

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA



Aplicación foliar de nanopartículas de ZnO en la planta *cucurbita pepo*
evaluando el crecimiento y desarrollo

Por

GUMERCINDO JIMÉNEZ AVILEZ

TESIS

Como requisito parcial para obtener el Título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Torreón, Coahuila, México

Febrero 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

Aplicación foliar de Nanopartículas de ZnO en la planta *Cucurbita pepo*
evaluando el crecimiento y desarrollo

Por

GUMERCINDO JIMÉNEZ AVILEZ

TESIS

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito
parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

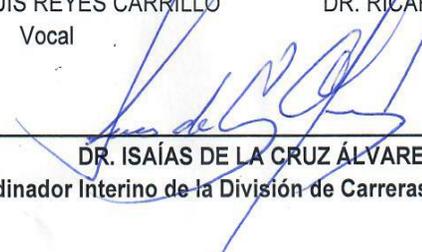
Aprobada por:


M.C. EDUARDO ARÓN FLORES HERNÁNDEZ
Presidente


DR. ANSELMO GONZÁLEZ TORRES
Vocal


DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO
Vocal


DR. RICARDO HUGO LIRA SALDIVAR
Vocal Suplente


DR. ISAÍAS DE LA CRUZ ÁLVAREZ
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México
FEBRERO 2020



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

Aplicación foliar de Nanopartículas de ZnO en la planta *Cucurbita pepo*
evaluando el crecimiento y desarrollo

Por

GUMERCINDO JIMÉNEZ AVILEZ

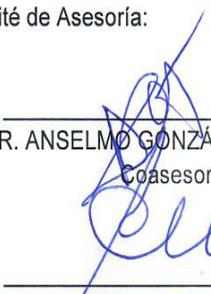
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

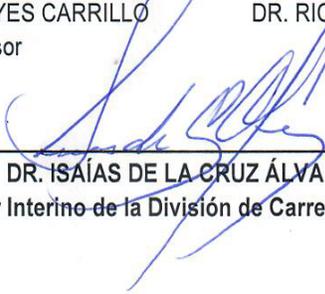
Aprobada por el Comité de Asesoría:


M.C. EDUARDO ARÓN FLORES HERNÁNDEZ
Asesor Principal


DR. ANSELMO GONZÁLEZ TORRES
Coasesor


DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO
Coasesor


DR. RICARDO HUGO LIRA SALDIVAR
Coasesor


DR. ISAÍAS DE LA CRUZ ÁLVAREZ
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México
FEBRERO 2020



AGRADECIMIENTO

A MIS PADRES

Manuel Jiménez Morales y a María Luisa Avilez por haberme dado la vida, los pilares en moldear mi camino con sus buenos valores desde pequeño, han sido, son y serán los mejores tesoros que me pudo dar la vida.

A MI ALMA TERRA MATER

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, mi casa de estudio durante 4 años que me proporciono las mejores herramientas para formar mi vida profesional.

A MI FAMILIA

Agradezco a cada uno de ellos por sus palabras de aliento en tiempos difíciles, por brindarme el apoyo económico que siempre es indispensable, en especial a mi hermano Bonifacio Jiménez que sin él hubiera sido imposible lograr este sueño.

A MIS ASESORES

Aquellos que siempre estuvieron en este proceso para resolver mis dudas y mis inquietudes. Siendo así, también fueron los mejores consejeros que tuve en mi formación profesional.

A MIS PROFESORES

A todos los profesores que con su enseñanza y experiencias formaron en mí un profesionista.

A MIS AMIGOS Y SERES QUERIDOS

Que se convirtieron en familia después de compartir 4 años la misma casa estudiantil.
A Jesús Fernando, Yamileth, Argentina, Maite, Lu y Lucero.

DEDICATORIA

A MI FAMILIA

A los seres que más amo y respeto en la vida, gracias a ustedes he logrado culminar mi tan preciada carrera profesional, siendo esta para mí, la mejor de las herencias, gracias papá y mamá. Con amor, cariño y respeto.

