 g, en el segundo racimo 2 nuevamente no se mostraron diferencias significativas, sin embargo, numéricamente sobresalió el tratamiento AF con un peso acumulado en los dos racimos de 871.4 g, en seguida se puede apreciar con 773.4 g el tratamiento ST+AF, posteriormente se ubica con 700.4 g el tratamiento ST y finalmente se encuentra el testigo con 669.5 g, asimismo, en el peso acumulado del tercer racimo no se presentan diferencias

significativas aunque la tendencia se sigue mostrando a favor del tratamiento AF. En el rendimiento total se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) (Figura 16). El mejor tratamiento fue el AF con 1531.5 g, seguido por el tratamiento ST+AF con 1442 g, mientras que el de menor rendimiento fue el testigo, el cual presentó un valor total de 1161.5 g registrando una diferencia de 370 g menos que el tratamiento AF.

Figura 17. Efecto de P-Ca en E2 sobre el rendimiento en tomate bola var. Villa Narro, en el racimo 1, 2, 3 y rendimiento total.



NS: no significativo y *: significativo con prueba tukey $P \leq 0.05$

Cada barra representa la media de 7 repeticiones

ST: Semilla tratada; ST+AF: Semilla tratada más aspersion foliar; AF: Aspersion foliar.

Para el rendimiento del E2 se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) (Figura 17) en el rendimiento total. En el peso del primer racimo no se observaron diferencias significativas, sin embargo, al igual que en E1 se pueden encontrar diferencias numéricas, en este caso el tratamiento ST+AF fue el que registro el mayor peso del primer racimo con 520 g, la tendencia a presentar mayores valores en el peso acumulado del segundo y tercer racimo permaneció a favor del tratamiento ST+AF. El rendimiento total presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) (Figura 18), el tratamiento que mostró un mayor rendimiento fue el ST+AF con una media de 1432.5 g, en seguida se presentó con 1381 g el tratamiento AF, posteriormente está el testigo con una media de 1177.3 g y finalmente con una

media de 1152.4 g se encuentra el tratamiento ST. Se obtuvo una diferencia de 255.2 g entre el mejor tratamiento (ST+AF) y el testigo.

V. DISCUSIÓN

5.1. Porcentaje de Emergencia y Altura de Plántula en E0

Las hormonas vegetales, así como también las aplicaciones exógenas de los reguladores de crecimiento se utilizan para germinación de semillas, crecimiento y desarrollo de las plantas, actualmente los bioestimulantes no solo se están utilizando para un óptimo crecimiento y desarrollo de las plantas, sino que también se están empleando para aumentar rendimientos y/o aumentar la resistencia hacia algún factor biótico o abiótico (Senberga *et al.*, 2018). Diversos productos orgánicos y sintéticos influyen en el metabolismo y fisiología que estimula la inmunidad de las plantas ante diversas enfermedades fúngicas, bacterianas y a distintos factores ambientales (Nugmanova, 2017).

Según los estudios realizados, el retardante de crecimiento paclobutrazol presenta efecto sobre el crecimiento de las plántulas de tomate, geranio, caléndula (Pasian y Bennett, 2001) y col rizada (Pasian y Bennett, 2004); este efecto se presentó al preparar una solución con el retardante y posteriormente sumergir las semillas en la solución. Se cree que paclobutrazol se adhiere a las capas de la semilla y posteriormente cuando la semilla se siembra el retardante se mezcla con la solución del sustrato, lo que permite que posteriormente el retardante sea absorbido por la raíz de la planta y es así como causa efecto. P-Ca no puede tener el mismo mecanismo que paclobutrazol (Pasian y Bennett, 2004), puesto que según Rademacher (2006) P-Ca no es tan estable como otros retardantes de crecimiento, ya que tiene una vida media menor a 24 horas en un suelo microbially activo. Por lo anterior se deduce que molécula de P-Ca se descompone antes de que la semilla germine y emerja sin causar ningún efecto a la planta.

Con lo consultado de diversas publicaciones y los datos obtenidos en el E0 para el porcentaje de emergencia y altura de plántula, se deduce que el factor que tuvo efecto en este parámetro fue la antigüedad de la semillas mas no el tratamiento con P-Ca. Además uno de los objetivos de este trabajo fue definir el efecto de la imbibición de las semillas en solución con prohexadiona de calcio, mas no mostrar

el efecto de la antigüedad de la semilla, por lo que, se define que no hay diferencias estadísticas entre las semillas tratadas con P-Ca y las semillas sin tratar.

5.2. Altura y Diámetro de Tallo en E1 y E2

Los resultados obtenidos con la aplicación de P-Ca en el crecimiento y diámetro de tallo concuerdan con Rademacher (2000) quien menciona que al aplicar retardantes de crecimiento se obtienen plantas más pequeñas pero más gruesas, esto se ha comprobado en distintas investigaciones similares previas al presente trabajo. Por ejemplo, Ramírez *et al.* (2005) en dos híbridos de tomate saladette uno de habito determinado y otro de habito indeterminado, reportaron en ambos una disminución significativa del crecimiento y un incremento en su diámetro cuando se realizó una aspersión foliar con P-Ca a las plantas cuando alcanzaron 12 hojas verdaderas, sin embargo, un trabajo en tomate realizado por Ramírez *et al.*, (2010c) la aspersión foliar de P-Ca no mostró influencia en el diámetro del tallo pero si redujo la altura de las plantas cuando la aplicación de P-Ca se hizo al inicio de la floración, otro trabajo por Ramírez *et al.*, (2015) en chile jalapeño reportaron un aumento del diámetro del tallo y una disminución de la longitud del tallo con la aspersión foliar de P-Ca a una concentración de 175 mg L⁻¹ cuando presentaban 10 hojas verdaderas, por otro lado en Chile habanero (Ramírez *et al.*, 2016), mostraron que la aplicación de P-Ca redujo significativamente el diámetro de tallo a partir de la novena semana después de la aspersión foliar a una concentración de 50, 100 y 150 mg L⁻¹ y con dos aspersiones de 150 mg L⁻¹, logrando la reducción de la longitud de tallo de hasta un 52 % realizando la aplicación cuando las plantas presentaban los primeros primordios florares y la segunda 15 días después. En otras especies también se obtuvieron resultados similares, tal es el caso en garbanzo (Lokuruge *et al.*, 2015), en camote (Njiti *et al.*, 2013) y en arroz (Kim *et al.*, 2007).

