

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Germinación, Vigor y Calidad de Plántula de Dos Ecotipos de Chile Piquín, en Respuesta
al Pretratamiento de su Semilla.

Por:

DULCE YOSSELIN GÓMEZ LÓPEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México
Junio 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Germinación, Vigor y Calidad de Plántula de Dos Ecotipos de Chile Píquin, en
Respuesta al Pretratamiento de su Semilla.

Por:
DULCE YOSSELIN GÓMEZ LÓPEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dra. Laura Raquel Luna García

Asesor Principal



Dra. Areli González Cortés

Asesor Principal Externo




Dr. José Rafael Paredes Jácome

Coasesor



Dr. Armando Hernández Pérez

Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México
Junio 2024

CARTA DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (cortar y pegar); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.



Dulce Yoselin Gómez López

DEDICATORIAS

A Dios, por ser mi guía y fuente de fortaleza en cada paso de mi vida. Gracias por darme la sabiduría y el coraje necesarios para enfrentar los desafíos y superar los obstáculos que se presentaron en mi camino.

A mis padres Edmundo y Alicia, cuyo amor incondicional y apoyo constante han sido la base sobre la que se ha construido mi educación. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia, y por estar siempre a mi lado, brindándome el aliento necesario para seguir adelante.

A mis hermanos Edmundo, Jenipher, Cristo, Abigail, por ser mis compañeros de vida y por su apoyo inquebrantable. Gracias por sus palabras de ánimo y por compartir conmigo cada alegría y cada desafío.

A mis amigos de la carrera y especialmente a dos de mis mejores amigas Nancy, Adriana y a la pequeña Elisa, quienes han estado presentes en cada etapa de este viaje académico. Gracias por su amistad sincera, su comprensión y por los momentos compartidos que hicieron de esta experiencia algo inolvidable.

A mis compañeros de clase, con quienes compartí innumerables horas de estudio y aprendizaje. Gracias por su apoyo y por los valiosos intercambios de conocimientos y experiencias.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por ser la institución que me brindó la oportunidad de crecer académica y personalmente. Gracias por proporcionar el entorno y los recursos necesarios para mi formación profesional.

Finalmente, a todas las personas que de alguna manera contribuyeron a este logro, mi más sincero agradecimiento. Esta tesis es un reflejo del apoyo y la colaboración de todos ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han hecho posible la realización de esta tesis.

En primer lugar, agradezco profundamente a Dios, a mis padres, cuya paciencia, apoyo y amor incondicional han sido la base sobre la que se ha construido mi camino académico. Sin su confianza y sacrificios, este logro no habría sido posible.

A mi asesor de tesis, la Dra. Laura Raquel Luna García, le extiendo mi más sincero reconocimiento y gratitud. Sus valiosos consejos, paciencia y dedicación me han guiado en cada paso de este proceso. Sus enseñanzas han sido fundamentales para la culminación de este trabajo.

A los profesores de la universidad, por su dedicación y compromiso con la enseñanza. Gracias por impartirme sus conocimientos, por desafiarme a ser mejor y por guiarme en este proceso académico. En especial, agradezco a los profesores del Departamento de Horticultura, cuyo apoyo y orientación fueron esenciales para la realización de esta tesis.

A mis compañeros de estudio y amigos, gracias por su constante motivación, por los momentos de apoyo mutuo y por estar siempre dispuestos a ayudar. Su compañía ha hecho de esta etapa una experiencia enriquecedora y memorable.

Agradezco también a todas las instituciones y personas que me proporcionaron los recursos necesarios y la información requerida para la elaboración de esta tesis. Su colaboración ha sido esencial para el desarrollo de mi investigación.

Por último, pero no menos importante, agradezco a mis hermanos Edmundo, Jenipher Cristo Jesús, Abigail y a mis amigos cercanos en especial a Nancy, Adriana y a la pequeña Elisa por su comprensión y apoyo en los momentos de estrés y dificultades. Su presencia en mi vida ha sido una fuente de fortaleza y motivación.

A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento.

I INDICE GENERAL

I	INDICE GENERAL.....	6
II	RESUMEN	1
III	ABSTRACT	2
IV	INTRODUCCIÓN	3
V	OBJETIVO GENERAL.....	4
VI	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	4
VII	HIPOTESIS.....	4
VIII	REVISION DE LITERATURA	5
8.1	Origen e historia.....	5
8.2	Producción Mundial	5
8.3	Producción Nacional.....	6
8.4	Importancia del cultivo de chile piquín	7
8.5	Clasificación taxonómica del chile piquín	7
8.6	Características botánicas del cultivo del chile piquín.....	8
8.6.1	Sistema radical	8
8.6.2	Tallo	9
8.6.3	Hoja	9
8.6.4	Flor.....	9
8.6.5	Fruto	9
8.6.6	Semilla	10
8.7	Requerimientos edafológicos.....	11
8.7.1	Suelo	11
8.7.2	Temperatura y Humedad Relativa	11
8.7.3	Riego.....	11
8.7.4	Nutrición.....	12
8.8	Principales plagas y enfermedades	12
8.9	Calidad de plántula de chile piquín	13
8.10	Germinación de la semilla	14
8.11	Fases de la germinación	14
8.11.1	Imbibición.....	14
8.11.2	Activación metabólica	15
8.11.3	Crecimiento de la radícula.....	15

8.12	Estimulantes de la germinación	15
8.12.1	Latencia de la semilla	16
8.13	Sustancias hormonales.....	17
8.14	Productos comerciales	18
8.14.1	Activol 40% GS.....	18
8.14.2	Biozyme® TF	19
8.15	Nanotecnología en la agricultura	19
8.16	Nanopartículas en la germinación.....	21
8.17	Nanopartículas de Óxido de Zinc (NPsZnO)	21
IX	MATERIALES Y METODOS.....	22
9.1	Ubicación del experimento	22
9.2	Material vegetativo y siembra	23
9.3	Descripción y preparación de los tratamientos	23
9.4	Imbibición y siembra de la semilla	25
9.5	Cuidado y manejo de plántula	26
9.6	Variables agronómicas evaluadas	26
9.6.1	Días a germinar (DAG).....	26
9.6.2	Porcentaje de germinación (PG)	27
9.6.3	Altura de plántula (ADP).....	27
9.6.4	Diámetro del tallo (DDT)	27
9.6.5	Longitud de raíz (LDR)	27
9.6.6	Numero de hojas verdaderas (NHV)	27
9.6.7	Área Foliar (AF).....	27
9.6.8	Peso fresco y seco de la parte aérea.....	28
9.6.9	Peso fresco y seco de la raíz.....	28
9.7	Análisis estadístico	28
X	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
10.1	Porcentaje de germinación (PG)	29
10.2	Altura de plántula (ADP).....	30
10.3	Diámetro de tallo (DDT)	31
10.4	Longitud de raíz (LDR)	32
10.5	Peso de biomasa fresca(PBF)	33
10.6	Peso de biomasa seca (PBS)	34

10.7	Numero de hojas verdaderas (NHV)	35
10.8	Área foliar (AF)	35
XI	CONCLUSIÓN	36
XII	REFERENCIAS	38
XIII	ANEXOS	46

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.-	Características morfológicas de la planta de chile piquín. A) Fruto; B) Semilla; C) Sistema radicular; D) Tallo; E) Flor; F) Hojas; G) Fruto.....	10
Figura 2.-	Instalaciones donde se ubicó el experimento dentro de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro	23
Figura 3.-	Proceso de la preparación de los tratamientos para la imbibición de la semilla de chile piquín	25

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.-	Principales plagas y enfermedades del cultivo de <i>C. annuum</i> var. <i>glabriusculum</i>	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 2.-	Tipos de latencia exógena	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 3.-	Tipos de latencia endógena	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 4.-	Descripción de los tratamientos utilizados en el experimento.....	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 5.-	Porcentajes de germinación de dos ecotipos de chile piquín en varios momentos de evaluación	30
Cuadro 6.-	Comparación de medias de las variables agronómicas evaluadas en dos ecotipos de chile piquín con la aplicación de inductores de germinación	31
Cuadro 7.-	Comparación de medias de las variables de área foliar y biomasa total de plántulas de chile piquín tratadas con inductores de germinación.....	34

II RESUMEN

El chile piquín es un recurso fitogenético invaluable que ha tenido problemas de producción debido a la baja germinación que presenta la especie, por ello se realizó el presente experimento en dos ecotipos de chile piquín (Coahuila y Sonora), para ello se acondicionó la semilla imbibiendo en cinco tratamientos, los cuales fueron T1=agua, T2=AG₃, T3=Biozyme, T4=Nano partículas de Óxido de Zinc a 50 ppm y T5 a 100ppm., el estudio se complementó con el uso de nanopartículas y bioestimulantes para mejorar germinación, crecimiento y desarrollo de las plántulas, empleando un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. El experimento se estableció en un invernadero en charolas de poliestireno, utilizando un medio de germinación compuesto por una mezcla de Peat moss y perlita mineral. Las variables evaluadas incluyeron días y porcentaje de germinación, altura de la plántula, diámetro del tallo, longitud de la raíz, número de hojas verdaderas, área foliar, así como el peso fresco y seco de la biomasa total de la plántula. El análisis estadístico se llevó a cabo con el programa InfoStat, utilizando la prueba de Tukey para comparar medias y evaluar la eficacia de los tratamientos. El T4 del ecotipo Sonora mostró el mayor porcentaje de germinación (82.5%) a los 30 días, mientras que, en el de Coahuila se alcanzó un 69.44% a los 45 dds con el T3. Las nanopartículas de Óxido de zinc (NPs ZnO) a baja concentración (50ppm) mejoraron la germinación y el crecimiento de la plántula de chile piquín, resultando ser efectivas, ya que superaron en seis de ocho variables evaluadas al testigo, incluyendo acumulación de biomasa fresca. El peso seco de la biomasa fue mejor con Biozyme en el ecotipo Coahuila y con NPs ZnO en dosis altas en el ecotipo Sonora. En resumen, las NPs ZnO a bajas concentraciones mejoraron además de la germinación, la calidad y el desarrollo de las plántulas.

PALABRAS CLAVE: bioestimulantes inductores, nanotecnología, hormonas.

III ABSTRACT

The piquín chile is an invaluable phylogenetic resource that has had production problems due to the low germination of the species, which is why the present experiment was carried out in two ecotypes of piquín chile (Coahuila and Sonora), for this the seed was conditioned by imbibing it in five treatments, which were T1=water, T2=AG3, T3=Biozyme, T4=Zinc Oxide nanoparticles at 50 ppm and T5 at 100ppm. The study was complemented with the use of nanoparticles and biostimulants to improve germination, growth and development of seedlings, using a completely randomized design with four repetitions. The experiment was established in a greenhouse in polystyrene trays, using a germination medium composed of a mixture of Peat moss and mineral perlite. The variables evaluated included days and percentage of germination, seedling height, stem diameter, root length, number of true leaves, leaf area, as well as the fresh and dry weight of the total seedling biomass. Statistical analysis was carried out with the InfoStat program, using the Tukey test to compare means and evaluate the effectiveness of the treatments. Treatment T4 of the Sonora ecotype showed the highest percentage of germination (82.5%) at 30 days, while in Coahuila, 69.44% was reached at 45 days with T3. Zinc Oxide nanoparticles (ZnO NPs) at low concentration (50ppm) improved the germination and growth of the piquín chile seedling, proving to be effective, since they surpassed the control in six of eight variables evaluated, including accumulation of fresh biomass. The dry weight of the biomass was better with Biozyme in the Coahuila ecotype and with ZnO NPs at high doses in the Sonora ecotype. In summary, ZnO NPs at low concentrations also improved germination, quality and development of seedlings.

KEYWORDS: inducing biostimulants, nanotechnology, hormones.

IV INTRODUCCIÓN

Capsicum annuum tiene su domesticación en México (Alcara-Rico *et al.*, 2023), país donde se encuentra ampliamente distribuido el chile “piquín” o “de monte” (*Capsicum annuum* var, *glabriusculum*) el cual, es considerado como el ancestro de todos los chiles cultivados (Gutiérrez-Burón., *et al*, 2020). El chile piquín, es una especie hortícola de gran valor comercial, debido a que es muy aceptado y consumido por gran parte de la población del norte de México y sur de EU; nutritivo ya que sus frutos son fuente de vitamina A y C, tiamina, riboflavina, niacina, antioxidantes y minerales como potasio, hierro y magnesio (González-Cortes, *et al.*, 2015) y económico, dado que alcanza hasta 40 veces el valor de los chiles cultivados (INIFAP, 2024)., Presenta gran demanda por el mercado nacional e internacional, lo que ha provocado enfrentarse a grandes riesgos de extinción, a consecuencia de la recolecta irracional del fruto, ya que, para cubrir casi la totalidad (90%) de su demanda, la mayor parte del fruto comercializado en México y el extranjero, proviene de plantas silvestres, y de continuar dicha explotación pueden ponerse en riesgo importantes ecotipos de esta especie (Reyna, 2005).

Las poblaciones silvestres de chile piquín en algunas áreas de México ha disminuido porque la especie sigue sin cultivarse de manera intensiva como cualquier otro cultivo hortícola. Una de las principales razones por la que la planta no se ha explotado en siembras comerciales, es debido a que su semilla tiene una germinación inferior al 5 %, el reducido porcentaje de nacencia, se atribuye a la latencia física o fisiológica, ocasionada por la impermeabilidad de la testa, inmadurez de la semilla y/o reposo del embrión (González-Cortes, *et al.*, 2015). Además, las personas que lo recolectan no cuentan con alguna técnica generalizada y la mayoría de las veces arrancan la planta desde la raíz, lo que provoca la pérdida de materiales nativos y su biodiversidad (Lara *et al.*, 2024). Aunado a todo lo anterior, hoy día, ha aumentado la destrucción de su hábitat natural debido a la tala, incendios, el uso de la superficie para urbanizarla, problemas de plagas, fenómenos climáticos, enfermedades causadas por hongos, bacterias y sobretodo la baja germinación, que, de seguir con esta situación, se pone en riesgo la riqueza genética del chile silvestre (Lara *et al.*, 2024)

Con respecto a lo anterior, se buscan de manera urgente alternativas para reducir la problemática que está provocando la perdida de la especie, que cada vez es más fuerte y notable, por lo que el objetivo del presente trabajo es resolver el primer problema del cultivo,

referente a la germinación, con la finalidad de multiplicar la producción y conservación de la especie, para más adelante iniciar un programa de producción intensiva y eliminar las recolectas masivas de las poblaciones silvestres. En el presente trabajo se buscan resultados favorables con la utilización de nanotecnología usando materiales y procesos a escala nanométrica inferiores a 100 nanómetros (nm), usadas en campo conocidas como nano partículas (NPs) y otros productos comerciales, con el objetivo mejorar la nacencia de la semilla.