A LOS PROFESORES

Por haber sido parte de mi formación académica y profesional les brindo mi mayor gratitud y reconocimiento por desempeñar una función tan indispensable en la sociedad como lo es formar miles de profesionistas para crear un mejor mundo, estoy agradecido con todos ustedes por brindarme sus enseñanzas.

A MIS AMIGOS

A todos mis amigos que me impulsaron a seguir adelante siempre con sus buenos consejos, quienes compartieron conmigo gran parte de su vida.

Por último, dedico este trabajo a todos aquellos que no pudieron cumplir sus sueños de obtener un título profesional y se quedaron en el camino, aquellos desaparecidos, aquellos que están luchando para salvar su vida en un hospital por alguna enfermedad. A los 43 paisanos desaparecidos.

RESUMEN

La agricultura es el único proveedor de alimentos para la humanidad, sin embargo, para la población creciente, la demanda de alimentos va en aumento, por lo tanto, es necesario adquirir nuevos conocimientos que ayuden a generar una mayor productividad agrícola. Se ha informado que las Nanopartículas con diferentes composiciones, tamaños, concentraciones, propiedades físicas y químicas influyen en el crecimiento y desarrollo de varias especies de plantas con efectos tanto positivos como negativos y con la preocupación de alimentar aproximadamente a 9 mil millones de personas antes de 2050 establece la intersección de la nanotecnología, la alimentación y la agricultura como una prioridad de investigación en los próximos años. El objetivo del presente trabajo fue estudiar los efectos en las variables morfológicas y fisiológicas causados por la aplicación foliar de Nanopartículas de ZnO en las plantas de *Cucurbita pepo*. Los tratamientos fueron:

T1: Control (Fertilizante comercial), T2: Fertilizante comercial + 25 mg L⁻¹ de NPs de ZnO, T3: Fertilizante comercial + 50 mg L⁻¹ de NPs de ZnO, T4: Fertilizante comercial + 100 mg L⁻¹ de NPs de ZnO, T5: Fertilizante comercial + 200 mg L⁻¹ de NPs de ZnO, T6: Fertilizante comercial + 400 mg L⁻¹ de NPs de ZnO. La solución se aplicó cada tercer día por las mañanas. A excepción de la altura, todas las variables muestran un incremento con respecto al control. El diámetro mostró un incremento máximo del (5%) para tratamiento de 100 mg L⁻¹. Para el número de hojas el incremento máximo fue (8.6%) en el tratamiento de 25 mg L⁻¹ y para el área foliar la diferencia máxima fue (11.42%) en el tratamiento de 400 mg L⁻¹, demostrando su capacidad promotora de crecimiento en las etapas tempranas, sin embargo, una posible bioacumulación de NPs en las plantas pudo haber detenido su crecimiento hacia su etapa final.

Palabras Claves: Nanotecnología, Nanofertilizante, Zeolita y Hortalizas.

ABSTRACT

Agriculture is the only provider of food for humanity, however, it is necessary to have new knowledge that helps generate greater agricultural productivity. It has been reported that nanoparticles with different compositions, sizes and properties, physical and chemical properties influence the growth and development of several plant species with both positive and negative effects and with the concern of approximately 9 million people before 2050. Intersection of nanotechnology, food and agriculture as a research priority in the coming years. The objective of the present work was the study of the effects in the morphological and physiological variables in the foliar application of ZnO Nanoparticles in Cucurbita pepo plants. The treatments were:

T1: Control (Commercial Fertilizer), T2: Commercial Fertilizer + 25 mg L⁻¹ of NPs of ZnO, T3: Commercial Fertilizer + 50 mg L⁻¹ of NPs of ZnO, T4: Commercial Fertilizer + 100 mg L⁻¹ of NPs of ZnO, T5: Commercial Fertilizer + 200 mg L⁻¹ of NPs of ZnO, T6: Commercial Fertilizer + 400 mg L⁻¹ of NPs of ZnO. The solution was applied every third day in the morning.