Por otro lado en árboles frutales se ha conseguido la reducción de la longitud de brotes y ramas con aplicaciones de Prohexadiona de calcio a diferentes dosis y en diversas ocasiones, tal es el caso del Mango (Pérez *et al.*, 2016) con 2 y 3 aplicaciones a concentraciones de 500 mg L⁻¹, en Manzano (Ramírez *et al.*, 2003) con aspersiones foliares a dosis de 175 y 250 mg L⁻¹, en aguacate (Varas, 2006)

con aplicaciones de (Regalis®) al 0.2 y 0.5 % y en cerezo (Cline, 2017) con aspersiones de 61.5, 123 y 246 mg L⁻¹ en compañía con Etefon.

Con los datos recabados en este trabajo y en trabajos citados se reafirma que, prohexadiona de calcio inhibe la síntesis de giberelinas, las giberelinas son las hormonas endógena que se sintetizan en lugares que se encuentran en constante división crecimiento como en el ápice del tallo, su función es regular la división y elongación celular originando con ello entre otras funciones la elongación del tallo, los retardantes de crecimiento inhiben la síntesis de giberelinas en sus diferentes etapas, P-Ca actúa como imitador estructural del ácido 2-oxoglutarico bloqueando así a las dioxigenasas 3β-Hidroxilasas, lo cual impide realizar las hidroxilaciones en el carbono 3 de la estructura química de las giberelinas, bloqueando la conversión de GA20 a GA1 y GA9 a GA4 (GA1 y GA4 activas; GA20 y GA9 inactivas), el principal objetivo de P-Ca es inhibir la síntesis de giberelinas biológicamente activas y por ende aumenta las concentraciones de GA20 y de las demás GAs precursoras de las GAs activas (Rademacher, 2000; Rademacher, 2006; Yamaguchi, 2008; Azcón-Bieto y Talón, 2008; Kalra y Bhatla 2018).

Lo anterior ha sido comprobado por Ramírez et al., (2005), quienes en el ápice de plantas de tomate tratadas con P-Ca encontraron GA20 y GA12 (Giberelinas inactivas), mientras que en las plantas testigo mostraron la presencia de GA1, GA4 y GA7 (Giberelinas activas), Ramírez et al., (2015) obtuvieron resultados similares, en los ápices de plantas de Chile jalapeño tratadas con P-Ca se encontraron GA9, GA20 Y GA51, sin embargos en la plantas testigo se encontraron GA1, GA4 y GA7, lo mismo sucedió en un experimento con chile pimienta y tomate (Ramírez et al., 2008), en los ápices de las plantas asperjadas con P-Ca, en tomate se encontró solo GA20 y en chile pimienta GA20 y GA53, mientras que, en las plantas testigo de ambos cultivos se registró GA1, GA4 y GA7.

Se deduce que P-Ca tiene la capacidad de inhibir la conversión de GAs inactivas a GAs activas lo que provoca una merma en la elongación del tallo, lo que da como resultado plantas más cortas y más gruesas (Rademacher, 2000), además se

presentan entrenudos más cortos y por lo cual se producen más hojas pero estas presentan una disminución en su longitud.

Por lo regular los asimilados acumulados en la planta se destinan a los frutos pero en ausencia de frutos los asimilados pueden ser desviados hacia la raíz o engrosamiento tallo, ya que el tallo también es un importante sumidero de asimilados (Medjdoub, 2003).

Por otro lado las plantas que recibieron el tratamiento con P-Ca en semilla no mostraron efectos sobre la longitud y diámetro del tallo, esto no ha sido reportado anteriormente, sin embargo, se han realizado estudios similares con otros retardantes de crecimiento, en un trabajo realizado en tomate por Bennett *et al.*, (2001), donde las semillas se remojaron con paclobutrazol (Retardante de crecimiento) a 500 y 1000 ppm por 6 y 16 hrs., este retardante redujo la altura pero no tuvo efecto en el diámetro del tallo en estado de plántula, posteriormente un mes después del trasplante alcanzaron a las plantas testigo, por lo que ya no se observaron diferencias en la altura, experiencia similar obtuvo Ozgur (2011) quien presentó un experimento con semillas de pepino, donde las semillas recibieron un tratamiento de imbibición con una solución a 500 y 1000 ppm de paclobutrazol, daminozida y cloruro de cloromequato por 12 y 24 hrs., los resultados mostraron que paclobutrazol redujo significativamente la longitud del hipocótilo y epicótilo, logrando una reducción en la altura de las plántulas de hasta un 74 % al ser trasplantadas, mientras que el tratamiento con daminozida y cloruro de cloromequato no mostraron ningún efecto, otro experimento similar por Still y Pill (2003 y 2004), registraron que la aplicación de paclobutrazol en semilla de tomate tuvo influencia en el peso seco de la raíz y en la altura de las plántulas, además las plántulas tratadas con el retardante paclobutrazol presentaron una mayor tolerancia a la sequía y al estrés térmico, sus argumentos son que las plántulas tratadas presentaban mayor clorofila, lo que les ayudo a resistir mayormente el estrés, por otro lado Ugur y Kavak (2007) reportó que el tratamiento a semilla de tomate con PP 333 (Paclobutrazol) y CCC (Cycocel) a 500 y 1000 ppm no presentó ningún efecto sobre altura ni diámetro del tallo.

5.3. Longitud de Hojas y Número de Hojas por Planta en E1 y E2

Los resultados obtenidos con la aspersion de P-Ca en la longitud de hoja y el número de hojas por planta, son similares a lo reportado anteriormente por Ramírez *et al.* (2010c), donde reportaron en tomate saladette un aumento altamente significativo en el número de hojas por planta con la aspersion foliar de prohexadiona de calcio a una concentración de 175 y 250 mg L⁻¹, resultados similares se apreciaron en el cultivo de maracuyá donde Añes y España (2011), observaron que P-Ca a 250 mg.L⁻¹ provoco un aumento en el número de nudos con hojas y en cuanto a la longitud de ramas no se mostraron diferencias significativas pero se aprecia una tendencia con valores menores en plantas tratadas con P-Ca en relación al testigo. Datos contrarios se han reportado en manzano por Ramírez *et al.*, (2003), donde determinaron en dos diferentes cultivares de manzana la reducción del número de hojas por rama y la longitud de peciolo con la aplicación del retardante de crecimiento, lo mismo reportó Rademacher (2004) en distintos cultivares de manzana y pera.