V OBJETIVO GENERAL

Incrementar la germinación de los ecotipos de semilla de chile piquín de Coahuila y Sonora con el uso de algunos bioestimulantes exógenos.

VI OBJETIVOS ESPECIFICOS

Probar los efectos de las nanopartículas de Óxido de Zinc (ZnO NPs) en la germinación y producción de plántulas de semilla de chile piquín.

Comparar el uso de Ácido giberélico (AG₃), Biozyme TF comercial y los nanomateriales en la germinación de la semilla y calidad de plántula de chile piquín.

Encontrar el bioestimulante que mejore la producción de biomasa y altura de plántula de chile piquín.

VII HIPOTESIS

Al menos uno de los tratamientos bioestimulantes utilizados tendrá efecto positivo en la germinación de alguno de los ecotipos evaluados.

VIII REVISION DE LITERATURA

8.1 Origen e historia

Históricamente el chile piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) se reconoce por ser el ancestro más cercano a la especie cultivada (Eshbaugh,1975). Es un cultivo silvestre que se reproduce en diferentes tipos de ecosistemas debido a que es diseminado por aves principalmente. Aunado a esto, el clima y suelo han provocado gran variación genética (López, 2018).

Se distribuye desde el sur de EE. UU hasta Sudamérica. En México se encuentra en toda la zona costera, desde Sonora a Chiapas por el Pacífico y de Tamaulipas hasta Quintana Roo por el Golfo de México. Sin embargo, se desarrolla con mayor grado desde la Huasteca Tamaulipeca localizada en el sur de Tamaulipas hacia el centro-norte del mismo estado y continua en los estados de Nuevo León y San Luis Potosí, donde se le ha dado un sinnúmero de nombres (Laborde y Pozo, 1982), entre los más sobresalientes esta “chile piquín, de monte, chiltepín, silvestre, chiltepec, chiltepillito, chilpaya, chile de monte, chile parado, pájaro pequeño, amomo, pico de paloma, pico de pájaro, chile de Chiapas, ululte, totocuitlatl, chile mosquito, tlilchilli, milchili, y diente de tlacuache, entre otros” (Long, 1998). Proviene del náhuatl que significa pulga por lo que también se le conoce como chile pulga. Así como existe una gran variación de nombres, también hay mucha variación en formas y colores, las cuales dependen de la región donde se encuentre.

Se cree que su origen remoto desde años atrás y ha sido utilizado por la cocina mexicana durante siglos, es apreciado por su sabor picante y se destaca como recurso natural de gran importancia para la comunidad rural del Norte de México

8.2 Producción Mundial

El frecuente consumo del chile piquín a nivel mundial, se considera a raíz de los grandes beneficios que generación en generación han adoptado, entre estos el más reconocido es por su peculiar sabor, pero también se reconoce esta especie por la importancia económica, cultural, medicinal y como recurso genético (Sandoval, 2011). Si bien, no existe un reporte exacto de la producción, si se deduce que la importancia del consumo se basa en la demanda de la colecta, que es la fuente de ingresos para pueblos indígenas en tiempo de cosecha, aparte

de tener importancia económica, esta especie también tiene beneficios curativos, por lo que se ha utilizado principalmente en comunidades indígenas y mestizas (Sandoval, 2011). México no es el único país en exportar chile piquín hacia EE. UU, tiene un competidor directo que está en constante actividad y es la India, pero China es el principal competidor de producción dentro del mercado interno (Maiti y Gonzales, 2017). En cuanto a la producción general de chile, China se reportó en 2018 como el primer país productor a nivel mundial, con una producción de 49.45%. En segundo lugar, esta México con 9.19%, Turquía con 6.95%, Indonesia 6.91% y España 3.47%. En conjunto, los 5 países obtuvieron poco más del 75% de la producción mundial de chile, reportando en el mismo año 67.67% de superficie cosechada (INTAGRI, 2020).

8.3 Producción Nacional

En México, el chile piquín es una especie que aún no se cultiva de forma intensiva, la mayor parte de la producción se encuentra de manera silvestre (Balderas, *et al.*, 2023). El 65% de la cosecha es para consumo local y el 35% es para exportación, sin embargo, enfrenta grandes riesgos de extinción, a consecuencia de la colecta irracional del fruto, ya que, para cubrir la demanda, casi la totalidad (90%) proviene de recolectas de poblaciones silvestres y de continuar dicha explotación pueden ponerse en riesgo importantes ecotipos de esta especie (Reyna, 2005), se han reportado datos de cosechas ilegales, lo cual podría cambiar las estadísticas y ganancias de la producción de chile piquín en México (Martínez *et al.*, 2018). Se consume en mayor parte del territorio mexicano y otras partes del mundo, para cubrir su demanda se recurre a las recolectas (Balderas et al 2023). A nivel nacional se distribuye principalmente en los estados de Veracruz, Tabasco, Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Tamaulipas e Hidalgo, donde crece de manera natural bajo la sombra de los árboles de forma rustica.

Datos reportados en chile piquín por el SIAP en 2022 indicaron que Michoacán tiene una superficie sembrada de alrededor de 49 hectáreas con una producción de 181.30 t ha⁻¹, obteniendo un rendimiento promedio de 3.7 t ha⁻¹, mientras que el estado de Veracruz cuenta con una superficie de 1,193 hectáreas, produciendo 216.25 t ha⁻¹ con un rendimiento medio de 1.01 t ha⁻¹. Mientras que en el estado de Chihuahua se reporta una producción de 3.91 t ha⁻¹ (Rivas, 2018).

8.4 Importancia del cultivo de chile piquín

El chile piquín es muy importante en la gastronomía mexicana e internacional por su sabor único y picante que agrega un toque especial a cada platillo, además de su uso culinario también ha tenido un papel importante en la medicina tradicional por sus propiedades (Sandoval, 2011). Para algunos pueblos indígenas se ha utilizado como analgésico para curar dolores y malestares (Bañuelos *et al.*, 2008). Así mismo el chile piquín ha sido objeto de diversos estudios por el alto contenido de antioxidantes que presenta, ya que son considerados agentes protectores, al igual tiene un valor significativo por la vitamina C y compuestos fenólicos que actúan como antioxidantes previniendo enfermedades cancerígenas, digestivas y cardiovasculares. Tiene un valor nutricional en la dieta del ser humano por los fitocompuestos como capsacinoides, flavonoides, carotenoides, vitamina C y clorofila (Nohemi, 2019).

La importancia de la producción radica en la economía de los pueblos rurales donde se produce naturalmente, en la época de producción puede sustituir el consumo de otro tipo de chiles y alcanza hasta 40 veces más el precio del chile serrano y jalapeño (Laborde, 1982). Es aceptado por la población y llega a remplazar a otros chiles debido a su picor bien identificado ya que es muy picante pero la sensación desaparece rápidamente y no es irritable para el estómago.

8.5 Clasificación taxonómica del chile piquín

El género *Capsicum* pertenece a la familia Solanaceae, subfamilia Solanoideae, tribu Solaneae (Hunziker, 1979). Eshbaugh (1980, 1993) considera que una de las tareas más complejas concerniente a la taxonomía de *Capsicum* es la de limitación del género, ya que éste ha sido intercambiado entre los géneros *Acnistus*, *Athenea*, *Brachistus*, *Vassovia*, *Withania* y *Witheringia* (Eshbaugh, 1980).

La especie *Capsicum annum* L. es dividida en dos variedades, una de frutos grandes y poblaciones cultivadas, *C. annum* var. *annuum*, y otra de frutos pequeños y de poblaciones espontaneas *C. annum* var. *aviculare* (Aguilar-Meléndez, 2004).

El chile Piquín (*Capsicum annum* L. var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser y Pickersgill) presenta la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Plantae

Subphylum: Euphyllophytina

Infraphylum: Radiatopses

Subclase: Magnoliidae

Superorden: Asteranae

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Tribu: Solaneae

Género: *Capsicum*

Especie: *annuum*

Variedad: *glabriusculum*

Por otra parte, diversos taxónomos han nombrado a esta variedad con los siguientes nombres científicos: Shinnery (1956) la presentó con el nombre de *C. annum* var. *mini*, mientras que Smith y Heiser (1957) la denominaron *C. annum* var. *baccatum*, para 1973, D'Arcy y Eshbaugh la nombraron *C. annum* var. *aviculare* y finalmente en 1975, Heiser y Pickersgill le asignaron *C. annum* var. *glabriusculum*.

8.6 Características botánicas del cultivo del chile piquín

Las plantas del chile piquín son anuales o perennes, aunque pueden perder hojas durante el invierno; herbáceas y en algunas ocasiones trepadoras, generalmente se asocian a vegetaciones nativas ya sea en submontañas o bosques de montaña con plantas arbustivas, hasta matorrales y cactáceas en zonas áridas (Ramírez, *et al.*, 2018)

8.6.1 Sistema radical

Esta especie posee un sistema de raíces fasciculadas pivotantes, comienzan de la base del tallo, con pocas raíces gruesas que crecen hacia debajo de una forma inclinada lo que le permite producir abundantes raíces secundarias y terciarias con una apariencia más fina, estas se extienden con gran profundidad y ocupan la mayor parte del suelo (Maiti y Gonzales, 2017).

8.6.2 Tallo

La planta cuenta con un solo tallo color verde que puede tener una altura de 0.5 hasta 2.0 metros, sin embargo, Hanan y Mondragón (2009) mencionan que la planta puede llegar a medir hasta los 4 m de altura. Con un gran número de ramas de forma ascendente extendidas, formando una apariencia arbustiva, con pelos incurvados de 0.4 mm (Heiser, 1953).

8.6.3 Hoja

Las hojas son enteras, simples, pecioladas, se pueden encontrar de manera solitaria o en pares, de forma ovaladas a lanceolada, con un diámetro aproximado de 2.8 cm y de largo puede llegar a medir los 6 cm. Existe la aparición de pubescencias en ambos lados a glabras, en el ápice hay una acumulación de hojas que se estrechan paulatinamente alargadas y el peciolo tiende a medir de 5-20 mm de largo (Heiser, 1953).

8.6.4 Flor

La flor se caracteriza por ser una flor completa, hermafrodita, con una corola blanca y similitud verdosa, rotada (en forma de rueda), gamopétala, con cinco lóbulos, su tamaño varía de 5 mm a 1.2 cm de diámetro, con tricomas en sus bordes. Normalmente se forma una flor por nudo, en ocasiones pueden ser dos o tres, en posición erecta con pedicelos delgados y alargados, presenta un cáliz corto con dientes ausentes o rudimentarios. Cuenta con cinco estambres y cinco anteras de color violeta o azul, un ovario o gineceo supero y el estigma capitado de un color blanquecino con tres lóbulos y dos carpelos (D´Arcy y Eshbaugh, 1974).

8.6.5 Fruto

El fruto del chile piquín en su etapa inmadura presenta un color verde y conforme madura varía el color de acuerdo a las regiones, pero las más comunes son marrón o purpura y finalmente se tornan de color rojo a rojo intenso, es picante, erecto, esta característica es muy común en los frutos silvestre, deciduos pequeños (hojas o estipulas) <de 5 a 10 mm de diámetro y 15 mm de longitud, globosos u ovoides (dependiendo de la zona de crecimiento) (Gonzalo-Cortes *et al.*,2015).

8.6.6 Semilla

La semilla tiene un color crema-amarillo, textura lisa y diámetro aproximado de 2.9 cm. Por kilo de fruto fresco maduro se puede obtener de 80 a 120 g de semilla y cada gramo contiene de 200 a 300 semillas (Gonzalo-Cortes *et al.*,2015). Parte de la dispersión de la semilla la realizan algunas aves al momento de consumir el fruto, su paso por el tracto digestivo reblandece la semilla, promueve la germinación y establecimiento de planta bajo la sombra de los árboles.



Figura 1.- Características morfológicas de la planta de chile piquín. A) Fruto; B) Semilla; C) Sistema radicular; D) Tallo; E) Flor; F) Hojas; G) Fruto seco.

8.7 Requerimientos edafológicos

8.7.1 Suelo

Rodríguez del Bosque, *et al.*, (2004) mencionan que el chile piquín generalmente crece en suelos de tipo vertisol y rendzina, en textura migajón-arcilla, al igual mencionan que los suelos deben ser profundos y bien drenados, con alto porcentaje de materia orgánica y en pendientes menores a 5%. Martínez, (2007) menciona que el sustrato en el que se desarrolla la planta de chile piquín puede ser una combinación de mantillo, tierra negra y algo de piedra suelta. Dickerson, (1995) destaca que el suelo debe ser una mezcla de arena arcilla, con buen drenaje y un pH entre 7.0-8.5.

8.7.2 Temperatura y Humedad Relativa

El chile piquín requiere ciertas condiciones para su desarrollo, crece en un hábitat con precipitaciones anuales de más de 500 mm y temperatura media anual entre 21° y 24°C donde las heladas son escasas. Nabhan *et al.* (1990) mencionan que esta especie se le puede encontrar en orillas de arroyos y cerca de cañones. De acuerdo con la altitud se ha reportado desde elevaciones bajas hasta los 1100 m de altura (D'Arcy y Eshbaugh, 1974). En los estados de Querétaro y Coahuila se han encontrado entre los 1100 m y 1300 m de altura, sin embargo, López y Castro (2006), reportan 1800 msnm para el estado de Oaxaca.

La temperatura mínima para su crecimiento es de 15°C y la temperatura máxima 30°C, creciendo mejor bajo condiciones de humedad relativa de 75 a 100% (Villalón *et al.*, 2013).

8.7.3 Riego

La etapa más importante del suministro de agua es la floración-fructificación, ya que, si hay poca humedad en este momento, puede haber pérdida de flores y frutos pequeños, lo que afecta directamente el rendimiento; si hay demasiada humedad, también puede haber pérdida de flores y frutos pequeños, amarillamiento de la planta y, en casos extremos, su muerte. Si se tiene riego rodado, lo recomendable sería regar cada 20 o 30 días, con una lámina de 5 a 7 cm. Debido a que el suministro de agua es diferente si el cultivo se desarrolla en el monte, con estructura de malla-sombra o a campo abierto, es necesario hacer los ajustes

pertinentes en caso de riego por goteo. En este último sistema, debido a la mayor evaporación, se deben realizar riegos más frecuentes y/o con una lámina más grande (Sandoval, 2011).

8.7.4 Nutrición

Se necesita conocer los requerimientos de fertilización en el cultivo de chile piquín mediante un análisis de suelo previo al establecimiento de la planta. Se sabe que la mayoría de los suelos mexicanos carecen de N (nitrógeno) y P (fosforo). Sandoval (2011) sugiere una fertilización de lotes de producción bajo monte, se basa de 5 g de P (P_2O_5) por planta, equivalente a 10 g de MAP (11-52-0), agregando 2.5 g de N por planta (5.5 g de Urea o 7.4 g de nitrato de amonio), los 2.5 de N se aplicaría una vez al mes, manteniendo la humedad de la planta para que la fertilización sea aprovechada. Se recomienda una fertilización en riego por goteo de 180 a 200 unidades de N y 80 a 100 unidades de P, para sistemas de producción intensivo (Rodríguez *et al.*, 2003).