With the exception of height, all variables show an increase with respect to control. The diameter showed a maximum increase of (5%) for 100 mg L⁻¹ treatment. For the number of leaves the maximum increase was (8.6%) in the treatment of 25 mg L⁻¹ and for the foliar area the maximum difference was (11.42%) in the treatment of 400 mg L⁻¹, demonstrating its capacity to promote growth in the early stages however, a possible bioacumulation of NPs in the plant could have stopped its growth towards its final stage.

Keywords: Nanotechnology, Nanofertilizer, Zeolite and Vegetables

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
I.- INTRODUCCIÓN	1
II.- OBJETIVO GENERAL	4
2.1.- Objetivos específicos	4
III.- HIPÓTESIS	4
IV.- REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1.- Origen de la calabacita	5
4.2.- Características de la calabacita.....	5
4.3.- Cultivo de calabacita en México	6
4.5.- Importancia económica del cultivo de la calabacita	7
4.5.- Clasificación taxonómica	8
4.6.- Descripción morfológica.....	8
4.6.1.- Raíz.....	8
4.6.2.- Tallo	9
4.6.3.- Hojas	9
4.6.4.- Flores	9
4.6.5.- Frutos	10

4.7.- fertilizantes agrícolas	10
4.8.- Sustratos agrícolas	11
4.8.1.- Clasificación de los sustratos agrícolas	12
4.8.2.- Beneficios de la zeolita como sustrato.....	15
4.8.3.- La zeolita en la agricultura	17
4.9.- Nanotecnología	18
4.10.- Nanopartículas	20
4.11.- Síntesis de Nanopartículas	21
4.12.- Síntesis verde de Nanopartículas	22
4.13- Nanopartículas en la industria alimentaria.	22
4.14.- Nanopartículas en Medicina	23
4.15.- Nanopartículas en el sector agrícola.	24
4.15.1.- Nano-Fertilizante (NFer).....	26
4.15.2.- Nanoplaguicidas	27
4.16.- Absorción de Nanopartículas de ZnO en plantas.....	28
4.17.-Fitotoxicidad de las Nanopartículas.....	29
4.18.- Macros y Micros elementos.....	30
4.19.- Origen del Zinc.....	31
4.19.1.- Importancia del Zinc en los cultivos	32
4.20.- Origen del Óxido de Zinc (ZnO).....	33
4.20.1.- Uso del Óxido de Zinc	34
V.- MATERIALES Y METODOS	35
5.1.- Localización del sitio	35
5.2.- Características climáticas del lugar	36
5.3.- Preparación de la disolución con nanopartículas.....	36
5.4.- Preparación de sustrato.....	37

5.5.- Siembra, riego y fertilización.....	37
5.6.- Aplicación foliar de las NPs	38
5.7.- Variables de crecimiento.....	39
5.8.- Análisis estadístico de los datos	40
VI.- RESULTADOS	41
6.1.- Caracterización de las NPs de ZnO.	41
6.2.- Comportamiento fisiológico.....	43
VII.- DISCUSIÓN	46
VIII.- CONCLUSIÓN	48
IX.- REFERENCIAS	49

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Comercio de calabacita en México en el año 2016 (SAGARPA-SIAP., 2017).	7
Cuadro 2. Taxonomía de la <i>Cucurbita pepo</i> (CONABIO, 2014).	8
Cuadro 3. Concentración de nutrientes en la solución nutritiva.....	38
Cuadro 4. Efecto de la aplicación foliar de NPs ZnO en diferentes variables fisiológicas de <i>Cucurbita pepo</i> en la mitad del ciclo.....	44
Cuadro 5. Efecto de la aplicación foliar de NPs de ZnO en diferentes variables fisiológicas de <i>Cucurbita pepo</i> al final del ciclo	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparación de objetos a medidas nanométricas.....	19
Figura 2. Principales aplicaciones de la Nanotecnología (Avalos <i>et al.</i> , 2013).	20
Figura 3. Método de síntesis de nanopartículas metálicas (Toshima <i>et al.</i> , 1992).....	21
Figura 4. Diferentes aplicaciones potenciales de nanotecnología en diversos aspectos de la agricultura moderna (Ghormade <i>et al.</i> , 2011).	25
Figura 5. Vía de absorción y translocación de nanopartículas de ZnO en tejidos de raíces de plantas (Rauput <i>et al.</i> , 2018).	29
Figura 6. Ubicación Geográfica de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna.	35
Figura 7. Charolas de unicel con mezcla de peat moss (70%) y zeolita (30%).	37
Figura 8. Aplicación foliar de NPs de ZnO de forma manual.	39
Figura 9. Micrografías correspondientes de la muestra de NP de ZnO (a) y (b) imagen TEM típica de NP y micrografía HRTEM de una nanopartícula respectivamente, (c) distribución del tamaño de los NP y (d) patrón SAED Típico obtenido para el área observada en el panel (a).	42
Figura 10. Diferencia entre el control T1 (izquierda) a comparación con los tratamientos (T2, T3, T4 y T5)	43