La aspersion foliar de P-Ca a 50 ppm de manera foliar puede incrementar el número de hojas pero disminuye la longitud de las mismas.

5.4. Peso de Raíz en E1 y E2

El efecto de P-Ca sobre el peso fresco y seco de raíz ya ha sido previamente reportado por Herrera (2007) en tomate, se registró un incremento en el peso fresco de raíz de hasta un 50 %, en cambio en el peso seco no se presentaron diferencias significativas, asimismo Njiti *et al.*,(2013) realizaron un trabajo en cuatro cultivares de Camote (Beauregard, O'Henry, 'SC1149-19 y Puerto Rico), estos investigadores reportaron una diferencia significativa, obteniendo un mayor rendimiento con la aspersion foliar de Prohexadiona de Calcio a 810 mg de i.a./L⁻¹.

Los resultados obtenidos se respaldan con lo mencionado por Rademacher (2000), quien menciona que con la aplicación de retardantes de crecimiento los asimilados que estaban destinados al crecimiento vegetativo, a menudo se desplazan hacia las raíces, así mismo Njiti *et al.*, (2013) reportaron que la aplicación de P-Ca suprime el crecimiento vegetativo por lo que la planta tiene el potencial para enviar más

asimilados hacia la raíz. En el cultivo de camote se obtuvieron mayores rendimientos de raíz con la aplicación de P-Ca y la justificación es que el aumento de la producción de raíz se deben a que P-Ca modifico la distribución de asimilados y que en este caso el centro de asimilados fue la raíz (Njiti *et al.*, 2013).

Los tratamientos con P-Ca a semillas no muestran efecto sobre el peso fresco y peso seco de raíz.

5.5. Distancia Entre los Racimos; Número de Racimos, Flores y Frutos

Los efectos de P-Ca sobre estos parámetros han sido reportados previamente en chile habanero (Ramírez *et al.*, 2016) en donde, se aumentó el número de flores con diferentes dosis; por otro lado, se aumentó el número de frutos con dos aplicaciones a 50 ppm. En un experimento con híbridos de tomate saladette, uno de habito determinado y otro de habito indeterminado (Ramírez *et al.*, 2005), se registró un aumento en el número de frutos por planta en un híbrido de habito indeterminado y sin diferencias en el número de racimos por planta, mientras que, en el híbrido de habito determinado se obtuvo un mayor número de racimos por planta con la aplicación del bioestimulante. En otro trabajo en tomate (Herrera, 2007) se registró un aumento en el número de racimos por planta cuando la aplicación de P-Ca se realizó mediante aspersion foliar al inicio de la floración. En chile Mirador (Ramírez *et al.*, 2010a) favoreció el incremento en el número de flores y el porcentaje de cuajado de frutos con P-Ca, de igual manera en el cultivo de parchita (Añes y España, 2011) se registró un mayor número de botones florales con la aplicación de 250 mg/L de P-Ca. Asimismo la aplicación de prohexadiona-ca en árboles frutales como manzano (Ramírez *et al.*, 2003) en los cultivares “Royal Gala” y “Golden Delicious” incrementó el número de frutos por planta y en mango “Ataúlfo” (Pérez *et al.*, 2016) aumentó el número de inflorescencias e incremento el número de frutos por inflorescencia.

Los resultados obtenidos de la aspersion foliar con prohexadiona de calcio, en el incremento significativo del número de flores y número de racimos por planta registrados en este trabajo, fueron similares a los obtenidos en distintos trabajos citados, por lo que se afirma lo publicado por Rademacher (2000), quien menciona

que las plantas tratadas con retardantes de crecimiento como P-Ca presentan efectos secundarios, uno de los efectos más destacados es que los asimilados que eran destinados al crecimiento vegetativo, frecuentemente se desplazan hacia las raíces y por lo que se sabe, las raíces son un sitio muy importante para la fabricación de las citoquininas que posteriormente se translocan hacia la parte aérea de la planta y se traducen en órganos reproductivos, esto indica que la aplicación de P-Ca en las plantas incrementa una mayor concentración de citoquininas (Rademacher, 2000). El contenido de citoquininas endógenas promueve la formación de flores (Azcón-Bieto y Talón, 2008), esto se ha demostrado en tomate saladette (Ramírez *et al.*, 2005) donde se identificó en el ápice de las plantas un aumento de citocininas endógenas en especial zeatina con la aplicación de P-Ca. La zeatina es la citocinina que tiene mayor actividad biológica (Barnes, 2014).

EL efecto de P-Ca en las plantas depende del momento de la aplicación, puesto que al inhibir la semilla con el bioestimulante no tiene efecto en estas variables, sin embargo, la aspersion foliar si presenta un efecto positivo en las plantas tratadas.

5.6. Sólidos Solubles Totales (SST), Firmeza, Diámetro Polar (DP) y Diámetro Ecuatorial (DE)

En diferentes trabajos se ha reportado que P-Ca tiene efecto en estas variables, por ejemplo, en dos híbridos de tomate saladette uno de habito indeterminado y otro con habito indeterminado (Ramírez *et al.*, 2005) tratadas con P-Ca mediante una aplicación foliar cuando las plantas tenían alrededor de 12 hojas, en el híbrido con habito indeterminado se registró un incremento significativo en sólidos solubles totales (°Brix), mientras que en la firmeza y radio (longitud/diámetro) no presentó diferencias significativas, por otro lado el híbrido de habito determinado mostró un aumento en la firmeza pero no tuvo efecto en sólidos solubles totales y radio (longitud/diámetro) del fruto. En otro estudio en tomate (Herrera, 2007) la aplicación foliar del bioestimulante aplicado cuando las plantas presentaban los primeros primordios florales, alteró el radio del fruto incrementándolo de manera significativa. En algunos cultivos de árboles frutales también se presentan efectos en estos parámetros al realizar aplicaciones con P-Ca, tal es el caso en manzano (Ramírez *et al.*, 2006) en donde P-Ca disminuyó los sólidos solubles totales e incremento la

firmeza del fruto, en el cultivo de vid (Ramírez *et al.*, 2017) se aumentó el diámetro polar pero no tuvo efecto en el diámetro ecuatorial, en aguacate “Hass” (Varas, 2006), tampoco se mostró ningún efecto significativo en el diámetro polar y ecuatorial. En cerezo Guak *et al.*, (2005) reportaron un aumento en la firmeza del fruto pero no tuvo efecto en los sólidos solubles totales; y en manzano, Szot *et al.*, (2016) reportarán un aumento en el tamaño de los frutos al asperjar P-Ca en conjunto con GA₄₊₇.