8.8 Principales plagas y enfermedades

Rodríguez *et al.*, (2003) nos indican que, al no ser un cultivo intensivo, el chile piquín no presenta problemas fitosanitarios serios en su hábitat natural y que los daños más severos ocasionados por insectos aparecen en el follaje. Además, el chile piquín es una planta relativamente resistente a enfermedades fúngicas y bacterianas, ya que ha convivido con estas enfermedades en su estado natural durante mucho tiempo (Cuadro 1).

Cuadro 1.- Principales plagas y enfermedades del cultivo de *C. annuum* var. *glabriusculum*

Plagas	Gallina ciega (<i>Phyllophaga spp</i> y <i>Anomala spp</i>)
	Gusano trozador (<i>Agrotis spp</i> y <i>Prodenia spp</i>)
	Minador de la hoja (<i>Liriomyza spp</i>)
	Araña roja (<i>Tetranychus urticae</i>)

Pulgones (*Myzus persicae* y *Aphis gossypii*)

Mosquita blanca (*Bemisia tabaci* y *B. argentifolii*)

Chiva del encino (*Pterophylla beltrani*)

Se pueden presentar problemas de ahogamiento o damping off durante la producción de planta, puede ser provocada por diferentes hongos del suelo, entre ellos;

Enfermedades *Phytium spp.*

Fusarium spp.

Rhizoctonia solani

Phytophthora spp.

8.9 Calidad de plántula de chile piquín

Una planta de calidad requiere todas las atenciones, empezando por las instalaciones donde se siembra hasta el trasplante. El proceso de germinación y desarrollo de la planta es vital, requiere de un sistema confiable de equipo e instrumentos para controlar el ambiente y proporcionar niveles específicos de luz, temperatura, humedad y nutrientes, cabe recalcar que se debe conocer la calidad del agua de riego, tener un monitoreo adecuado para prevenir cualquier tipo de plaga o enfermedad. Para asegurar un mejor desarrollo y vigor antes del trasplante, la producción de planta en bolsas negras es una opción viable, aunque puede incrementar el costo de producción.

Se debe procurar escoger el material para trasplante con una estética visiblemente bien, con tallo gruesos y recto, hojas bien desarrolladas que no estén enchinadas ni fruncidas. El enchinamiento puede indicar que las plantas han sido sometidas a restricción de agua para controlar su crecimiento en invernadero, lo cual puede retrasar su establecimiento en campo. El fruncido de las hojas puede indicar que han sido expuestas a temperaturas de congelación que también puede reducir el desarrollo temprano (Garton, 1995).

Las raíces deben ser blancas, gruesas y llenar todo el cepellón desde la superficie hasta el fondo, si no se extienden hasta el fondo del cepellón se puede deber a que fueron sometidas a humedad restringida, lo cual podría retrasar el enraizamiento en campo (Garton, 1995).

8.10 Germinación de la semilla

La germinación de la semilla es una serie de eventos: morfológicos que consiste en la transformación del embrión en una nueva planta que inicia con el desplazamiento de la radícula; fisiológicos que inicia con la reactivación del crecimiento del embrión que fue suspendido durante la disecación de la semilla; y bioquímicos que indica la activación de rutas metabólicas, ya sean oxidativas o sintéticas, para dar inicio a la formación de una nueva planta (Bernal, 1994).

La problemática como denominador común con otros autores para el desarrollo de la producción de chile piquín, es la latencia que presenta la semilla, ya que en condiciones naturales es menor a 5% (Rodríguez *et al.*, 2003), sin embargo, Ramírez-Meraz (2001) menciona que se obtiene una germinación de 60 a 80% con pruebas de Ácido giberélico (AG₃) a 5000 ppm. Anónimo (1999) y Ramírez-Meraz *et al.*, (2003) resaltan que, al pasar por el tracto digestivo de las aves en poblaciones silvestres, favorece la germinación al escarificar la semilla. A causa de esta problemática se han realizado estudios físicos y químicos para promover la germinación, en el caso de los químicos es común la aplicación de AG₃, en cuanto a los físicos está entre otros el uso de temperaturas y fotoperiodo (Maiti *et al.*, 1994), mencionando que la combinación de ambos ha dado buenos resultados.

El chile piquín presenta bajo porcentaje de germinación a pesar de que la semilla este madura y en las condiciones ambientales adecuadas, esto se debe a un fenómeno denominado dormancia fisiológica debido a una o varias condiciones internas de la semilla que le impide la germinación (Hernández-Verdugo *et al.*, 2010; Prado-Urbina *et al.*, 2015). Ramírez-Meraz *et al.*, (2003) mencionan que se debe a que la semilla presenta una cera epicuticular que la hace impermeable.

8.11 Fases de la germinación

8.11.1 Imbibición

Durante esta etapa se producen cambios estructurales importantes en la membrana. En las semillas secas, los compuestos fosfolípidos se encuentran en la fase de gel, lo que permite una mayor liberación de solutos y metabolitos de bajo peso molecular en la solución que rodea la semilla. Pero cuando la membrana se rehidrata, los compuestos mantienen una

forma cristalina que impide que los solutos escapen. En esta etapa se reactivan las enzimas y las estructuras de deshidratación. Se necesitan varias horas para que el metabolismo alcance su estado óptimo. Durante este tiempo, las estructuras dañadas son demolidas o reemplazadas. Asimismo, la síntesis de ADN se inicia durante las etapas de maduración, deshidratación y síntesis del ADN mitocondrial para reparar estructuras dañadas (Bewley 1997). A medida que se sintetizan nuevas proteínas, otras proteínas, como la proteína LEA, ya presente en las semillas secas, se degradan. El metabolismo pasa de un estado de reserva a un estado naciente donde se transcribe nuevo ARNm para sintetizar las proteínas necesarias para almacenar el metabolismo de la célula (Bewley, 1997).

8.11.2 Activación metabólica

Las semillas dejan de absorber agua y la respiración disminuye. En esta fase se produce la síntesis de nuevas estructuras y compuestos necesarios para las siguientes fases de desarrollo a partir de las reservas disponibles. Se activan genes implicados en el alargamiento y división celular, así como las acuaporinas (proteínas de membrana implicadas en la absorción de agua); xiloglucano endotransglucosilasa endotransferasa, que hidroliza los componentes de la pared celular y libera su estructura; expande una proteína que rompe los enlaces de hidrógeno en las paredes celulares; y pectina metilesterasa, que modifica la pectina en la pared celular (Bewley, 1997).

8.11.3 Crecimiento de la radícula

Para hacer esto, la radícula debe destruir el endospermo y la cubierta de la semilla, lo que marca el final de la germinación e inicia el crecimiento de las plántulas al debilitar las estructuras alrededor de la punta de la raíz. En semillas imbibidas, el potencial de presión embrionaria muestra un valor relativamente negativo, por lo que el potencial hídrico rara vez es un factor limitante para la germinación (Welbaum et al., 1998).

8.12 Estimulantes de la germinación

8.12.1 Latencia de la semilla

El estado de dormición, latencia o letargo es definido como la incapacidad de una semilla intacta y viable, de germinar bajo condiciones de temperatura, humedad y concentración de gases que serían adecuadas para la germinación. La latencia se establece durante la formación de las semillas y tiene la importante función de limitar la germinación de la planta madre antes de su propagación en el campo. Además, la latencia se considera una adaptación que contribuye a la supervivencia individual porque limita la germinación cuando los factores ambientales son perjudiciales para el desarrollo de las plántulas.

El grado de latencia varía según el lugar de producción de las semillas y el año de cosecha, e incluso el grado de latencia de un mismo lote de semillas también es diferente, por lo que, en condiciones naturales, la emergencia de las plántulas se produce en forma de "pulsos" dentro de un determinado rango espacial y temporal, lo que facilita el desarrollo de nuevos individuos en ambientes ligeramente diferentes, contribuyendo así a la probabilidad de regeneración y supervivencia de las especies (Varela-Arana, 2011).

Hartmann y Kester, (1988) y Willan (1991) detallan distintos tipos de latencia (Cuadro 2 y 3).

Cuadro 2.- Tipos de latencia exógena

Latencia Exógena	Latencia física: Característica de muchas especies de plantas donde la cubierta seminal es impermeable al agua. Los embriones están encerrados en una cáscara impermeable, que conserva las semillas con un bajo contenido de humedad durante varios años, incluso a altas temperaturas.
	Latencia mecánica: En esta categoría, la cubierta de la semilla es demasiado dura y no permite que el embrión se expanda durante la germinación. Es posible que este factor no sea la única causa de la latencia, ya que en la mayoría de los casos se combina con otras formas de retrasar la germinación.
	Latencia química: Esto corresponde a la producción y acumulación de sustancias químicas en el fruto o de la cubierta de la semilla que inhiben la germinación.

Cuadro 3.- Tipos de latencia endógena

Latencia Endógena	Latencia morfológica: Esto ocurre en aquellas familias de plantas donde las semillas (generalmente embriones) no se han desarrollado completamente hasta la madurez. En general, las temperaturas cálidas son favorables para el crecimiento embrionario, pero la presencia de otros mecanismos inactivos puede complicar la respuesta.	Embriones rudimentarios: Se presenta en las semillas, cuyo embrión no es más que un proembrión incrustado en el endospermo a medida que el fruto madura. El endospermo también contiene inhibidores químicos de la germinación que se vuelven particularmente activos a altas temperaturas.
	Latencia fisiológica: Esto es consistente con la prevención de la germinación a través de mecanismos fisiológicos inhibidores	Embriones no desarrollados: En la madurez del fruto tienen embriones poco desarrollados, con forma de torpedos, que pueden alcanzar un tamaño de hasta la mitad de la cavidad de la semilla. El crecimiento posterior del embrión se efectúa antes de la germinación

8.13 Sustancias hormonales

Hay tres etapas durante el desarrollo de la semilla: temprana, media y tardía (Rock y Quatrano 1995). Los primeros signos incluyen el inicio de la embriogénesis, aumento de masa, alto contenido de agua, abundantes giberelinas, citoquininas y auxinas, y nutrientes almacenados en los cotiledones o el endospermo. En concreto, las citoquininas son mucho más abundantes cuando el endospermo es acuoso. Esta hormona es importante porque interfiere con la división celular y el embrión produce giberelinas (Sponsel 1983). Cabe mencionar que el contenido de ABA es bajo durante las primeras etapas del desarrollo de la semilla (Rock y Zeevaart 1993). En el periodo intermedio el contenido de auxinas,

giberelinas y citoquininas es abundante, sin embargo, el contenido de ABA comienza a aumentar y las reservas comienzan a acumularse. En el último período, el nivel de todas las hormonas, incluida ABA, disminuye gradualmente. Leszek (1997) mencionó que el contenido de nutrientes es mayor y el contenido de agua es mayor durante la etapa intermedia cuando las semillas comienzan a madurar. Entonces comienza la actividad metabólica y no se permite la germinación prematura. Finalmente, en la etapa tardía, la semilla se deshidrata y entra en estado latente.

Para que las semillas salgan del letargo, deben almacenarse en un ambiente húmedo y a baja temperatura. Una vez finalizado el período de latencia, las semillas comienzan a absorber agua. Los órganos de almacenamiento sufren cambios fisiológicos como la inhibición del crecimiento, la formación de parénquima, el almacenamiento de almidón, aceite, proteínas, carbohidratos y la inducción de la latencia que involucra hormonas. Cuando ocurre la germinación, la semilla comienza a absorber agua, la semilla se rompe y emerge el brote, la plántula en desarrollo utiliza las reservas de nutrientes para su desarrollo (Rock y Quatrano 1995). Asimismo, cuando los tejidos maduros y viejos, las GA forma conjugados, estos conjugados se consideran material de reserva en las semillas y se almacenan en alta concentración.

8.14 Productos comerciales

8.14.1 Activol 40% GS

Es una hormona vegetal que estimula el crecimiento y la vitalidad de las plantas, mejorando el tamaño y la calidad de las frutas y hortalizas, aumentando así el rendimiento y la calidad. Producto a base de ácido giberelico (GA_3) siendo este el ingrediente activo, compuesto natural, certificado y aprobado por las normas de la industria farmacéutica. Las giberelinas intervienen directamente en el control y promoción de la germinación de las semillas; El GA_3 puede romper la latencia de las semillas y reemplazar la necesidad de estímulos ambientales como la luz y la temperatura (Araya *et al.*, 2000).

Las técnicas de uso de este producto van a variar entre los distintos cultivos, a grandes rasgos, promueve el crecimiento, aumenta vigor en las plantas, contrarresta el estrés por bajas temperaturas, desarrollo de tallos subterráneos, uniformidad de cultivos establecidos,

aumenta el peso del grano en caso de los cereales (arroz), en Chile aumenta el amarre y tamaño del fruto, incrementa rendimiento y calidad, en flores ornamentales adelanta la floración entre otros aspectos positivos que aporta el GA₃ (Valent).

Castañeda (2019) menciona que en tratamientos pregerminativos para maleza en cultivo de algodón, se utilizó GA₃ (Activol 40%) a 500 ppm mostrando resultados superiores de germinación con 32.33 % con respecto a los demás tratamientos. Por otro lado, Campos-Ruizet *et al.*, (2014) mencionan que en la aplicación de GA₃ a 1000, 2000, y 3000 ppm no han influenciado en la germinación de semilla de *Chinchona pubescens*, obteniendo valores de germinación de 33.34%, 0% y 0% respecto a los demás tratamientos y al testigo, siendo estos los valores más bajos.

8.14.2 Biozyme® TF

Es un Fitorregulador de crecimiento vegetal para aplicación foliar formulado a base de micro elementos como son Manganese (Mn), Zinc (Zn), Hierro (Fe), Magnesio (Mg), Boro (B) y Azufre (S) y otras moléculas biológicamente activas incluidas dentro de los extractos vegetales, como son Giberelinas, Acido indolacético y Zeatina que actúan como estimulantes de diferentes procesos metabólicos y fisiológicos de las plantas.

Lara *et al.*, (2024) obtuvieron un efecto significativo en el uso de Biozyme® TF, en semillas de *Capsicum annuum var. Glabriusculum* logrando un porcentaje de germinación de 70% cuando solo se aplica 1.5g de Biozyme® TF, dejando la semilla en la solución durante 24 horas, sin embargo, mencionan que para obtener mayor eficiencia de germinación es necesario someter la semilla previamente tratada a altas temperaturas para incrementar su germinación y llegar a porcentajes por encima del 80%. Mientras que Hernández (2016), indica que en semillas de *Moringa oleífera* Lam. utilizando Biozyme® TF a 5 y 6 ppm se obtuvo un porcentaje de germinación de 82.66% y 90% superando al testigo, y resaltando que a mayor dosis más era la diferencia significativa del porcentaje de germinación.