I.- INTRODUCCIÓN

La necesidad de alimentar aproximadamente a 9 mil millones de personas antes de 2050 establece la intersección de la nanotecnología, la alimentación y la agricultura como una prioridad de investigación en los próximos años (Chen *et al.*, 2014). La agricultura es el único proveedor de alimentos para la humanidad y su desarrollo es un fenómeno obligatorio para combatir la pobreza y el hambre que debe eliminarse de la situación actual. Por lo tanto, deberíamos adquirir nuevos conocimientos que ayuden a generar herramientas innovadoras para el desarrollo agrícola (Prasad *et al.*, 2017).

A pesar que la nanotecnología ofrece grandes ventajas y de haber demostrado un gran potencial en la agricultura de precisión (Duhan *et al.*, 2017), los países en desarrollo no han logrado aún un uso eficiente de la misma para la producción de alimentos. (Prasad *et al.*, 2017).

En los últimos años el uso y desarrollo de la nanotecnología y de nanopartículas ha crecido en gran escala, sin embargo, las investigaciones orientadas al posible impacto toxicológico en humanos y medio ambiente de esta tecnología todavía está en su infancia (Elsaesser y Howard, 2012). Existe una gran preocupación en la ciencia de que la exposición a estos novedosos nanomateriales pueda tener efectos adversos significativos en los sistemas biológicos del planeta. Por ello se ha desarrollado un nuevo campo denominado nano toxicología, que se ocupa de estudiar los efectos y riesgos potenciales de partículas con tamaños menores a 100 nm (Oberdörster *et al.*, 2007).

Apoiados en este nuevo campo, es necesario realizar estudios a profundidad que expongan los posibles riesgos de la nanotecnología en la producción de alimentos, con el fin de entender mejor esta interacción y tratar de evitar y minimizar al máximo dichos riesgos (de Oliveira *et al.*, 2014; Sadeghi *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2018).

El avance de la tecnología ha permitido crear y manipular materiales a escala nanométrica, esto indica que es solo cuestión de tiempo para encontrar nanomateriales más avanzados en nuestras granjas y en nuestros platos. Lo que aún no sabemos es qué formas tomarán estas tecnologías. Esto provoca un entusiasmo por los mejores productos y preocupaciones debido a las nuevas propiedades polifacéticas que la comunidad científica aún no comprende por completo (Chen *et al.*, 2014).

El uso de nanomateriales en el suelo como nanofertilizantes o nanopesticidas podría generar residuos nanométricos, y en consecuencia generar bioacumulación en el medio ambiente y en la cadena alimentaria. Por lo tanto, es necesario desarrollar una "nanotecnología verde", un enfoque conceptual para equilibrar los beneficios proporcionados por los nanoproductos con la evaluación y gestión del medio ambiente, la salud y los riesgos de seguridad. Estos riesgos potenciales deberían evaluarse utilizando una perspectiva del ciclo de vida adaptada adecuadamente (Iavicoli *et al.*, 2017).