Los aumentos o disminuciones en SST, Firmeza, DP y DE, con la aplicación de P-Ca se pueden atribuir a efectos secundarios como el aumento de asimilados (Rademacher, 2000), acumulación de carbono, clorofila y la forma, distribución y concentración de carbohidratos (Medjdoub, 2003), los frutos pueden ser beneficiados por la mayor disponibilidad de asimilados (Herrera, 2007).

En diversos estudios se ha registrado que el retardante de crecimiento P-Ca ha tenido influencia en SST, Firmeza, DE y DP, los resultados pueden ser variados ya que el efecto de este bioestimulante depende de la especie, momento y dosis de aplicación, en este trabajo podemos apreciar que el tratamiento a semilla no provoca efectos en estas variables, sin embargo, la aspersion foliar en la etapa juvenil con una dosis de 50 ppm tuvo efecto en la concentración de SST.

5.7. Rendimiento

El aumento del rendimiento con la aspersion foliar de prohexadiona de calcio en este trabajo se puede respaldar con lo que menciona Medjdoud (2003). El uso de inhibidores de crecimiento tienen efectos secundarios que pueden ser favorables a los intereses agronómicos de cada cultivo, Ramírez *et al.*, (2006) mencionan que la aplicación de P-Ca en manzano tiene un efecto en disminuir el crecimiento vegetativo, por lo que cambia el destino de los asimilados aumentando la formación de yemas florales y a cambio obtener más frutos por planta lo que provoca un incremento en la producción, lo mismo discuten Dal Cin *et al.*, (2005) P-Ca reduce el crecimiento vegetativo en diferentes cultivos hortícolas, lo que causa que los asimilados destinados para ese crecimiento que han sido inhibidos puedan ser translocados hacia la formación de frutos, esto se ha podido comprobar con los

resultados obtenidos en distintos cultivos por diferentes autores. Ramírez *et al.*, (2005) en dos híbridos de tomate saladette al aplicar P-Ca por aspersión foliar, provocaron un incremento en el número de frutos, un aumento en el peso de los mismos y por ende incrementaron los rendimientos por planta. En chile jalapeño (Ramírez *et al.*, 2015) aumentaron el rendimiento un 15 %, en chile habanero (Ramírez *et al.*, 2016), las aplicaciones de P-Ca a 50, 100, 150, 50x2, 100x2 y 150x2 mg L⁻¹ mejoraron el rendimiento, aunque el mejor resultado se obtuvo con una aspersión foliar a 150 mg L⁻¹ y en chile mirador (Ramírez *et al.*, 2010) P-Ca tuvo efecto positivo en el rendimiento con la aspersión foliar solo o en combinación con otros bioestimulantes.

Por otra parte la aplicación de prohexadiona de calcio también tuvo influencia en los rendimientos de algunos árboles frutales, tal es el caso en mango "Ataulfo" (Pérez *et al.*, 2016) con dosis de 500x, x2 y x3. En vid (Ramírez *et al.*, 2017) se mejoró el rendimiento con aplicaciones de 300 mg L⁻¹. En pera (Einhorn *et al.*, 2014) se obtuvieron mejores rendimientos con la aplicación de P-Ca combinado con Etefon y; en manzano (Ramírez *et al.*, 2003) se aumentó la producción por árbol con 125, 175 y 250 mg L⁻¹.

Con los resultados obtenidos en este trabajo y en otros referidos se afirma lo que menciona Rademacher (2000), la aplicación del bioestimulante brinda una mayor translocación de asimilados hacia los frutos, además Lokuruge *et al.*, (2015) argumentan que P-Ca tiene el potencial de controlar el crecimiento vegetativo y aumenta la participación de los asimilados hacia el desarrollo de órganos de interés agronómico.

Por otro lado Bennett *et al.*, (2001), sometieron a remojo semilla de tomate con una solución del retardante de crecimiento paclobutrazol a concentraciones de 500 y 1000 ppm por 6 y 16 horas en remojo, donde reportaron que ni las concentraciones ni la duración del remojo tuvo influencia alguna en el rendimiento de las plantas.

La aspersión foliar de 50 ppm de P-Ca tiene efecto positivo en el rendimiento, sin embargo, la aplicación a semilla con la misma concentración no tiene influencia alguna en esta variable.

VI. CONCLUSIÓN

Con el tratamiento de P-Ca a semilla y planta de tomate bola cultivar Villa Narro, bajo las condiciones en las que se realizó este estudio se concluye lo siguiente:

1. Las plantas tratadas con la aspersión foliar de P-Ca a una concentración de 50 ppm (T4=AF) en los experimentos 1 y 2, numéricamente aumento el número de racimos, numero de hojas y disminuyo la longitud de hojas; además, con diferencias significativas aumentó el diámetro de tallo, peso fresco y seco de raíz, número de flores, sólidos solubles totales de fruto y rendimiento total, también provocó un decremento significativo en el crecimiento del tallo. Por otro lado, en el número, firmeza, diámetro polar y diámetro ecuatorial de los frutos no se registró efecto alguno.
2. La imbibición de las semillas en solución con P-Ca a 50 ppm durante 18 hrs., en el E0 (T1 y T3) no causo ningún efecto en el porcentaje de emergencia ni en la altura de plántula, del mismo modo en E1 y E2 el tratamiento con semilla tratada (ST) no presentó efecto alguno.
3. En E1 y E2 las plantas que recibieron en conjunto el tratamiento de imbibición a semilla y la aspersión foliar (T2=ST+AF), en todas las variables evaluadas obtuvieron resultados similares a las plantas que solo recibieron el tratamiento con aspersión foliar (T4=AF), por lo que se deduce que, los efectos que se presentaron en las plantas del tratamiento ST+AF fueron causados por la aspersión foliar, puesto que el tratamiento de imbibición a la semilla no causo ningún efecto sobre los parámetros evaluados.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro D. 2008.** Curso Sistema de producción de granos básicos. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Santa Clara. San Carlos.
- Alpini A. 1999.** Cultivos en invernadero. 3a Edición. Mundi-prensa, Madrid, España.
- Anderlini, R. 1970.** El cultivo del tomate. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- Añes M. Q. y España R. M. 2011.** Efecto de prohexadiona de calcio y boro sobre variables vegetativas y reproductivas en parchita (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deneger). Rev. Unell. Cienc. Tec. 29:54-58.
- Arcy W. G. 1979.** The clasification of the Solanaceae. En: "Hawkes, J. G.; Lester, R. N.; Skelding, A. D. (Eds). The Biology and Taxonomy of the Solanaceae. Academic Press, New York & London" 3-47 pp.
- Azcón-Bieto y Talón M. 2008.** Fundamentos de la Fisiología vegetal. Azcón-Bieto J. y Talón M. 2^{da} edición, McGraw-Hill Interamericana de España S.L. Publicacions I Edicions de la Universitat de Barcelona 651 pp.
- Baldwin E. A., Goodner K. and Plotto A. 2008.** Interaction of volatiles, sugars and acids on perception of tomato aroma and flavor descriptos. J Food Sci. 73:294-S307.
- Barceló Coll J., Nicolás Rodrigo G., Sabater García B. y Sánchez Tamés R. 2007.** Fisiología Vegetal. Ed. Pirámide, Madrid. 566 pp.
- Barnes H. William. 2014.** Gibberellins and Cytokinins: a Review©. Barnes Horticultural Services LLC, 2319 Evergreen Ave. Warrington, Pennsylvania 18976, USA. 323-336 pp.
- Benavides M. 2010.** Desventaja de los injertos. Guaranda: Andina.
- Bennett Mark A., Grassbaugh Elaine and Hoeflich Matt. 2001.** The Ohio State University/OARDC Columbus, OH 43210. 2 pp.
- Beresniewicz M. M., Taylor A. G., Goffinet M.C. and Koeller W.D. 1995.** Chemical nature of a semipermeable layer in seed coats of leek, onion (Liliaceae), tomato and pepper (Solanaceae). Seed Sci. & Technol. 23:135-145.
- Bidwell R. G. S. 2008.** Capítulo 23: Acción de las hormonas y reguladores del crecimiento, Fisiología vegetal. 1^{ra} edición en español. A.G.T. Editor, S.A. 599-628 pp.
- Carravedo M. 2005.** Variedades autóctonas de tomate de Aragón. Ed. Centro de investigación de Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). Gobierno de Aragón. Zaragoza. ISBN: 84-7753-436-5.
- Casanova A. S., Gómez O., Pupo F., Hernandez M., Chilloux M., Depestre T., Hernández J. C., Moreno V., León M., Igarza A., Duarte C., Jiménez I., Santos**

R., Navarro A., Marrero A., Cardoza O., Piñeiro F., Arozarena N., Villarino L., Hernández M. T., Salgado J. M., Socorro A., Cañet F., Rodríguez A. y Osuna A. 2007. Producción protegida de plántulas de tomate. Manual para la producción protegida de hortalizas. Ministerio de la Agricultura. IIH “Liliana Dimitrova”, La Habana, Cuba. 138 pp.

CATIE. 1990. (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de tomate. Turrialba. Costa Rica. 58 pp.

Causse M., Friguet C., Coiret C., Lépiciér M., Navez B., Lee M., Holthuysen N., Sinesio F., Moneta E. y Grandillo S. 2010. Consumer preferences for fresh tomato at the European scale: a common segmentation on taste and firmness. *J. Food Sci.*, 75(9):532-541 pp.

Cline J.A. 2017. Prohexadione-Ca and ethephon suppress shoot growth of sweet cherry [*Prunus avium* (L.) L.]. *Can. J. Plant Sci.* 97:601–609 pp.

Collins 2009. Lombriz de tierra: Una fuente de concentrado para la ganadería. Bogotá: Boletín agropecuario.

Colombo M. H. y Obregón R. 2008. Horticultura general. Consideraciones del cultivo del tomate y manejo. INTA-Estación Experimental Agropecuaria “Bella Vista”. Centro Regional Corrientes. Publicación Técnica N° 24. ISSN 1515-9299.

Cossio Leandro. 2013. Reguladores de crecimiento, Catedra de fisiología vegetal. Departamento de biología, área de botánica. Profesorado y licenciatura en Biología, FaCENA, UNNE.

Dal Cin V., Danesin M., Boschetti A., Dorigoni, A., and Ramina A. (2005). Ethylene biosynthesis and perception in apple fruitlet abscission (*Malus domestica* L. Borck). *J. Exp. Bot.* 56 (421):2995–3005.

Einhorn Todd C., Mateus S. Pasa and Janet Turner 2014. ‘D’Anjou’ Pear Shoot Growth and Return Bloom, but Not Fruit Size, Are Reduced by Prohexadione-Calcium. *HortScience* 49(2):180–187.

Elizondo Villalobos J. A. 2010. Evaluación de Prohexadione-ca, trinexapac etil, ácido 2-(cloroetil) fosfónico y extracto de plantas y mezclas de bacterias sobre la biomasa y rendimiento del arroz (*Oryza sativa*) variedad cer-09. Trabajo final de graduación presentado a la Escuela de Agronomía como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía. 78 pp.

Estrada D. I. 2017. Estudio de la estabilidad en Líneas Avanzadas en proceso de registro de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Tipo Beef Extra Firmes Bajo Agricultura Protegida en la Región del Altiplano Potosino. TESIS. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Dept. de Horticultura. 57 pp.

- Euita.upv. 2003.** Fitoreguladores Parte III. Tema 14. Citado el 10/03/2019 en: http://www.euita.upv.es/varios/biologia/temas/tema_14
- Evans J.R., Evans R.R., Regusci C.L. and W. Rademacher 1999.** Mode of Action, Metabolism, and Uptake of BAS 125W, Prohexadione-calcium. HortScience, VOL. 34(7):1200-1201.
- Falcón R. 2014.** Comportamiento agronómico y valor nutricional de las hortalizas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) con dos tipos de fertilizantes orgánicos en el centro experimental “La Playita” UTC- La Maná. Tesis de Ingeniero Agrónomo, Universidad Técnica de Cotopaxi, Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, La Maná.
- FAO, 2019.** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAOSTAT. Consultado el 14/04/2019.
- FIRA, 2019.** Tomate Rojo, Panorama Agroalimentario, Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 25 pp.
- Frusciante L, Carli P, Ercolano Mr, Pernice R, Di Matteo A, Fogliano V, Pellegrini N (2007).** Antioxidant nutritional quality of tomato. Mol Nutr Food Res. 51:609–617.
- Giacomelli L., MasueroD., Vrhovsek U., Werhens R., Rota O. and Moser C. 2017.** Gibberellin metabolism in grapevine during bloom and fruit-set. Acta Hortic. ISHS 1157:277-282.
- Gómez O., Casanova A., Cardoza H., Piñeiro F., Hernández J. C., Murguido C., León M. y Hernández A. 2010.** Guía Técnica para la producción del cultivo del tomate. Editora Agroecología. Biblioteca ACTAF. IIH “Liliana Dimitrova”, La Habana, Cuba.
- Graebe J. E. 1987.** Gibberellin biosynthesis and control. Annu. Rev. Plant Physiol 38: 419-465.
- Guak, S., Beulah, M., and Looney, N.E. 2005.** Controlling growth of sweet cherry trees with prohexadione-calcium: Its effect on cropping and fruit quality. Acta Hortic. 667:433–438.
- Hernández C. S. 2011.** Producción de tomate en diferentes granulometrías de “tezontle”. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados “Campus Montecillo”, Texcoco, Estado de México, 107 pp.
- Herrera G. B. 2007.** Prohexadiona-Ca modifica parámetros hortícolas, actividad enzimática y antioxidantes totales en tomate y chile pimiento. Tesis para obtener el grado de: Maestro en Ciencias en Ingeniería de Sistemas de