8.15 Nanotecnología en la agricultura

La nanotecnología es catalogada en el área de investigación por su amplia gama de oportunidades en distintos campos como la medicina, farmacéutica, electrónica y entre ellas,

la agricultura (Prasad *et al.*, 2014). Así mismo, puede impactar de manera drástica en todos los sectores de la industria (Sabourin y Ayande, 2015). Walker y Bucher (2009) previeron el gran impacto que esta tecnología (Nanotecnología) tiene dentro del campo de la agricultura. La nanotecnología se ha definido como diseño, fabricación, manipulación y aplicación de pequeñas estructuras o materiales con dimensiones que van desde 1 a 100 nanómetros (nm) (Benelmekki, 2019) y se componen de carbono, metal, óxidos metálicos o materia orgánica (Hasan, 2015). El termino nano es un prefijo griego que significa enano, que denota una amplia gama de fenómenos y objetos cuyas dimensiones son de una millonésima parte de un milímetro (1×10^{-9} m), (Vargas, 2018).

Con énfasis en la aplicación de nanotecnología en la producción agrícola destacan la mejora de la productividad, principalmente en el uso de fertilizantes, optimizando el uso del agua, los productos fitosanitarios y la protección ambiental (Funez *et al.*, 2016). Solo hay pocos productos que están comercializados porque la mayoría siguen en etapa de desarrollo (Perlatti *et al.*, 2012). El inadecuado uso de los agroquímicos con la finalidad de aumentar el rendimiento de los cultivos, ha causado un daño irreversible a los ecosistemas y al suelo, problemas de contaminación ambiental y la resistencia a plagas y enfermedades en la diversidad de los cultivos, lo que ha llevado a la tecnología a sugerir avances que podrían transformar los sectores de la agricultura, al proporcionar herramientas para la detención rápida de las causas por el uso incorrecto de agroquímicos y mejorar la capacidad de la planta para absorber nutrientes y obtener un desarrollo más rápido (Lira, 2016). La nanotecnología en la agricultura abre amplias oportunidades al producir productos agrícolas, entre ellos podemos encontrar nanofertilizantes, nanoherbicidas, nanosensores (Lira *et al.*, 2018), entre otros encontramos la producción de nano macro y micronutrientes, así como para hacer más eficiente el uso y aplicación de los agroquímicos (Nuruzzaman *et al.*, 2016). Se ha reportado que la aplicación de estos productos podría minimizar la pérdida de nutrientes, reducir el impacto ambiental, aumentar la producción de alimentos, ayudar en el manejo del agua y reducir la cantidad de agroquímicos esparcidos, mejorar la germinación de la semilla, la actividad biológica y aumentar la biodisponibilidad (Konappa *et al.*, 2021).

Berati *et al.*, (2010) mencionan que el uso de fertilizantes en nanoemulsiones se utilizan para aumentar la potencia de ingredientes activos o para reducir potencialmente la cantidad de fertilizantes que debe ser aplicado. Por otro lado, la FAO, (2010) destaca que uno de los

usos de las Nanopartículas (NPs) en la agricultura son la gestión de residuos agrarios mediante nanofibras de algodón, el proceso de purificación del agua y la limpieza de suelos.

8.16 Nanopartículas en la germinación

Cruz, (2017) menciona que las NPs tienen el potencial de mejorar la calidad de germinación de la semilla y los parámetros fisiográficos con el fin de optimizar la capacidad de absorción, la degradación de reservas y la división celular reflejándose en una mayor emergencia y uniformidad. Khodakovskaya *et al.*, (2009) resaltan que la clave para el aumento de la tasa de germinación es la penetración de nanomateriales en la semilla. La mayoría de las especies muestran resultados favorables al uso de NPs, estimulando la germinación, pero es muy importante mencionar que depende de la concentración y el genotipo (Hatami *et al.*, 2014), ejemplificando con el experimento de Prasad *et al.*, (2012) reportan que en semillas de cacahuete a una concentración de 1000 mg L^{-1} de NPsZnO promueve la germinación y vigor de la planta, comparado con resultados reportados por Saeid y Hojjat, (2016) que utilizando NPs de plata no influyó sobre la germinación en semilla de lentejas.

El efecto de las NPs a empleado un impacto en la germinación reflejando un mayor porcentaje y uniformidad observada en la etapa final de la misma, debido principalmente a la penetración de nanomateriales en la semilla, lo que permite la imbibición de agua y micronutrientes acelerando la degradación de reservas, beneficiando a las primeras etapas del proceso de germinación (Mahmoodzadeh *et al.*, 2013).

La síntesis de este tipo de materiales (NPs) se puede hacer de diferentes métodos, como el método de sol-gel, por deposición química de vapor, precipitación, descomposición térmica o síntesis hidrotérmica (Salama *et al.*, 2019). Estos materiales se sintetizan y modifican con el fin de mejorar su rendimiento en diversos procesos, que pueden clasificarse en cerámicos, metales, polímeros y compuestos (Robledo Trujillo, 2023).

8.17 Nanopartículas de Óxido de Zinc (NPsZnO)

El Zinc es un micronutriente que se considera importante dentro del desarrollo de la planta, por lo tanto, si no hay suficiente cantidad de este elemento disponible, la planta puede

sufrir estrés fisiológico, resultante de la incompetencia de varios sistemas enzimáticos y otras acciones metabólicas interrelacionadas con el Zn, unido a esto cabe destacar que juega un papel importante en el metabolismo de los carbohidratos y las proteínas, además de controlar la hormona del crecimiento vegetal y es necesario para la producción de triptófano que es el precursor del ácido indol-acético (AIA) el cual actúa como fitoestimulador hormonal que participa en la producción de la hormona de crecimiento llamada auxina (Salma *et al.*, 2019).

Dentro del área de la Nanotecnología se ha usado con más frecuencia las nanopartículas de ZnO dentro de la agricultura, por su amplia capacidad de procesos bioquímicos dentro de la planta, como puede ser la síntesis de citocromos y nucleótidos, el metabolismo de las auxinas, la producción de clorofila, la activación de las enzimas y la integridad de la membrana (Adhikari *et al.*, 2016), destacando que también cuentan con propiedades opto-eléctricas, físicas y antimicrobianas dentro de las plantas (Faizan *et al.*, 2020). Galindo-Guzmán *et al.*, (2022) mencionan que varios estudios reportan resultados favorables con respecto al uso de las NPsZnO ya que tienen la capacidad de mejorar el crecimiento de diferentes especies de plantas, aumentando la germinación en resultados significativos a concentraciones bajas, sin embargo, en concentraciones altas se han obtenido resultados negativos.

Los autores Rajiv *et al.*, (2013) y He *et al.*, (2011) señalan que las NPsZnO reducen la presencia de enfermedades por la actividad antifúngica que desarrollan, debido en parte a la malformación de hifas que provocan la muerte de los hongos contra *Penicillium expansum*, *Botrytis cineria*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus fumigatus*, *Fusarium culmorum* y *Fusarium oxysporus*. A estas mismas se le atribuye la mejora y calidad de los frutos al incrementar la concentración de azúcares (Zhao *et al.*, 2014), pero también se han presentado resultados desfavorables en algunas plantas cultivadas debido a un efecto fitotóxico (Bandyopadhyay *et al.*, 2014).

IX MATERIALES Y METODOS

9.1 Ubicación del experimento

El experimento se realizó en los meses de abril a agosto del año 2023, en las instalaciones del departamento de Horticultura en la Universidad Autónoma Agraria Antonio

Narro (Figura 2), ubicada en Buenavista Saltillo, Coahuila, México. La parte de producción de plántula se realizó en un invernadero de mediana tecnología, ubicado a 25°21'2'' N y 101°02'06'' W y una altitud de 1762 msnm. Las condiciones de temperatura durante el desarrollo del cultivo oscilaron entre los 21°C y 34°C con un promedio de 28°C, de acuerdo con el Sistema Meteorológico Nacional (SNM, 2024).



Figura 2.- Instalaciones donde se ubicó el experimento dentro de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

9.2 Material vegetativo y siembra

El material vegetal empleado para el presente experimento es procedente de dos estados de la República Mexicana. Su obtención fue a través de recolecciones de poblaciones silvestres. Un ecotipo pertenece al estado de Coahuila (E1), el cual presentaba frutos color naranja-rojizo de forma ovalada-alargada y el otro al estado de Sonora (E2) con frutos color rojo quemado y forma muy redonda-esférica. Una vez realizada la recolección, se procedió a secar el fruto al sol y extraer la semilla de forma manual.

9.3 Descripción y preparación de los tratamientos

Se utilizaron cinco tratamientos (Cuadro 4), los cuales se describen a continuación: El tratamiento uno (T1) se utilizó como testigo y constaba de la imbibición de la semilla en agua destilada, por 24 horas. Para el tratamiento dos (T2) se ocuparon 500 ppm de Ácido giberélico, proveniente del producto comercial Activol® de la marca comercial Valent al

40%, para ello se diluyeron 312.5 mg del producto en 250 ml de agua. Para el tratamiento tres (T3) se utilizó el producto comercial Biozyme® TF de la marca Arista LyfeSciense, agregando 25ml del producto en 500ml de agua, siguiendo las recomendaciones de la etiqueta. Los nanomateriales fueron proporcionados por la empresa de Investigación y Desarrollo de Nanomateriales S.A. de C.V., las cuales presentaban las siguientes características, tamaño <50nm, 99.7% de pureza y un peso molecular (PM) de 81.40. en este caso se usaron Nanopartículas de Óxido de Zinc (ZnO-NP's) a 50ppm (T4) y 100 ppm (T5) respectivamente. De acuerdo con las recomendaciones del fabricante, se preparó una solución madre a 100ppm, pesando 50mg de ZnO-NP's y disolviéndola en 500ml de agua, posteriormente se sónico la solución por 25 minutos a 20°C., en el laboratorio de Fisiología Vegetal de la UAAAN, con el aparato BRANSON 1510, para ayudar a que se disolvieran adecuadamente los nanomateriales y a partir de ella, se preparó la solución del T4 utilizando la fórmula:

$$C1V1=C2V2$$

Donde:

C1=Concentración 1

C2=Concentración 2

V1=Volumen 1

V2=Volumen 2

Despejando V2 que es el valor que necesitábamos conocer. C1= 100ppm de la solución madre; V1= 500 ml de agua desionizada y C2= 50ppm, quedando de la siguiente manera:

$$V2=C1V1/C2$$

$$V2 = 100\text{ppm} * 500\text{ml} / 50\text{ppm}$$

V2= 100ml de la solución madre, la cual aforamos a 500ml de agua desionizada y se llevó a sonicar por 25 minutos más.

Cuadro 4.- Descripción de los tratamientos utilizados en el experimento

Tratamiento	Descripción
T1	Testigo
T2	Ac. Giberélico 500 ppm
T3	Byozime TS (100 ppm)
T4	ZnO-NP's 50 ppm
T5	ZnO-NP's 100 ppm

9.4 Imbibición y siembra de la semilla

El día 22 de abril se procedió a separar las semillas colocándolas en vasos de precipitado previamente identificados, colocando 36 semillas por tratamiento en el caso de E1 y 40 semillas para el E2. Una vez colocadas en los vasos de precipitado se imbibió la semilla con cada una de las soluciones de los tratamientos, utilizando entre 20 y 25ml de cada una, posteriormente se colocaron 10 minutos en la máquina análoga de agitación Shaker de movimiento orbital, para mezclar adecuadamente la solución y lograr la correcta incubación de muestras y se dejaron en reposo durante 24 horas (Figura 3).

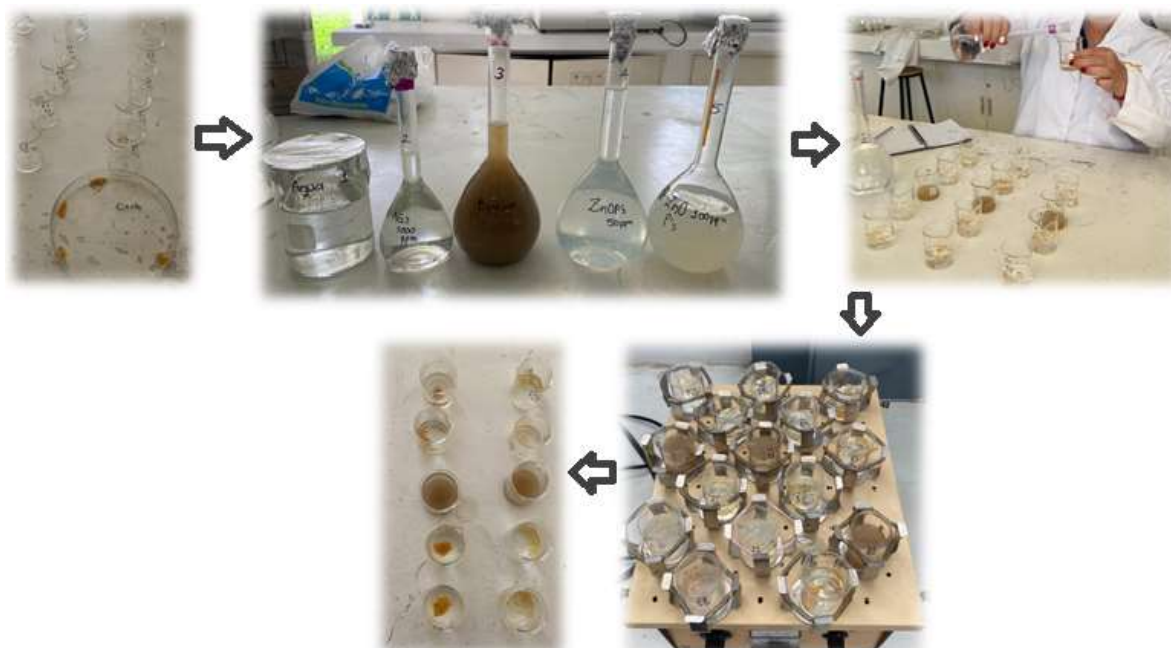


Figura 3.- Proceso de la preparación de los tratamientos para la imbibición de la semilla de chile piquín

Una vez pasado el tiempo de imbibición, se prosiguió a realizar la siembra de las semillas, para ello, se utilizaron charolas de poliestireno de 200 cavidades utilizando un medio de germinación compuesto por una mezcla de Premier Sphagnum Peat moss (Premier Horticulture Inc. Quakertown, PA, USA) y mineral perlita (Hortiperl, Termolita, Santa Catarina, NL, Mx) en una proporción de 1:1, respectivamente. Al finalizar la siembra se colocaron las charolas en bolsas negras para mantener la humedad y estimular el proceso de germinación y se colocaron en el invernadero de germinación a una temperatura promedio entre 30-35 ° C.