Mientras que el efecto de las nanopartículas en plantas varía con la especie, edad y características de la nanopartícula, la base fisiológica necesita ser estudiada. Se ha dicho que los efectos benéficos y/o adversos de las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) pueden afectar el sistema antioxidante de las plantas. Este sistema juega un papel muy importante en la mitigación de los efectos adversos de las Especies Reactivas de Oxígeno (ERO), en la fotosíntesis y en la fotorrespiración. Las ERO dañan los ácidos nucleicos, proteínas y lípidos permitiendo la formación de productos tóxicos como el malondialdehído (MDA). El Zinc juega un papel central en la estabilidad de biomembranas y proteínas y ayuda a equilibrar las ERO y su eliminación debido a su presencia en la superóxido dismutasa (SOD) (Burman *et al.*, 2013).

Estudios previos con nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NP), sugieren un aumento en crecimiento y desarrollo de plantas como: maní; soya; trigo y cebolla, se informó que una concentración baja de ZnO NPs exhibió un efecto benéfico sobre la germinación de las semillas. Sin embargo, una dosis más alta

de ZnO NP afectó la germinación de estas. El efecto de las NP en la germinación depende de las concentraciones de NP y varía de una planta a otra. (De Rosa *et al.*, 2013) aplicaron diferentes concentraciones de ZnO NP en pepino, alfalfa y tomate, y encontraron que solo se mejoró la germinación de semillas de pepino. (Raliya y Tarafdar, 2013) informaron que las NP de ZnO indujeron una mejora significativa en la biomasa de la planta de *Cyamopsis tetragonoloba*, el crecimiento de brotes y raíces, el área de la raíz, la clorofila y la síntesis de proteínas, la población de microbios rizosféricos, la fosfatasa ácida, la fosfatasa alcalina y la actividad de fitasa en Rizosfera de frijol en racimo.

Por lo anteriormente expuesto urge la necesidad de innovar en el área de la agricultura para un desarrollo sustentable. En México, existen investigaciones con diversas nanopartículas aplicadas a la agronomía, sin embargo, hacen falta más trabajos que detallen los efectos de las mismas en la gran diversidad de cultivos y de regiones de nuestro país. Por ello surgió la idea de realizar este trabajo en la Comarca Lagunera, utilizando como indicador biológico la *cucúrbita pepo*, una de las hortalizas producidas en la región. El objetivo de este trabajo es incorporar las NPs de ZnO en una especie cucurbitácea para determinar si existe una mejora en la producción y rendimiento de la misma.

II.- OBJETIVO GENERAL

Estudiar los efectos en las variables morfológicas y fisiológicas causados por la aplicación foliar de Nanopartículas de ZnO en las plantas de *Cucúrbita pepo*.

2.1.- Objetivos específicos

- 1.- Determinar el efecto en respuestas morfológicas de *cucúrbita pepo* por la aplicación de Nanopartículas de ZnO.
- 2.- Determinar el efecto en respuestas fisiológicas de *cucúrbita pepo* por la aplicación de Nanopartículas de ZnO.

III.- HIPÓTESIS

La incorporación foliar de Nanopartículas de ZnO tendrá un efecto positivo o negativo en el desarrollo de la planta *Cucurbita pepo*, con lo que se verán influenciadas variables como la altura de planta, número de hojas, frutos y biomasa.

IV.- REVISIÓN DE LITERATURA

4.1.- Origen de la calabacita

La calabacita también conocida como calabacín o calabaza de verano, es originaria de Mesoamérica. En algunos países de América Latina se le nombra “zapallito”. Su nombre científico es *Cucurbita pepo* L. (SIAP., 2018).

4.2.- Características de la calabacita

La *Cucurbita pepo* L. pertenece a la familia Cucurbitaceae y se consume ampliamente en todo el mundo como fuente nutritiva de alimento (Médici y Neuza, 2012).

El fruto de la calabacita es apreciado porque contiene pocas calorías, es rico en vitaminas (C, E, B1, B2 y β -caroteno) y minerales (K, Ca, Fe, Zn, Mn, Mg, P, B, Cu y N) (Danilchenko *et al.*, 2001).