Producción. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” programa de graduados. 92 pp.

Herrera H. J., Hurtado-Salazar A y Ceballos-Aguirre N. 2015. Estudio técnico y económico del tomate tipo cereza élite (*Solanum lycopersicum* L. var. cerasiforme) bajo condiciones semicontroladas. Rev. Colomb. Cienc. Hortic. Vol. 9(2) 290-300 pp.

Hidalgo P. 2013. Cultivo tropicales de ciclo corto. La Paz: Bolivariana.

Iglesias J. D. y Talón M. 2008. Capítulo 20: Giberelinas, Fundamentos de la Fisiología vegetal. Azcón-Bieto J. y Talón M. 2^{da} edición, McGraw-Hill Interamericana de España S.L. Publicacions I Edicions de la Universitat de Barcelona 399-420 pp.

infoAgro 2019. El cultivo del Tomate. Citado el 20/02/2019 en <http://www.infoagro.com/hortalizas/tomate.htm>

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP-SAGARPA). 2012. Guía para cultivar jitomate en condiciones de malla sombra en San Luis Potosí. Folleto Técnico No. MX-0-310305-49-03-17-09-44.

INTA 1999 (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). Cultivo de tomate. Guía tecnológica del tomate. ed. Henner Obregón N° 22 Managua, Nicaragua. 55 pp.

INTA 2004. (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) Manejo Integrado de Plagas en tomate, Managua, Nic. 1^{ra} ed. La prensa, Managua, Nicaragua. 6 pp.

INTAGRI 2018. Curso Técnico-Intensivo en Hormonas Vegetales y Reguladores de Crecimiento por Thomas Fichet Lagos. Citado el 10/03/2019 en <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/biosintesis-de-las-fitohormonas-y-reguladores-de-crecimiento>.

Jaillais Y., and Chory J. 2010. Unraveling the paradoxes of plant hormone signaling integration. Nat Struct Mol Biol 17, 642-645.

Jankiewicz L. 2003. Reguladores del crecimiento, desarrollo y resistencia en plantas. Tomo I. Propiedades y acción. Ediciones MundiPrensa. México. 487 pp.

Jordán Miguel y Casaretto José. 2006. Capítulo XV Hormonas y Reguladores del Crecimiento: Auxinas, Giberelinas y Citocininas. Fisiología Vegetal (F.A. Squeo & L. Cardemil, eds.). Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile 15:xx-xx.

- Kalra Geetika and Bhatla Satish C. 2018.** Springer Nature Singapore Pte Ltd. 617-628 pp.
- Kim H. Y., Lee I. J., Hamayun M., Kim J. T., Won J. G., Hwang I. C. and Kim K. U. 2007.** Effect of Prohexadione Calcium on Growth Components and Endogenous Gibberellins Contents of Rice (*Oryza sativa* L.). *J. Agronomy & Crop Science* 193:445-451.
- Kobayashi M, MacMillan J, Phinney B, Gaskin P, Spray CR, Hedden P. 2000.** Gibberellin Biosynthesis: metabolic evidence for three steps in the early 13-hydroxylation pathway of rice. *Phytochemistry* 55(4):317-321.
- Lokuruge Prabhath, Tar'an Bunyamin, Harms Ted, Howard Ron and Bandara Manjula. 2015.** Effect of prohexadione calcium on vegetative growth, seed maturity and seed yield of the (*Kabuli chickpea*) cultivar CDC Frontier. *Can. J. Plant Sci.* 95:571-578.
- Marjorie Allende C., Luis Salinas P., Fernando Rodríguez A., Natalia Olivares P., Jorge Riquelme S. y Alejandro Antúnez B. 2017.** Manual de cultivo del tomate bajo invernadero. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Boletín INIA N° 12 ISSN 0717 – 4829 111 pp.
- Medjdoub Ratiba. 2003.** Evaluación del prohexadione-Ca para el control del crecimiento en manzano: efectos agronómicos y fisiológicos. Tesis Doctoral. Universitat de Lleida Estación Experimental de Aula Dei. 225 pp.
- Nakayama, I., T., Miyazawa, M., Kobayashi, Y., Kamiya, H., Abe, A., Sakurai. 1990.** Effects of a new plant growth regulators, prohexadione-calcium (BX-112), on shoot elongation caused by exogenously applied gibberellins in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Plant Cell Physiology.* 31:195-200.
- Njiti Victor N., Xia Qun, Tyler Leonna S., Stewart Lakeisha D., Tenner Antione T., Zhang Chunquan, Alipoe Dovi, Chukwuma Franklin and Gao Ming. 2013.** Influence of Prohexadione Calcium on Sweetpotato Growth and Storage Root Yield. *HortScience* 48(1):73–76.
- Noreña J. J., Rodriguez P. V., Guzmán A. M. y Zapata M. A. 2006.** Centro de Investigación La Selva Rionegro, Antioquia, Colombia (CORPOICA). El cultivo de tomate bajo invernadero (*Lycopersicon esculentum*. Mill). 48 pp.
- Nuez Fernando. 1995.** El cultivo de tomate. Ed. Mundiprensa. Madrid. 224 pp.
- Nugmanova, T. 2017.** Biopreparations for the production of environmentally safe food – Part I. *Ecological Engineering and Environment Protection* 2:63–69.
- Ozgur M., 2011.** growth control in cucumber seedlings by growth regulators application. *Bulgarian Journal of Agricultural Science.* 17 (1):99-106.