9.5 Cuidado y manejo de plántula

Las charolas se revisaban todos los días y cuando comenzaron a germinar se sacaron de las bolsas para evitar la etiolación y para que la plántula se aclimatara a las condiciones climáticas del invernadero. Se regaban todos los días por las tardes con un atomizador a modo de que el sustrato no estuviera seco, pero cuidando no tener exceso de humedad para evitar enfermedades fúngicas, para lo cual se aplicaba preventivamente preparaciones a base de Cupravit, Captan y Ridomil gold, Por otro lado, la única plaga que se presentó en bajas poblaciones fue la mosquita blanca, la cual se combatió con el ingrediente activo Imidacloprid a las dosis recomendadas por el producto. Treinta días después de la germinación se inició la nutrición a base de solución Steiner al 10% (Steiner, 1966) y para este periodo se comenzaba a regar dos veces por día, debido a que los días eran más calurosos alcanzando hasta 37°C (SNM,2024) pero dentro del invernadero se llegó a registrar hasta 41°C, y la plántula estaba más grande, por lo tanto, requería más humedad. El riego con nutrición se aplicó hasta que se sacó la plántula para hacer las mediciones correspondientes.

9.6 Variables agronómicas evaluadas

9.6.1 Días a germinar (DAG)

La germinación se determinó de manera visual contabilizando las cavidades de las charolas, para el E1 su germinación inicio 9 días después de siembra (dds) y el E2 fue a los 7 dds, a partir del ahí se comenzó a contar todos los días hasta obtener el mayor número de plantas emergidas.

9.6.2 Porcentaje de germinación (PG)

Para el E1 se obtuvo un mayor porcentaje de germinación a los 45 dds y en el caso de E2 a los 30 dds. El porcentaje de germinación se obtuvo mediante una fórmula:

$$\text{PG} = [(\text{N.}^\circ \text{ de semillas germinadas}) / (\text{N.}^\circ \text{ de semillas sembradas})] \times 100.$$

9.6.3 Altura de plántula (ADP)

Se retiró la plántula de la charola, se separó de su raíz y se midió con una regla desde la base del tallo hasta el ápice del mismo, los datos se reportaron en centímetros (cm).

9.6.4 Diámetro del tallo (DDT)

Para medir esta variable se utilizó un vernier digital marca Autotec[®]. Midiendo la circunferencia del tallo en la base del mismo, tomando ello como referencia, todas las mediciones se realizaron a la misma altura, los datos se reportaron en milímetros (mm)

9.6.5 Longitud de raíz (LDR)

La raíz fresca se colocó sobre una superficie plana y se procedió a medirla desde la base del tallo hasta el ápice de la misma, esto se realizó con una cinta métrica graduada, registrando los datos en centímetros (cm).

9.6.6 Numero de hojas verdaderas (NHV)

Se desprendieron todas las hojas del tallo para contabilizarlas y se situaron en una base plana, acomodándolas por tamaños, de la más grande a la más chica para al mismo tiempo determinar el área foliar.

9.6.7 Área Foliar (AF)

Para el área foliar se cortaron todas las hojas de cada plántula evaluada, situandolas una seguida de la otra de la mas grande a la mas pequeña y se midieron con una regla graduada en mm, una vez acomodadas, se les tomo una fotografía a una distancia de 50 cm de altura, posteriormente la fotografía fue sometida al Software Image J y cada fotografía se escaló con una línea de referencia de 3 cm.

9.6.8 Peso fresco y seco de la parte aérea

Una vez obtenidas las variables anteriormente mencionadas, se pesó el tallo y las hojas en una balanza analítica de precisión VELAB VE 1000, de esta manera se obtuvo el peso fresco de la biomasa aérea y los datos se reportaron en gramos (g). Posteriormente se pasaron a una bolsa de papel estraza con perforaciones y se colocaron en una estufa de secado MAPSA MODELO HDP 334, durante 72 horas con una temperatura constante de 60°C. Pasado el tiempo especificado se retiró la biomasa de la bolsa para volver a pesar y de esa manera registrar el peso seco en g.

9.6.9 Peso fresco y seco de la raíz

Teniendo la raíz separada de la parte aérea se procedió a retirar manualmente todo el sustrato pegado al cepellón y se enjuago repetidamente hasta que esta quedó totalmente limpia, posteriormente se pesó en la balanza analítica de precisión VELAB VE 1000 registrando datos en gramos (g). Las raíces se colocaron en bolsas de papel estraza para introducirlas a la estufa de secado MAPSA MODELO HDP 334 durante 72 horas a una temperatura constante de 60°C. Pasando este tiempo se retiraron de la estufa y se pesaron en la misma balanza y de esa manera obtener peso seco de la raíz reportado en g.

Estas variables se consideraron al final en resultados y discusión como peso de biomasa fresca y peso de biomasa seca debido a que la cantidad no era suficiente para cuantificarlos por separado.

9.7 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones, evaluando dos ecotipos, y cinco tratamientos. Los datos obtenidos se analizaron mediante el programa de software estadístico InfoStat., además se realizó la comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

X RESULTADOS Y DISCUSIÓN

10.1 Porcentaje de germinación (PG)

Con base a los resultados obtenidos, se puede observar en el Cuadro 5, que el T4 del E2 presentó el mayor porcentaje (82.5%) de germinación en comparación con el resto de los tratamientos, mientras que el testigo solo obtuvo un 67.5% de germinación, datos que obtuvieron su mayor valor a los 30 dds. Por otro lado, en el E1 el T3 obtuvo el máximo porcentaje hasta los 45 dds, alcanzado solo 69.44%, porcentaje que no supera al E2 en ningún momento del conteo aunque fueron más días de tolerancia para la emergencia, en este ecotipo el testigo arrojó los resultados más bajos (13.89%). De acuerdo a estos resultados, se puede deducir que hay una respuesta favorable al utilizar nanopartículas de Óxido de zinc (NPs ZnO) durante el proceso de imbibición de la semilla de chile piquín, ya que, la semilla tiene la capacidad de absorber los nanomateriales y superar el PG en un periodo de tiempo más corto, activando positivamente la actividad metabólica durante el proceso de germinación. Utilizando NPs ZnO a dosis bajas (50 ppm) se presentó una mejor respuesta que a una dosis más elevada (T5), lo anterior se puede deber que a concentraciones elevadas de NPs ZnO provoca fitotoxicidad en la plántula ocasionando estrés químico, excediendo el límite de tolerancia y la capacidad de adaptación es baja, causando daños permanentes o incluso llegar a la muerte celular (Foyer y Noctor, 2005). Martínez-Alonso *et al.*, (2022) reportan que la aplicación de nanopartículas de óxido de Zinc a 50ppm aumenta o favorece la germinación en semilla de maíz, atribuyendo los resultados al Zinc que actúa como precursor a la biosíntesis del AIA (responsable de la dominancia apical). De igual manera Galindo-Guzmán *et al.*, 2022 reportan que se logra un mayor PG (36.97%), aplicando dosis de 50 mg L⁻¹ de NPs ZnO. Por otro lado, Lara *et al.*, (2024) reportan resultados altamente significativos al tratar la semilla de chile piquín, imbibiéndolas en Biozyme al 1.6% durante 24 horas, obteniendo el mayor PG (86%) el cual coincide con lo encontrado en este estudio para el E1, lo que indica que los compuestos de este producto pueden penetrar la capa permeable de la semilla y desactivar los posibles inhibidores naturales para romper latencia. Uno de los compuestos que contiene Biozyme es ácido giberélico, el cuál induce la hidrólisis de almidón y sacarosa para formar glucosa y fructosa, liberando energía y debilita el potencial hídrico, lo que podría facilitar la entrada de agua y aumento de plasticidad a la pared celular y permitir la división celular de los tejidos (Lara *et al.*, 2024), el mismo autor, menciona que el ácido indolacético interfiere en la traducción del mensaje uniéndolo al enlace aminoácido-ATP con el

RNA mensajero y la zetina puede actuar con proteínas receptoras específicas iniciando una ruta de traducción de señales, por lo cual González-Cortes *et al.*, (2015) indican que gracias a esas acciones de ambas hormonas en conjunto es como presentan resultados altamente significativos con respuesta a la imbibición de la semilla en Biozyme TF, estimulando la germinación y obteniendo mayor PG.

Cuadro 5.- Porcentajes de germinación de dos ecotipos de chile piquín en varios momentos de evaluación

Tratamientos	Ecotipos	Porcentaje de germinación (PG)					
		E1	E2	E1	E2	E1	E2
		15 DDS	10 DDS	30 DDS	20 DDS	45 DDS	30 DDS
T1 (Testigo)		2.78	20	8.33	25	13.89	67.5
T2 (Ac. Giberélico 500 ppm)		33.33	45	55.56	45	66.67	60
T3 (Byozime TS (100 ppm))		25.00	17.5	58.33	62.5	69.44	75
T4 (ZnO-NP's 50 ppm)		30.56	25	36.11	60	41.67	82.5
T5 (ZnO-NP's 100 ppm)		36.11	45	36.11	65	50.00	77.5

E1 (Ecotipo Coahuila); E2 (Ecotipo Sonora); DDS (días después de la siembra)

10.2 Altura de plántula (ADP)

De acuerdo al ANOVA realizado al presente experimento (anexo) para la variable ADP se puede observar que existen diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para ambos ecotipos, con la aplicación de los diferentes tratamientos. La comparación de medias (Tukey $P \leq 0.05$) nos indica que el T4 fue el que presentó el mayor valor en ambos ecotipos, en comparación al resto de los tratamientos y superando significativamente al testigo (Cuadro 6). Para el E1 el T4 fue 75% más alto que el T1, mientras que, para el E2, el mismo tratamiento supera en ADP al testigo con 27.22%. En ambos ecotipos las NPs ZnO muestran los mejores resultados para esta variable (Cuadro 6), lo cual puede atribuirse a que estos materiales al ser de tamaño nanométrico podrían absorber, transportar y retener de manera más eficiente los nutrientes en las plantas, reflejándose en un mayor crecimiento aéreo Navarro *et al.*, (2008). Magdalena-García *et al.*, (2023) señalan que las NPs ZnO mejoran el crecimiento vegetativo de las plantas de pimiento con aplicaciones de 50 y 100 mg L⁻¹, cabe mencionar que en este estudio se trataron plantas de pimiento que se fueron a producción.

De igual manera Munir *et al.*, (2018) indican que dichos nanomateriales con dosis de 100 mg L⁻¹, causan un efecto significativo para mejorar el crecimiento y rendimiento de las plantas de trigo en producción. Magdaleno-García *et al.*, (2023) indican que gracias al tamaño nanométrico puede llegar a incrementar la superficie aérea gracias a la reactividad por la liberación de iones, ya que gracias a ellas se presenta mayor movilidad de los nutrientes, aunque también mencionan que no está del todo definido la función de estas y se necesita seguir haciendo estudios para resolver la función universal de las NPs pero de acuerdo a sus resultados coinciden que es una buen método para el incremento vegetativo y resolver la problemática de deficiencias de zinc en las plantas (Munir *et al.*, 2018)

Cuadro 6.- Comparación de medias de las variables agronómicas evaluadas en dos ecotipos de chile piquín con la aplicación de inductores de germinación

Tratamientos/Ecotipos	Altura de plántula (ADP) (cm)		Diámetro de tallo (DDT) (mm)		Longitud de raíz (LDR) (cm)	
	E1	E2	E1	E2	E1	E2
	T1	3.88 c	4.15 c	1.83 c	2.11 ab	6.97 c
T2	5.70 b	4.90 b	2.55 b	1.91 b	7.36 bc	6.12 b
T3	6.07 b	4.71 b	2.69 a	2.17 ab	7.79 abc	7.35 a
T4	6.79 a	5.28 a	2.69 a	2.39 a	8.04 ab	6.91 a
T5	6.02 b	4.92 b	2.54 b	2.36 a	8.45 a	6.75 ab
CV	3.49	2.55	1.68	6.58	4.28	3.69

E1 (Ecotipo Coahuila); E2 (Ecotipo Sonora); CV (coeficiente de variación)

*Medias con la misma letra, son estadísticamente iguales de acuerdo con Tukey ($P \leq 0.05$)

10.3 Diámetro de tallo (DDT)

Para la variable DDT, el E1 muestra diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). De acuerdo a la prueba de comparación de medias (Tukey $P \leq 0.05$) los T3 y T4 se mostraron estadísticamente iguales y presentaron el mayor diámetro, logrando hasta un 46.99% en comparación al T1. Por otro lado, para el E2 se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$), siendo el T4 y T5 los que mostraron los valores más altos, superando 25.13 y 23.56% respectivamente al T2, sin embargo, ambos tratamientos comparten el mismo grupo

estadístico que T1 y T3 (Cuadro 6). En relación a ello, Estrada Urbina, (2019) coincide que al aplicar 350 mg de NPs ZnO en 150ml de agua desionizada en semilla de maíz, incrementa la altura (14.37 cm) y diámetro del tallo (3.41cm) y lo relaciona con la capacidad que tiene el zinc para incrementar las auxinas en raíces que a su vez se refleja en la parte vegetativa, por la función de división y elongación de las células (Rehman *et al.*, 2012), aunado a esto Shyla y Natarajan (2014) indican que las NPs ZnO incrementan el nivel de AIA en las raíces, lo cual se ve reflejado en un aumento en la tasa de crecimiento de las plántulas lo que lleva al incremento de diámetro de tallo. Por otro lado, Magdaleno-Garcia *et al.*, (2022) mencionan que al utilizar injertos en el cultivo de berenjena, aunado a la aplicación de 20mg L⁻¹ NPs ZnO, el diámetro de tallo no obtuvo diferencias significativas a la dosis mencionada ni a dosis más altas, sin embargo, Magdaleno-Garcia *et al.*, (2023) coinciden con el presente estudio, mencionando que la aplicación de NPs ZnO a 50 y 100 mg L⁻¹ en chile pimiento para plantas adultas, favorece el incremento del crecimiento en las partes vegetativas incluyendo el diámetro de tallo atribuyendo dicha respuesta a la función del zinc en conjunto de nanomateriales, los cuales son más fáciles de asimilar para la planta.