- Pasian C.C. and Bennett M. A. 2001.** Paclobutrazol Soaked Marigold, Geranium, and Tomato Seeds Produce Short Seedlings. Department of Horticulture and Crop Science, The Ohio State University, Fyffe Court, Columbus, OH 43210 721-723 pp.
- Pasian C.C. and Bennett M.A. 2004.** Paclobutrazol Soaked Ornamental Kale Seeds Produce Short Seedlings. *Acta Hort.* ISHS 631:149-153.
- Pérez B. M. H., Osuna E. T., Avitia G. E., Gutiérrez E. M. A., Santiago C. M., Ramírez H. y Cano M. R. 2016.** Prohexadiona de calcio reduce crecimiento vegetativo e incrementa brotación floral en mango Ataulfo. *Rev. Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(2):263-276.
- Peter A. 2011.** Nuevas tecnologías de cultivos. Quito: Prolipa.
- Phinney B. O. 1983.** The history of gibberellins. In: *The Biochemistry and Physiology of Gibberellins*, ed. Crozier, A., New York: Praeger Publishers 19-52 pp.
- Pindo D. 2013.** Determinación del efecto y rentabilidad de tres tipos de abonos orgánicos en el cultivo de tomate de mesa (*Solanum Lycopersicum*) variedad Elpida bajo condiciones de invernadero en el cantón Chilla provincia de EL Oro. Tesis de Ingeniero en Administración y Producción Agropecuaria, Universidad Nacional de Loja , Modalidad de Estudios a Distancia , Loja .
- PunChem. 2007.** Prohexadione-calcium. National Center for Biotechnology Information 8600 Rockville Pike, Bethesda, MD, 20894 USA. Citado el 25/02/2019 en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Prohexadione-Calcium#section=Information-Sources>
- Rademacher W. 2000.** Growth Retardants: Effects on Gibberellin Biosynthesis and Other Metabolic Pathways. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 51:501-531.
- Rademacher W., Spinelli F. and Costa G. 2006.** Prohexadione-Ca: Modes of action of a multifunctional plant bioregulator for fruit 84res. *Acta Hort.* 727:97-106.
- Rademacher W., Temple-Smith K. E., Griggs D. L. and Hedden P. 1992.** The mode of action of acylcyclohexanediones – a new type of growth retardant. In: *Progress in Plant Growth Regulation*, Karssen, C.M., van Loon, L.C. and Vreugdenhil, D. (eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 571-577 pp.
- Rademacher W., van Saarloos K., Garuz Porte J. A., Riera Forcades F., Senechal Y., Andreotti C., Spinelli F., Sabatini E. and Costa G. 2004.** Impact of prohexadione-Ca on the vegetative and reproductive performance of 84res84 and pear 84res. *Eur. J. Hort. Sci.* 69:221-228.

- Radley M. 1956.** Occurrence of substances similar to gibberellic acid in higher plants. *Nature* 178:1070-1071.
- Ramírez H, Alonso S, Benavides A. 2006.** Prohexadione-ca modifies growth and endogenous hormones in the shoot apex in apple trees. *Acta Hort. ISHS* 727:117-124.
- Ramírez H., Alvarez-Maldonado V. M., Aguilar C. N., Jorge Enrique Wong-Paz J. E., Zermeno-González A., Vázquez-Badillo M. E., Zavala-Ramírez M. G., Joaquin Mendoza-Castellanos J. 2017.** La prohexadiona-ca aumenta rendimiento y contenido de antioxidantes en vid cultivar shiraz. *Esosist. Recur. Agropec.* 4(10):13-20.
- Ramírez H., Amado-Ramírez C., Benavides-Mendoza A., Robledo-Torres V. y Martínez-Osorio A. 2010a.** Prohexadiona-Ca, AG3, ANOXA y BA modifican indicadores fisiológicos y bioquímicos en chile Mirador. *Rev. Chapingo Serie Horticultura* 16(2):83-89.
- Ramírez H., Camacho-Chávez V. M., Ramírez-Pérez L. J., RancañoArrijo J. H., Sepúlveda-Torre L. y Robledo-Torres V. 2015.** La prohexadiona-Ca provoca cambios en el crecimiento vegetativo, giberelinas, rendimiento y luteolina en chile jalapeño. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 2(4):13-22.
- Ramírez H., Gómez-Castañeda J., Benavides-Mendoza A., Robledo-Torres V., Encina-Rodríguez L. y Coello-Coutiño C. 2003.** Influencia de Prohexadiona–Ca sobre crecimiento vegetativo, producción y calidad de fruto en manzano. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 9(2):279-289.
- Ramírez H., Herrera-Gámez B., Benavides-Mendoza A., Rancaño-Arrijo J. H., Álvarez-Mares V., Amado-Ramírez C. y Martínez-Osorio A. 2010c.** Prohexadiona de Calcio incrementa la capacidad antioxidante, el contenido de licopeno y la actividad enzimática en frutos de tomate Floradade. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 16(3):155-160.
- Ramírez H., Herrera-Gámez B., Méndez-Quiroa Y. H., Benavides-Mendoza A., Álvarez-Mares V., Rancaño-Arrijo J. H. y Villareal-Quintanilla J. A. 2008.** Prohexadiona de calcio disminuye el contenido de giberelinas endógenas en ápices de tomate saladette y chile pimiento. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 14(2):193-198.
- Ramírez H., Leza P. C., Rivera C. E., Amado C., Benavides A., Herrera B., Martínez A. and Méndez O. 2012.** Prohexadione-Ca Reduces Plant Height, Improves Yield and Fruit Quality on Solanaceous Crops. *Acta Hort. ISHS* 936:457-462.

- Ramírez H., Méndez-Paredes O., Benavides-Mendoza A. y Amado-Ramírez C. 2009.** Influencia de prohexadiona-Ca y promotores de oxidación sobre el rendimiento, capsaicina y vitamina C en chile jalapeño. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 15(3):231-236.
- Ramírez H., Mendoza-Castellanos J., Vázquez-Badillo M. y Zermeño-González A. 2016.** La prohexadiona de calcio (P-CA): una alternativa hormonal viable en chile habanero*. *Rev. Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 7(3):631-641.
- Ramírez H., Peralta-Manjarrez R. M., Benavides-Mendoza A., Sánchez-López A., Robledo-Torres V. y Hernández-Dávila J. 2005.** Efecto de prohexadiona-Ca en tomate y su relación con la variación de la concentración de giberelinas y citocininas. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 11(2):283-290.
- Ramírez H., Rivera-Cruz C. E., Benavides-Mendoza A., Robledo Torres V. y Reyna-Sustaita G. 2010b.** Prohexadiona-Ca, una alternativa en la producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 16(2):139-146.
- Rodríguez E. 2010.** Cultivo orgánico del tomate riñón. México: Antares.
- Rodríguez, R., Tabares J., Medina J. 2001.** Cultivo moderno del tomate. Editorial Mundi-Prensa. 2ª edición
- Roemmelt S., Zimmermann N., Rademacher W. y Treutter D. 2003.** Formation of novel flavonoids in 86res86 (*Malus domestica*) treated with the 2-oxoglutarate-dependent dioxygenase inhibitor prohexadione-Ca. *Phytochemistry* 64:709–716.
- Salvatore A. 2012.** Producción de cultivos y costos. Cali: Grupo Editorial Norma.
- Sánchez Del C. F., 2001.** Producción de hortalizas basada en doseles escaleriformes. Sexto Simposium internacional de fertirriego. Morelia, Michoacán.
- Sánchez L. A. 2014.** Atributos de calidad en dos nuevos cultivares de tomate extra firmes de Larga Vida de Anaquel, Congreso mesoamericano de investigación UNACH. 531-535 pp.
- Sánchez L. A. 2016.** Ristro de la variedad Villa Narro extra firme de larga vida de anaquel de tomte (*Solanum lycopersicum* L.) Tipo Beef. SNIC-SAGARPA.
- Sánchez L. A. 2017.** Registro y caracterización para la obtención del título obtentor para dos nuevas variedades de Tomate Beef de Larga Vida de Anaquel denominadas “Villa Narro” y “Sofimeli” de acuerdo a los lineamientos de la unión internacional para la protección de variedades vegetales (UPOV) ante SNICS y el Catalogo Nacional Para Variedades Vegetales ante SAGARPA.

- Senberga A., Dubova L. and Alsina I. 2018.** Germination and growth of primary roots of inoculated bean (*Vicia faba*) seeds under different temperatures. *Agronomy Research* 16:243–253.
- Serrani Y. J. C. 2008.** Intercambio de giberelinas y auxinas en la fructificación del tomate. Tesis Doctoral. Presentada para optar al grado de Doctor Ingeniero Agrónomo por la Universidad Politecnica de Valencia, Dept. de Biotecnología. 114 pp.
- Shehaj M., Rama P. and Hodaj B. 2013.** Effect of prohexadione-calcium(Regalis) on shoot growth in Pear var. Passe Crassane. *Albanian j. agric. sci.* 12 (2):163-166.
- Shekoofa, A. and Emam, Y. 2008.** Effects of nitrogen fertilization and plant growth regulators (PGRs) on yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Shiraz. *J. Agric. Sci. Technol.* 10:101-108.
- SIAP-SADER, 2019.** Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). SADER. Avances y cierres de la Producción Agrícola.
- Solanenka Y. y Taylor A. 2011.** Seedcoat permeability: Uptake and Post-germination transport of applied model tracer compounds. *HortScience.* 46(4):622-626.
- Sponsel V. M. and Hedden P. 2010.** B2. Gibberellin Biosynthesis and Inactivation. Biology Department, University of Texas at San Antonio, San Antonio, TX 78249, USA. Rothamsted Research, Harpenden, Herts AL5 2JQ, UK. 63-94 pp.
- Spooner D. M., Peralta I. E. and Knapp S. 2005.** Phylogeny of wild tomatoes. *Solanum*, I. section *lycopersicon* (Mill). Wettst. Subsection. *Lycopersicon*. Taxon.
- Still J. R. and G. Pill W. G. 2003.** Germination, Emergence, and Seedling Growth of Tomato and Impatiens in Response to Seed Treatment with Paclobutrazol. *HortScience* 38(6):1201–1204.
- Still J. R. and G. Pill W. G. 2004.** Growth and stress tolerance of tomato seedlings (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in response to seed treatment with paclobutrazol. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 79 (2):197–203.
- Szot I., Basak A., Lipa T. and Krawiec P. 2016.** The use of combined application of prohexadione-Ca and GA4+7 on the yield and growth of ‘Braeburn Mariri Red’ apple trees. *Acta Hort.* ISHS 1138:35-44.
- Taiz Lincoln y Zeiger Eduardo. 2006.** Fisiología vegetal. Vol. II Casteiló de la Plana :Publicacions de la Universitat Jaume I, D.L. 1336 pp.

- Talón, M. 2000.** Giberelinas. En: Fundamentos de fisiología vegetal. J. Azcón-Bieto y M. Talón. (Eds) Univercitad de Barcelona, *McGraw-hill. Interamericana*. pp 325-343.
- Tsuchiya Y., Vidaurre D., Toh S., Hanada A., Nambara E., Kamiya Y., Yamaguchi S. and McCourt P. 2010.** A small-molecule screen identifies new functions for the plant hormone strigolactone. *Nat Chem Biol* 6:741-749.
- UAAAN Departamento de Agrometeorología.** Citado el 04/05/2019 en <http://clima.uaaan.mx/>
- Ueguchi-Tanaka M., Nakajima M., Katoh E., Ohmiya H., Asano K., et al., 2007.** Molecular interactions of a soluble gibberellin receptor, *GID1*, with a rice *DELLA* protein, *SLR1*, and gibberellin. *Plant Cell* 19(21):40–55.
- Ugur A. and Kavak S. 2007.** The Effects of PP 333 and CCC on Seed Germination and Seedling Height Control of Tomato. *Acta Hort. ISHS* 729:205-208.
- Ulchur A., Estrada E. J. y Mejia S. 2004.** El cultivo del tomate chonto UNAPAL Maravillas bajo condiciones de cubierta plástica. Programa de Hortalizas, Cartilla Divulgativa. 14 pp.
- Varas Jorquera Cristian. 2006.** uso del paclobutrazol y prohexadione de calcio en palto (*Persea americana* Mill.) cv. Hass. Taller de licenciatura. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. 52 pp.
- Whiley A., Schaffer B. and Wolstenholme B. N. 2002.** The Avocado, Botany, Production and Uses. Wallingford CABI Publishing. 233 pp.
- Yamaguchi Shinjiro. 2008.** Gibberellin Metabolism and its Regulation. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59:225–251.