10.4 Longitud de raíz (LDR)

Para esta variable, el ANOVA muestra diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) en ambos ecotipos. Con respecto al E1 la prueba de comparación de medias (Cuadro 6), nos indica que el T5 sobresale entre los demás tratamientos, superando con 21.23% al T1, sin embargo, no es significativamente diferente a los T3 y T4, ya que comparten el mismo grupo estadístico. Para el caso del E2, los T1, T3, T4 y T5 comparten el mismo grupo estadístico, siendo el T3 mas alto entre ellos, superando al T2 con 20.09%. Méndez-Argullo *et al.*, (2016) mencionan que al aplicar NPs ZnO mas Plata (Ag) a una concentración de 2.5% en *Capsicum annuum*, obtienen mejores resultados respecto al testigo, para alargar la longitud de la raíz obteniendo un porcentaje de 24.4%, respecto a esta variable pueden influir diversos factores, entre estos, lo que mencionan Mukherjee *et al.*, (2015) que las NPs ayudan significativamente en varios aspectos fisiológicos y en mayor crecimiento de la raíz y el tallo en cultivos hortícolas, como lo es el caso de *Pisum sativus* que muestra un crecimiento de raíz y tallo al aplicar NPs ZnO y por otro lado Pandey *et al.*, (2010) indica que es atribuido al incremento de AIA, promoviendo con mayor velocidad el crecimiento ya que funciona

como un fitohormona. Considerando que el zinc es uno de los micronutrientes esenciales, que se necesita en pequeñas cantidades, pero con gran importancia para el desarrollo de la planta, a este elemento se le atribuyen la producción de auxinas que funcionan como fitorreguladores de crecimiento que intervienen en la división y elongación celular (Rehman *et al.*, 2012), de igual manera el zinc ayuda con la producción de polen, biomasa y clorofila (lo que permite el proceso de fotosíntesis) y sobre todo a la mayor velocidad de germinación (Prasad *et al.*, 2012). Por otro lado, el E2 presentó mejores resultados con la aplicación de Biozyme TF, lo que indica que la aplicación de este bioestimulante comercial puede ayudar en el incremento de la longitud de la raíz para el caso de chile piquín, aunque para otras hortalizas no se encuentre información específica sobre la influencia del Biozyme TF en esta variable, sin embargo, se puede atribuir o relacionar con la función que tienen las tres hormonas dentro de la planta, principalmente las auxinas que su principal función es intervenir en la división, expansión, y diferenciación celular que influyen en la formación de raíces laterales y adventicias (Munguía, 2018).

10.5 Peso de biomasa fresca(PBF)

Para los E1 y E2 los resultados muestran diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para esta variable. De acuerdo a la comparación de medias (Cuadro 7), en el E1, el T4 se muestra con la mayor biomasa acumulada, en comparación con el resto de los tratamientos, superando con 32% al T1. Para el caso del E2, se puede observar en el mismo cuadro (3) que los T3, T4 y T5 comparten el mismo grupo estadístico, todos superando significativamente al T1.

La acumulación de biomasa es una variable muy importante para saber el correcto funcionamiento de la planta con relación a la nutrición. Palacios-Marquez *et al.*, 2021 reporta que los resultados obtenidos en el cultivo de ejote con la aplicación foliar de NPs ZnO a 25 ppm fue la dosis más eficiente para favorecer la acumulación y producción de biomasa en planta de este cultivo, resaltando que a menor dosis es más visible el aumento de biomasa en comparación a la aplicación de dosis más altas. Por otro lado, Ucan-Tucuch *et al.*, (2023) mencionan que al aplicar NPs ZnO a 1000 ppm vía drench para peso fresco de plantas de pepino, fue significativamente mejor promoviendo valores con un aumento de 22.90% con respecto al testigo, debido a que las NPs ZnO por su naturaleza permiten una liberación lenta

y una absorción eficiente de los nutrientes por los cultivos, logrando un mejor desarrollo de la planta (Elemike *et al.*, 2019), atribuyendo el uso de nanopartículas como bioestimulante al hecho de tener cargas superficiales que interactúan con las células vegetales, lo que da respuesta al crecimiento de la planta (Sing *et al.*, 2023)

Cuadro 7. Comparación de medias de las variables de área foliar y biomasa total de plántulas de chile piquín tratadas con inductores de germinación

Tratamientos/Ecotipos	Peso de biomasa fresca (PBF) (g)		Peso de biomasa seca (PBS) (g)		No de hojas (NH)		Área foliar (AF)	
	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2
	T1	0.52 d	0.59 b	1.18 c	0.11 c	11.67 c	11.8 c	8.79 b
T2	1.20 c	0.52 b	0.35 a	0.11 c	20.83 b	14.8 b	25.16 a	12.5 b
T3	1.53 b	1.27 a	0.36 a	0.25 b	20.00 b	14.3 b	20.35 a	14.55 b
T4	2.19 a	1.34 a	0.29 ab	0.25 b	24.50 a	17.2 a	24.63 a	17.29 a
T5	1.44 bc	1.28 a	0.21 bc	0.35 a	23.33 ab	16.3 ab	22.39 a	15.64 b
CV	7.96	13.34	11.04	12.82	6.69	8.29	15.32	11.32

E1 (Ecotipo Coahuila); E2 (Ecotipo Sonora); CV (coeficiente de variación)

*Medias con la misma letra, son estadísticamente iguales de acuerdo con Tukey ($P \leq 0.05$)

10.6 Peso de biomasa seca (PBS)

El ANOVA presenta diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para ambos ecotipos en la variable peso de biomasa sesa. De acuerdo con la prueba de comparación de medias (Tukey $P \leq 0.05$) que se muestra al Cuadro 8, para el E1, los tratamientos 2, 3 y 4 presentan el mismo grupo estadístico, siendo el T3 más alto numéricamente, pero todos superan significativamente al testigo. Mientras que, para el E2, el tratamiento 5 presenta los mejores resultados superando 218.18% al T1 y T2, que arrojaron los resultados más bajos.

Zhao *et al.*, (2014) concuerdan que con dosis de 400 y 800 mg Kg⁻¹ de NPs ZnO se obtuvo incrementos significativos con respecto a la biomasa seca en el cultivo de pepino al igual que Magdaleno- Garcia *et al.*, (2022) quienes mencionan que el crecimiento y el peso de la biomasa seca mejoro después de la aplicación folias a dosis de 20mg L⁻¹ de NPs ZnO

en Tomate (*Solanum lycopersicum*). Estos resultados positivos se pueden relacionar a la función del zinc, participando como inductor de crecimiento, como cofactor de enzimas involucradas en el proceso fotosintético al igual que la integridad y mantenimiento de la membrana celular de las plantas, lo que puede indicar la relación del zinc en los procesos bioquímicos para el funcionamiento de la parte vegetativa de las plantas (Sabir *et al.*, 2014). En el caso el E1 presenta mayor porcentaje de PSP en los T3 y T2 en chile piquín y relacionándolo con otros estudios como lo es el caso de pepino (Ucan Tucuch, 2019) y Frijol castilla (Agurto Correa, 2022), la aplicación de estos productos no interfiere en el incremento de PSB.

10.7 Numero de hojas verdaderas (NHV)

Respecto a la cantidad de hojas que presentaron las plántulas de chile piquín, con la aplicación de los distintos tratamientos, el ANOVA nos indica que hay diferencias altamente significativas entre ellos ($P \leq 0.01$), para ambos ecotipos. La prueba de comparación de medias (Tukey $P \leq 0.05$), muestra (Cuadro 7) que el T4 presenta los valores más altos tanto en el E1 y E2, pero, no es significativamente diferentes del T5, aunque ambos superan al T1. El mayor número de hojas se obtiene con los tratamientos de NPs ZnO, sin embargo, es a 50 ppm que sobresale numéricamente. Estos resultados coinciden con Mendez-Arguello *et al.*, (2016) que mencionan que hubo un incremento de 32.6% en hojas de *Capsicum annuum* con aplicaciones de NPs ZnO más Plata a una concentración de 2.5% atribuyendo los resultados a la actividad del zinc como precursor de la producción de auxinas que promueven división y elongación de la célula y al efecto de las NPs por la biosíntesis de citoquininas y giberelinas lo que lleva a mayor actividad de enzimas antioxidantes y al zinc por la producción de auxinas como promotoras de la división y elongación de la célula.

10.8 Área foliar (AF)

Los resultados obtenidos para la variable de área foliar mostraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre tratamientos y ecotipos evaluados. La comparación de medias (Cuadro 7) nos indica que en el E1 todos los tratamientos (2, 3, 4 y 5) son significativamente diferentes y superiores al testigo. Mientras que, para el E2, el tratamiento 4 presentó los

valores más altos logrando hasta 90% más área foliar que el testigo. Azcon-Bieto, (2000) menciona que el aspecto foliar presenta una relación directa con la elongación del tallo siendo influenciada por el control fotoperiódico del metabolismo de las giberelinas ya que la función de los órganos de la planta interactúa con el efecto que tienen las giberelinas sobre ellos. Owagua *et al.*, (2003) indican que las giberelinas ayudan a la expansión foliar debido a que la transformación de los primordios foliares (hojas en su comienzo) ocurre más rápido, por consiguiente, la expresión foliar será mayor (Almeida & Pereira, 1996), distinto a esto Sánchez *et al.*, (2020) muestran resultados desfavorables para el área foliar en el cultivo de alverja (*Pisum sativum* L) con la aplicación de AG₃, mencionando que las giberelinas pueden afectar ya sea en la formación de hojas entre otras características siendo un factor determinante a una alta concentración de esta fitohormona (Garrod, 1974), quien también mencionan que el área foliar pudo verse afectada por las condiciones poco favorables en las que se llevó a cabo el experimento. Y con respecto al E2 el mejor tratamiento fue con 50 ppm NPs ZnO que relacionado a otros estudios coinciden que la aplicación de las mismas, actúan de una manera favorable con respecto a esta variable como el caso de Ponce Zambrano *et al.*, (2016) y Prasad *et al.*, (2012) quienes reportan que en semilla de *Lycopersicon esculentum* aplicando NPs ZnO en dosis bajas, aumenta la biomasa seca y área foliar, que de igual manera como en otras variables, lo atribuyen al efecto que tiene el zinc con respecto a la célula y la importancia del zinc como componente de varias enzimas, además de la síntesis de proteína, carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos (Tarafdar *et al.*, 2014). De acuerdo a esta variable, los resultados son contradictorios con distintos estudios.

XI CONCLUSIÓN

Basándonos en los resultados obtenidos, podemos concluir que el T4 del E2 mostró el mayor PG, alcanzando 82.5% a los 30 dds, mientras que, en el E1, el T3 logró un máximo PG del 69.44% hasta los 45 dds. Estos resultados sugieren una respuesta favorable al utilizar nanopartículas de Óxido de zinc (NPs ZnO) durante la imbibición de las semillas de chile piquín, pues inducen positivamente la actividad metabólica y aceleran el proceso de germinación.

Las NPs ZnO en dosis bajas demostraron ser efectivas, mostrando los mejores resultados para ADP, DDT, mayor acumulación de PBF, NH y AF en ambos ecotipos, superando 75%, 47%, 320%, 100% y 90% respectivamente en comparación al testigo. En relación con el PBS, el tratamiento con Biozyme mostro los mejores resultados en el E1 y el tratamiento T5 destacando en el E2.

En resumen, el uso de NPs ZnO como parte de los tratamientos experimentales demostró ser efectivo en seis de las ocho variables evaluadas (PG, ADP, DDT, PBF, NH y AF) con la concentración baja (50ppm), mejorando diversos aspectos de la germinación, crecimiento, calidad y desarrollo de plántulas de chile piquín.

XII REFERENCIAS

1. Adhikari, T., Kundu S., Subba, R.A. (2016). Zinc delivery to plants through seed coating with nano-zinc oxide particles. *Journal of Plant Nutrition*, 38(1): 136-146.
2. Aguilar-Meléndez, A. (2004) Ethnobotany, classification and distribution of *Capsicum annuum* L. in Mexico. En Pozo C., O. (ed) Primera Convención Mundial del Chile 2004, Memorias. León, Gto., México. pp. 419-421.
3. Agurto Correa, F. E. (2022). Efecto de productos hormonales para el rendimiento en el cultivo de frijol castilla (*Vigna unguiculata* L.) en Vegueta 2019.
4. Alcalá-Rico, J. S. G. J., Ramírez-Meraz, M., Maldonado-Moreno, N., Borja-Bravo, M., Camposeco-Montejo, N., & López-Benitez, A. (2023). Variación morfológica en frutos de genotipos de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *Glabriusculum*) del Noreste y Centro de México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 10(2).
5. Almeida, J. D., & Pereira, M. F. D. A. (1996). Efeito de GA3 e paclobutrazol no desenvolvimento vegetativo do girassol. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 9(1).
6. Anónimo. (1999). Getting to the roots of carbon loss, chili's gain. *Science* 285: 1198.
7. Araya, E; Gómez, L; Hidalgo, N; Valverde, R. (2000). Efecto de la luz y del ácido giberélico sobre la germinación in vitro de Jaul (*Alnus acuminata*). *Agronomía Costarricense* 24(1):75-80.
8. Azcón-Bieto, J. (2000). Fundamentos de fisiología vegetal (No. 581.1 F981f). Madrid, ES: McGraw-Hill Interamericana. Disponible en: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=earth.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=028145>
9. Balderas Quezada, K. I., Piña Ramírez, F. J., García Muñoz, S. A., Soto Parra, J. M., & Yáñez Muñoz, R. M. (2023). Chile Piquín (*Capsicum annuum* var. *Glabriusculum*) Tesoro Picante de la Naturaleza. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 11(2), 18–23. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v11i2.485>
10. Bandyopadhyay. S., Plascencia-Villa, G., Mukherjee, A., Rico, C.M., José-Yacamán, M., Peralta-Videa, J.R. y Gardea-Torresdey, J.L. (2015). Comparative phytotoxicity of ZnO NPs, bulk ZnO, and ionic zinc onto the alfalfa plants symbiotically associated with *Sinorhizobium meliloti* in soil. *Science of the Total Environment*, 515: 60-69.
11. Barati A. (2010). Nano-Composite Superabsorbent Containing Fertilizer Nutrients Used in Agriculture. U.S. patent application publication. Pub. No. US 2010/0139347 A1.
12. Benelmekki, M. (2019). Nanomaterials. The original product of nanotechnology. Morgan y Claypool Publishers. San Rafael, California, Estados Unidos. 95 pp.
13. Bernal, L. I. (1994). Aspectos Bioquímicos de la Germinación y el Deterioro. Departamento de Bioquímica Vegetal, Facultad de Química. UNAM. México. 108 p.

14. Bewley JD. (1997). Breaking down the walls: a role for endo- β -mannase in release from seed dormancy? *Trends Plant Science* 2:464–469.
15. Castañeda Michaca, E. A. (2019). Germinación de semillas de maleza asociada al cultivo de algodón, producido en la Región de la Laguna, Coahuila.
16. Cruz, R.I. (2017). Aplicación de nanopartículas y micropartículas de óxido de zinc y sulfato de hierro, y su efecto en la germinación y crecimiento de plántulas de calabaza (*Curcubita pepo*). Tesis de licenciatura Ingeniero Agrónomo en Producción. Universidad Autónoma Antonio Narro. Buenavista, Coah. México. 54 pp.
17. D'Arcy W. G. and W. H. Eshbaugh. (1974). New World Peppers (*Capsicum-Solanaceae*) north of Colombia. *Baileya* 19: 93-105.
18. D'Arcy WG, Eshbaugh WH. 1974. New World peppers (*Capsicum, Solanaceae*) north of Colombia: a resume. *Baileya* 19: 93-103. de poblaciones silvestres de Chile del noroeste de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 31: 323-330.
19. Elemike EE, Uzoh IM, Onwudiwe DC, Babalola OO (2019) El papel de la nanotecnología en la fortificación de los nutrientes de las plantas y la mejora de la producción de cultivos. *Ciencias Aplicadas* 9(3): 499. DOI: 10.3390/app9030499.
20. Eshbaugh W.H. 1980a. The taxonomy of the genus *Capsicum* (*Solanaceae*). *Phytologia* 47:153-166.
21. Eshbaugh, W.H. (1975). "Genetic and biochemical systematic studies of chili peppers (*Capsicum Solanaceae*)", en *Bulletin of the Torrey Botanical Club*. 102(6): 396-403.
22. Estrada Lara, F. (2019). Comportamiento agronómico de la berenjena (*Solanum melongena* L) injertada y cultivada con nanopartículas de óxido de zinc.
23. Estrada Urbina, J. (2019). Influencia de las nanopartículas de óxido de zinc sobre la calidad fisiológica y sanitaria de la semilla de maíz nativo (*Zea mays* L.) (Bachelor's thesis, Universidad Autónoma de Guerrero (México)).
24. Faizan, M.; Hayat, S. and Pichtel, J. 2020. Effects of zinc oxide nanoparticles on crop plants: a perspective analysis. *Sustainable Agriculture Reviews*. (41):83-99.
25. FAO/WHO, (2010). Expert meeting on the application of nanotechnologies in the food and agriculture sectors: potential food safety implications. Meeting report. Rome 2010.
26. Foyer C. H., and Noctor, G. 2005. Redox homeostasis and antioxidant signaling: a metabolic interface between stress perception and physiological responses. *The Plant Cell*. 17(7):1866-1875.
27. Fúnez, A.A., Duaso, A.H., Gómez, P.M. (2016). Nanotecnología en la industria alimentaria: aplicaciones/nanotechnology in the food industry: applications. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 10, 1.
28. Galindo-Guzmán, A. P., Fortis-Hernández, M., La Rosa-Reta, D., Verónica, C., Zermeño-González, H., & Galindo-Guzmán, M. (2022). Síntesis química de nanopartículas de óxido de zinc y su evaluación en plántulas de *Lactuca sativa*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(SPE28), 299-308.

29. Garrod, JF (1974). El papel de las giberelinas en el crecimiento y desarrollo temprano de la remolacha azucarera. *Revista de botánica experimental* , 25 (5), 945-954. <https://doi.org/10.1093/jxb/25.5.945>
30. Garton, 1995. El manejo cuidadoso mejora las eras de trasplante, *Productores de Hortalizas*, Agosto, pp. 38-40. México.
31. González, M. L., Caycedo, C., Velásquez, M. F., Flórez, V., & Garzón, M. R. (2007). Efecto de la aplicación del ácido giberélico sobre el crecimiento de coliflor (*Brassica oleraceae* L.) var. Botrytis DC. *Agronomía Colombiana*, 25(1), 54-61. Disponible en: Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180316240007>
32. González-Cortés, N., Jiménez Vera, R., Guerra Baños, E. C., Silos Espino, H., & Payro de la Cruz, E. (2015). Germinación del chile amashito (*Capsicum annum* L. var. *Glabriusculum*) en el sureste mexicano. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(SPE11), 2211-2218.
33. Gutiérrez-Burón, R., Latournerie-Moreno, L., Garruña-Hernández, R., Ruiz-Sánchez, E., Lara-Martín, A. R., & Castañón-Nájera, G. (2020). Diversidad fenotípica de chile Amashito de Tabasco y Chiapas, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(3), 649-662.
34. Hartmann, H. y Kester, D. 1988. *Propagación de Plantas*. México D.F. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. 760 pp. Kemp, 1975
35. Hasan, S. 2015. A review on nanoparticles: their synthesis and types. *Res. J. Recent Sci.* 4 (ISC2014):9-11.
36. Hatami, M., M. Ghorbanpour and H. Salehiarjomand. 2014. Nano-anatase TiO₂ modulates the germination behavior and seedling vigority of some commercially important medicinal and aromatic plants. *J. Biol. Environ. Sci.* 8(22):53-59
37. He, L. Liu, Y., Mustapha, A. y Lin, M. (2011). Antifungal activity of zine oxide nanoparticles against *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum*. *Microbiological Research*, 166: 207-215. Hoagland, D.R. y Aron, D.I. (1950). The water-culture method for growing plants without soil. *Circular and California Agricultural Experiment Station*, 347: 32-33.
38. HEISER C.B. Y SMITH P.G. (1953). The cultivated *Capsicum* peppers. *Economic Botany* 7:214-226.
39. Hernández Hernández, S. A. (2016). Efecto de la aplicación de Biozyme TF sobre la germinación de semilla de moringa oleífera Lam.
40. Hernández-Verdugo, S., Oyama, K. & Vázquez-Yanes, C. (2001). Differentiation in seed germination among populations of *Capsicum annum* along a latitudinal gradient in Mexico. *Plant Ecology* 155, 245-257. Doi: 10.1023/A: 1013234100003.
41. Hunziker A.T. 1979. South American Solanaceae: a synoptic survey. En: Hawkes J.K., Les ter R.L. y Skeleling A.D. Edrs. *Biology and taxonomy of Solanaceae*. Linnean Society Symposium, Series, no. 7 Academic Press, New York, pp. 49-85.
44. INTAGRI. 2020. Cultivo de Chile en México. Serie Hortalizas, Núm. 21. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 6 p.

45. Laborde C., J. A. y O. Pozo C., (Comp.) (1982). Presente y pasado del chile en México. Publicación especial No. 85. México: INIA.
46. Lara, P. U. H., Hernández, F. M., Linares, E. B. C., Hernández, E. R., Hernández, C. H., & López, D. R. R. (2024). Germinação de pimentão amashito (*Capsicum annuum* l. Var. *Glabriusculum*) usando altas temperaturas e um regulador de crescimento de plantas: Germination of amashito chili (*Capsicum annuum* l. Var. *Glabriusculum*) using high temperatures and a plant growth regulator. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 7(1), 258-264.
47. Leszek J. 1997. Reguladores del crecimiento, desarrollo y resistencia en plantas/por UACH. Departamento de Fitotecnia. Instituto de Horticultura
48. Lira, S.R., Méndez, A.B., Santos, V.G., Vera, R.I. 2018. Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta univ*, 28(2): 9-24.
49. López Benítez, A. (2018). Caracterización y efectos genéticos de accesiones sobresalientes en germoplasma de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *Aviculare* L.).
50. López L., P. y F. H. Castro G. 2006. La diversidad de los chiles (*Capsicum spp.*, *Solanaceae*) de Oaxaca. In: López L. P y S. Montes H. (eds.). *Avances de investigación de la red de hortalizas del SINAREFI*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío. Celaya, Gto. México. 466 p. (Libro Científico Núm. 1). 135-178.
51. Magdaleno-García, G., Juárez-Maldonado, A., Betancourt-Galindo, R., González-Morales, S., Sánchez-Vega, M., Cabrera-De la Fuente, M., & Méndez-López, A. (2023). Aplicación de nanopartículas de óxido de zinc y cloruro de sodio en chile pimiento. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(NEIII).
52. Mahmoodzadeh, H., M. Nabavi, and H. Kashef. 2013. Effect of nanoscale titanium dioxide particles on the germination and growth of canola (*Brassica napus*). *Journal of Ornamental and Horticultural Plants*. 3(11:30).
53. Maiti, R. K., J. G. Almanza E., M. L. Cárdenas A., J. Hernández P. y J. Verde-Star. 1994. El chile piquín (*Capsicum annuum* L. var. *aviculare* Dierb.) D. & E., una planta con potencial agrícola para las zonas semiáridas de México. *Reforma*, siglo XXI. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, N. L. 2(3): s/p.
54. Maiti, R., y Gonzalez, H. (2017). Wild Native Chilli, Chile Piquin (*Capsicum annuum* L. var. *aviculare* Dierb.) in Northeastern Mexico: Research Progress. *International Journal of Economic Plants*, 1(4), 037-040.
55. Martínez T., H. L. 2007. Etnobotánica del chile piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) en la sierra Gorda y semidesierto de Querétaro. Tesis para obtener grado de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Edo. De México. 127 p.
56. Martínez, A.J.G.; Venegas, B.C.S.; Martínez, G.R.; Torres, C.J.A.; Olazarán, S.F.E.; Mora, O.A.; Guerra, P.A.; Arellano, M.L.U.; Garza, O.F. (2018). Review on the Geographical Distribution, Fruit Production and Concentration of Capsaicinoids in *Capsicum annuum* var. *glabriusculum* in the Northeastern Region of Mexico. *Preprints.org*, 2018110517.

57. Martínez-Alonso, C., Quirino-García, A., Salazar, R., & Maldonado-Astudillo, Y. I. (2022). Síntesis de óxido de zinc nanoestructurado y su efecto en la germinación de semillas de maíz (*Zea mays*). *Acta Agrícola y Pecuaria*, 8(1).
58. Méndez-Argüello, B., Vera-Reyes, I., Mendoza-Mendoza, E., García-Cerda, L. A., Puente-Urbina, B. A., & Lira-Saldívar, R. H. (2016). Promoción del crecimiento en plantas de *Capsicum annuum* por nanopartículas de óxido de zinc. *Nova scientia*, 8(17), 140-156
61. Molina M. C., A. Morales C. Y A. Márquez C. 2009. Técnicas Para el Establecimiento y Producción de Chiltepín Silvestre Bajo un Sistema Agroforestal en Sonora, México. CONAFOR. México, D.F. 38 p.
62. Mukherjee, A., Peralta-Videa, J.R. Bandyopadhyay, S. Rico, C.M., Zhao, L. y Gardea-Torresdey, J.L (014). Physiological effects of nanoparticulate ZnO in green peas (*Pisum sativum* L.) cultivated in soil. *Metallomics*, 6: 132-138.
63. Munguía, G., Martínez, M. 2018. Las auxinas: síntesis, transporte y señalización. *Biológicas*, 20 (1) 1-7
64. Munir, T., Rizwan, M., Kashif, M., Shahzad, A., Ali, S., Amin, N., ... & Imran, M. (2018). EFFECT OF ZINC OXIDE NANOPARTICLES ON THE GROWTH AND Zn UPTAKE IN WHEAT (*TRITICUMAESTIVUM* L.) BY SEED PRIMING METHOD. *Digest Journal of Nanomaterials & Biostructures (DJNB)*, 13(1).
65. Nabhan, G., Slater, M. and Yarger, L. 1990. New Crops Small Farmers in Marginal Lands? Wild Chiles as a Case Study. En: M. Altieri M. and S. Hecht, S. (eds.) *Agroecology and Small Farm Development*, EUA, pp. 19-34.
66. Navarro, E., Baun, A., Behra, R., Hartmann, N.B., Filser, J., Miao, A.J. y Sigg, L. (2008). Environmental behavior and ecotoxicity of engineered nanoparticles to algae, plants, and fungi. *Ecotoxicology*. 17: 372-386.
67. Nuruzzaman, M., Rahman, M.M., Liu, Y., and Naidu, R. 2016. Nancencapsulation, Nano-Guard for Pesticides: A New Window for Safe Application. *Journal of agricultural and food chemistry*. 64: 1447-1483.
68. Ogawa, M., Hanada, A., Yamauchi, Y., Kuwahara, A., Kamiya, Y., & Yamaguchi, S. (2003). Gibberellin biosynthesis and response during *Arabidopsis* seed germination. *The Plant Cell*, 15(7), 1591-1604. <https://doi.org/10.1105/tpc.011650>
69. Palacio-Márquez, A. Ramirez-Estrada, C. A., Gutiérrez-Ruelas, N. J., Sánchez, E., Ojeda-Barrios, D. L., Chávez-Mendoza, C., & Sida-Arreola, J. P. (2021). Efficiency of foliar application of zinc oxide nanoparticles versus zinc nitrate complexed with chitosan on nitrogen assimilation, photosynthetic activity, and production of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Scientia Horticulture*, 288 110397
70. Pandey A.C. Sanjay, S.S. y Yadav, R.S. (2010). Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum*. *Journal of Experimental Nanoscience*, 5: 488-497.
71. Perlatti, B., Fernandes, J. B., Forim, M. R. (2012). Validation and application of HPLC-ESI-MS/MS method for the quantification of RBBR decolorization, a model

- for highly toxic molecules, using several fungi strains. *Bioresource technology*, 124, 137-44.
72. PONCE ZAMBRANO, R. O. M. Á. N., RUIZ TORRES, N. A. D. A., VERA REYES, I. D., & VALDÉS AGUILAR, L. U. I. S. (2016). PROMOCIÓN DE LA GERMINACIÓN EN SEMILLAS Y CRECIMIENTO DE PLANTAS DE *Lycopersicon esculentum* POR NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC.
 73. Prasad, R., Kumar, V., and Suranjit Prasad, K. (2014). Nanotechnology in sustainable agriculture: Present concerns and future aspects. *African Journal of Biotechnology*. 13(6):705-713.
 74. Prasad, T.N., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V. Reddy, K.R. and Pradeep, T. (2012). Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth, and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition*, 35:905-927.
 75. Rajiv. P. Rajeshwari, S. y Venckatesh, R. (2013). Bio-Fabrication of zinc oxide nanoparticles using leaf extract of *Parthenium hysterophorus* L. and its size-dependent antifungal activity against plant fungal pathogens. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 112: 384-387
 76. Ramírez M. M., 2001. Inducción de la germinación en semilla de chile piquín. 13° Encuentro de Investigación Científica y Tecnológica del Golfo de México (Memoria). p. 31.
 77. Ramírez Novoa, U. I., Cervantes Ortiz, F., Montes Hernández, S., Raya Pérez, J. C., Cibrián Jaramillo, A., & Andrio Enriquez, E. (2018). Diversidad morfológica del chile piquín (*Capsicum annum* L. var. *glabriusculum*) de Querétaro y Guanajuato, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(6), 1159-1170.
 78. Ramírez-Meraz, M., Pozo C.O., & Rodríguez D.B.L.A. (2003). Tecnología para inducir a la germinación de chile piquín. Primer simposio regional sobre chile piquín, 35-36.
 79. Rehman, H, U., Aziz, T., Farooq, M., Wakeel, A., Rengel, Z. (2012). Zinc nutrition in rice production systems: a review. *Plant and Soil*. 361 (1): 203-226.
 80. Reyna Alvizo J.J. (2005) Producción de planta de chile piquin (*C. annum* L var. *aviculare* Dierb.) Tesis UAAAN
 81. Robledo Trujillo, B. G. (2023). EVALUACIÓN DEL EFECTO DE NANOPARTÍCULAS DE TITANATO EN LA GERMINACIÓN DE CHILE SERRANO, *CAPSICUM ANNUM* (Master's thesis).
 82. Rock CD y Zeevaart JAD. 1993. Ácido abscísico. In: Azcon-Bieto J y Talón M (eds) *Fisiología y Bioquímica Vegetal*. MacGraw-Hill Interamericana, Madrid. 327-341
 83. Rock, C.D. and Quatrano R.S. 1995. The role of hormones during seed development. In *Plant hormones*. Springer Netherlands. 671-697
 84. Rodríguez del B. L. A; Ramírez M. y Pozo C, 2003. El cultivo del chile piquin bajo diferentes sistemas de producción en el noreste de México. In: Memoria del 1er. Simposio regional sobre chile piquin: Avances de investigación en tecnología de producción y uso racional del recurso silvestre. INIFAP-CIRNE. Campo

- experimental Río Bravo Tamaulipas. Publicación especial núm. 26. México. pp: 1-16 p.
85. Rodríguez del Bosque, L. A., M. Ramírez M. y O. Pozo C. 2004. Tecnología de Producción de Chile Piquín en el Noreste de México. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Río Bravo. Folleto Técnico Núm. 29. Tamaulipas, México. 33 p.
 86. Ruíz, J. C., de Chico, L. C. R., & Ruíz, J. C. (2014). Efecto del ácido giberélico, nitrato de potasio y agua de coco en la germinación de semillas de quina, *Cinchona pubescens*. Revista REBIOLEST, 2(1), 5-15.
 87. Sabir, S., Arshad, M. y Chaudhari, S.K. (2014). Zine oxide nanoparticles for revolutionizing agriculture: synthesis and applications. *The Scientific World Journal*, 1: 1-8.
 88. Sabourin, V., and Ayande, A. 2015. Commercial Opportunities and Market Demand for Nanotechnologies in Agribusiness Sector. *Journal of Technology Management and Innovation*. 10(1):40-51.
 89. Saeid, S. and Hojjat, H. 2016. Effects of silver nanoparticle exposure on germination of Lentil (*Lens culinaris Medik.*). *International Journal of Farming and Allied Sciences* 5(3):248-252.
 90. Salama, D. M., Osman, S. A., Abd El-Aziz, M. E., Abd Elwahed, M. S., & Shaaban, E. A. (2019). Effect of zinc oxide nanoparticles on the growth, genomic DNA, production and the quality of common dry bean (*Phaseolus vulgaris*). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 18, 101083.
 91. Sanchez, T., Huamán, M., Morales, E., & Chichipe, A. (2020). Dinámica de crecimiento de *Pisum sativum* L bajo la aplicación de ácido giberélico en la provincia de Chachapoyas–Amazonas Growth dynamics of *Pisum sativum* L under the application of gibberellic acid in the province of Chachapoyas–Amazonas. *Revista Pakamuros*, 8(4), 45-55.
 92. Sandoval, R.A. (2011). El cultivo de chile piquín y la influencia de los ácidos orgánicos en el crecimiento, productividad y calidad nutricional. Tesis de doctorado. Universidad autónoma de Nuevo León. Facultad de ciencias biológicas. San Nicolás de los Garza, Nuevo León. 114p.
 93. Shyla, K.K., Natarajan, N. 2014. Customizing Zine Oxide, Silver and Titanium Dioxide Nanoparticles for enhancing Groundnut Seed Qualit. *Indian Journal of Science and Technology*, 7(9): 1376-1381.
 94. Singh Y, Kumar U, Panigrahi S, Balyan P, Mehla S, Sihag P, Sagwal V, Singh KP, White JC, Dhankher OP (2023) Nanoparticles as novel elicitors in plant tissue culture applications: Current status and future outlook. *Plant Physiology and Biochemistry*, 108004. DOI: doi.org/10.1016/j-plaphy.2023.108004.
 95. Sponsel, V.M. 1983. The localization, metabolism and biological activity of gibberellins in maturing and germinating seeds of *Pisum sativum* cv. Progress No. 9. *Planta*, 159(5):454-468.
 96. Tarafdar, J. C., Raliya, R., Mahawar, H., and Rathore, I. 2014. Development of zinc nanofertilizer to enhance crop production in pearl millet (*Pennisetum americanum*). *Agricultural Research*. 3(3):257-262.

97. Ucan Tucuch, O. (2019). Efecto de tres bioestimulantes sobre la producción de pepino europeo (*Cucumis sativus* L.) bajo invernadero en Saltillo, Coahuila.
98. Ucan-Tucuch, O. Betancourt-Galindo, R., Juárez-Maldonado, A., Sánchez-Vega, M., Sandoval-Rangel, A., & Méndez-López, A. (2023). Efecto de maltodextrina y nanopartículas de óxido de zinc sobre biomasa y rendimiento en pepino. *Ecosistemas y Recursos Agrícolas y Ganaderos*. 10(NEIII).
99. Valent https://www.valent.mx/descargas/tecnicas/TDS_Activol.pdf
100. Varela, S. A., & Arana, M. V. (2011). *Latencia y germinación de semillas. Tratamientos pregerminativos*. EEA Bariloche, INTA. <file:///C:/Users/HP/Downloads/Latenciaygerminacio%CC%81ndesemillas.pdf>
101. Vargas Martínez, G. (2018). Biosíntesis y caracterización de nanopartículas de plata obtenidas mediante extractos de *Larrea tridentata* y su efecto potencial como antagonistas de fitopatógenos y promotor de crecimiento en plantas.
102. Villalón H., Medina T., Soto J. M., Rodríguez L. A., Pozo O., Ramírez M., Garza F., López R., López A.R. y M. Lara L. 2013. Efecto de diferentes intensidades de luz en la producción de chile piquín (*Capsicum annum* L. var *aviculare*). *Revista Ciencia-UANL*.
103. Walker N. and Bucher J. 2009. A 21st Century Paradigm for Evaluating the Health Hazards of Nanoscale Materials. *Toxicological Sciences*. 110(2): 250-251. DOI: 10.1093/toxsci/kfp106
104. Willan, R. L. 1991. Guía de Manipulación de Semillas Forestales con especial referencia a los Trópicos. Centro de Semillas Forestales de DANIDA. Estudio FAO MONTES 20/2. 510 pp.
105. Yadollahi, A., Arzani, K. and Khoshghalb, H. 2009. The role of nanotechnology in horticultural crops postharvest management. In *Southeast Asia Symposium on Quality and Safety of Fresh and Fresh-Cut Produce* 875. 49-56 pp
106. Zhao, L., Sun, Y., Hernandez, V.J., Servin, A.D. Hong, J., Niu, G., Peralta, V.J., Duarte, G.M. y Gardea. T.J. (2014). Influence of CeO and ZnO nanoparticles on cucumber physiological markers and bioaccumulation of Ce and Zn: A life cycle study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61: 11945-11951.
107. Konappa, Krishnamurthy. S. Arakere, C. Chowdappa, S., Akbarbasha, R., Ramachandrapa, N. 2021. Nanofertilizers and nanopesticides: recent trends, future prospects in agriculture. 281-230.

XIII ANEXOS

Análisis de la varianza de ecotipo Coahuila

ALTURA DE LA PLANTA (cm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ALTURA DE LA PLANTA (cm)	15	0.97	0.96	3.49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	14.17	4	3.54	89.90	<0.0001
Trat	14.17	4	3.54	89.90	<0.0001
Error	0.39	10	0.04		
Total	14.56	14			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.53339

Error: 0.0394 gl: 10

Trat Medias n E.E.

T4	6.79	3	0.11	A
T3	6.07	3	0.11	B
T5	6.02	3	0.11	B
T2	5.70	3	0.11	B
T1	3.88	3	0.11	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

DIÁMETRO DEL TALLO (mm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DIÁMETRO DEL TALLO (mm)	15	0.99	0.98	1.68

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.53	4	0.38	224.76	<0.0001
Trat	1.53	4	0.38	224.76	<0.0001
Error	0.02	10	1.7E-03		
Total	1.55	14			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.11101

Error: 0.0017 gl: 10

Trat Medias n E.E.

T4	2.69	3	0.02	A
T3	2.69	3	0.02	A
T2	2.55	3	0.02	B
T5	2.54	3	0.02	B
T1	1.83	3	0.02	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Longitud de raíz (cm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
----------	---	----------------	-------------------	----

Longitud de raíz (cm) 15 0.79 0.70 4.28

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	4.02	4	1.01	9.22	0.0022
Trat	4.02	4	1.01	9.22	0.0022
Error	1.09	10	0.11		
Total	5.12	14			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.88777

Error: 0.1091 gl: 10

<u>Trat</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>			
T5	8.45	3	0.19	A		
T4	8.04	3	0.19	A	B	
T3	7.79	3	0.19	A	B	C
T2	7.36	3	0.19		B	C
T1	6.97	3	0.19			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

PF biomasa (g)

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
PF biomasa (g)	15	0.97	0.96	7.96

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	4.34	4	1.09	90.61	<0.0001
Trat	4.34	4	1.09	90.61	<0.0001
Error	0.12	10	0.01		
Total	4.46	14			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.29421

Error: 0.0120 gl: 10

<u>Trat</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>			
T4	2.19	3	0.06	A		
T3	1.53	3	0.06		B	
T5	1.44	3	0.06		B	C
T2	1.20	3	0.06			C
T1	0.52	3	0.06			D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

PS biomasa (g)

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
PS biomasa (g)	15	0.89	0.85	11.04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	0.08	4	0.02	20.13	0.0001
Trat	0.08	4	0.02	20.13	0.0001
Error	0.01	10	9.4E-04		
Total	0.08	14			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.08217

Error: 0.0009 gl: 10

Trat	Medias	n	E.E.		
T3	0.36	3	0.02	A	
T2	0.35	3	0.02	A	
T4	0.29	3	0.02	A	B
T5	0.21	3	0.02		B C
T1	0.18	3	0.02		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Nueva tabla_2 : 05/11/2023 - 11:20:21 p. m. - [Versión : 30/04/2020]

Análisis de la varianza

hojas

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
# hojas	15	0.94	0.92	6.69

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	304.43	4	76.11	42.28	<0.0001
Trat	304.43	4	76.11	42.28	<0.0001
Error	18.00	10	1.80		
Total	322.43	14			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.60520

Error: 1.8000 gl: 10

Trat	Medias	n	E.E.		
T4	24.50	3	0.77	A	
T5	23.33	3	0.77	A	B
T2	20.83	3	0.77		B
T3	20.00	3	0.77		B
T1	11.67	3	0.77		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Área foliar

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Área foliar	15	0.85	0.79	15.32

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	537.71	4	134.43	13.95	0.0004
Trat	537.71	4	134.43	13.95	0.0004
Error	96.38	10	9.64		
Total	634.09	14			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=8.34233

Error: 9.6380 gl: 10

Trat	Medias	n	E.E.		
T2	25.16	3	1.79	A	
T4	24.63	3	1.79	A	

T5	22.39	3	1.79	A
T3	20.35	3	1.79	A
T1	8.79	3	1.79	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Análisis de la varianza de ecotipo Sonora

ALTURA DE LA PLANTA (cm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ALTURA DE LA PLANTA (cm)	15	0.93	0.90	2.55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.03	4	0.51	33.94	<0.0001
Trat	2.03	4	0.51	33.94	<0.0001
Error	0.15	10	0.01		
Total	2.18	14			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.32882

Error: 0.0150 gl: 10

Trat	Medias	n	E.E.	
T4	5.28	3	0.07	A
T5	4.92	3	0.07	B
T2	4.90	3	0.07	B
T3	4.71	3	0.07	B
T1	4.15	3	0.07	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

DIÁMETRO DEL TALLO (mm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DIÁMETRO DEL TALLO (mm)	15	0.69	0.57	6.58

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.47	4	0.12	5.61	0.0124
Trat	0.47	4	0.12	5.61	0.0124
Error	0.21	10	0.02		
Total	0.67	14			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.38724

Error: 0.0208 gl: 10

Trat	Medias	n	E.E.	
T4	2.39	3	0.08	A
T5	2.36	3	0.08	A
T3	2.17	3	0.08	A B
T1	2.11	3	0.08	A B
T2	1.91	3	0.08	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Longitud de raíz (cm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Longitud de raíz (cm)	15	0.79	0.70	3.69

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.33	4	0.58	9.29	0.0021
Trat	2.33	4	0.58	9.29	0.0021
Error	0.63	10	0.06		
Total	2.96	14			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.67354

Error: 0.0628 gl: 10

Trat	Medias	n	E.E.	
T3	7.35	3	0.14	A
T4	6.91	3	0.14	A
T1	6.80	3	0.14	A
T5	6.75	3	0.14	A B
T2	6.12	3	0.14	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

PF biomasa (g)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PF biomasa (g)	15	0.92	0.89	13.34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.01	4	0.50	28.28	<0.0001
Trat	2.01	4	0.50	28.28	<0.0001
Error	0.18	10	0.02		
Total	2.19	14			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.35847

Error: 0.0178 gl: 10

Trat	Medias	n	E.E.	
T4	1.34	3	0.08	A
T5	1.28	3	0.08	A
T3	1.27	3	0.08	A
T1	0.59	3	0.08	B
T2	0.52	3	0.08	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

PS biomasa (g)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PS biomasa (g)	15	0.95	0.93	12.83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.14	4	0.03	44.30	<0.0001
Trat	0.14	4	0.03	44.30	<0.0001

Error 0.01 10 7.7E-04
 Total 0.14 14

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.07433

Error: 0.0008 gl: 10

Trat	Medias	n	E.E.	
T5	0.35	3	0.02	A
T3	0.25	3	0.02	B
T4	0.25	3	0.02	B
T2	0.11	3	0.02	C
T1	0.11	3	0.02	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

hojas Sonora

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
# hojas	15	0.92	0.82	8.29

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	322.73	4	79.01	55.18	<0.0001
Trat	322.73	4	79.01	55.18	<0.0001
Error	17.00	10	1.51		
Total	339.63	14			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.60520

Error: 1.8000 gl: 10

Trat	Medias	n	E.E.	
T4	17.20	3	0.77	A
T5	16.33	3	0.77	A B
T2	14.81	3	0.77	B
T3	14.30	3	0.77	B
T1	11.80	3	0.77	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Área foliar-Sonora

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Área foliar	15	0.86	0.78	11.32

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	647.21	4	136.13	12.65	0.0003
Trat	647.21	4	136.13	12.65	0.0003
Error	96.38	10	9.64		
Total	744.19	14			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=8.34233

Error: 9.6380 gl: 10

Trat	Medias	n	E.E.	
T4	17.29	3	1.79	A
T5	15.64	3	1.79	B
T3	14.55	3	1.79	B
T2	12.50	3	1.79	BC
T1	9.11	3	1.79	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)