Para el establecimiento del cultivo se utiliza generalmente la siembra directa, aunque también el trasplante se realiza con mucha efectividad el prendimiento en campo, siempre y cuando se utilicen charolas de plástico o polietileno de 72 a 128 cavidades debido a su amplio sistema de raíces. Se trasplanta cuando las plántulas tienen de 2 a 3 hojas verdaderas. Se obtienen poblaciones de 10,000 a 14,000 plantas por hectárea. La densidad de siembra es de 4 a 6 kg/ha; la distancia entre surcos es de 92 a 100 cm, y la distancia entre plantas es de 45 a 100 cm a hilera sencilla. Prospera en cualquier tipo de suelo, prefiriendo los profundos y ricos en materia orgánica. Catalogada como una hortaliza moderadamente tolerante a la acidez, su pH es de 6.8 a 5.5 en lo que se refiere a la salinidad. Para su consumo se elaboran platillos ricos y variados. Se consume sola, con queso, en combinación con granos de elote y rajas de chile, en sopas, guisados y muchas recetas más. Son generosas en minerales y vitamina C (SAGARPA-SIAP., 2016).

La mayoría de las especies de *Cucurbita* son mesófitas, tienen sistemas de raíces fibrosas y son monoicas, portan flores unisexuales grandes, intensamente de color amarillo anaranjado, productoras de néctar que se alimentan de abejas (parís., 2010).

Este tipo de vegetal tiene la característica de crecer a lo largo del suelo, por lo que se conoce como “rastrera” y puede medir hasta 10 m de longitud. Es una planta monoica (con ambos sexos), pero con flores masculinas y femeninas debidamente separadas. La temperatura óptima para la germinación de la semilla oscila entre los 22 a 25 °C. Las calabacitas tienen diferentes colores, tamaños y formas según la especie a la que pertenezcan. En cuanto a longitud, miden aproximadamente de 12 a 15 centímetros. Crecen en climas cálidos y son intolerantes a las heladas. Los tallos, que están cubiertos de vellos, son erectos en las primeras etapas de desarrollo, hasta antes del tercer corte de frutos (SIAP., 2018).

4.3.- Cultivo de calabacita en México

Una variedad de calabacita muy cultivada en México es la *Gray Zucchini*, que se caracteriza por ser herbácea y precoz, y por iniciar la producción 50 días después de la siembra (Sedano *et al.*, 2011).

En México los principales estados productores de calabacita en el año 2017 fueron Sonora, Puebla y Sinaloa aunque existen zonas con alto potencial productivo que no son aprovechados tal es el caso de Tamaulipa y Veracruz. La calabacita en promedio ligeramente se produce más en el ciclo otoño-invierno con 54 por ciento. El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) dio a conocer la cifra de producción de calabacita. De acuerdo con el cierre preliminar 2017, la producción nacional fue de 547.1 mil toneladas, 9.0 % más que en 2016, cosechadas en una superficie sembrada de 29 mil 579 hectáreas. Con excepción de los estados de Chiapas y Tabasco, esta cucurbitácea se produce en todo el país (SAGARPA-SIAP., 2015., SIAP., 2018).

4.5.- Importancia económica del cultivo de la calabacita

La producción de calabacita se considera como una fuente de ingresos y empleo en el sector agrícola, con mucho valor para la sociedad debido al impacto que tienen en la nutrición de la población (Delgadillo., 2000).

Cuadro 1. Comercio de calabacita en México en el año 2016 (SAGARPA-SIAP., 2017).

	Importaciones	Exportaciones	Saldo Balanza	Variación (%) 2015-2016	
				Importaciones	Exportaciones
Vol (Ton)	2,048	511,408	509,360	13.8	17.1
Valor Mdd	2.1	177.1	175	83.2	15.5

Vol: volumen.

Ton: Tonelada.

Mdd: Millones de dólares.

México produce un volumen significativo de calabacita, del cual 75.5% de lo cosechado se exporta, siendo Estados Unidos de América su destino final. La hortaliza es de los primeros agroalimentarios que más divisas reportan al país por su venta internacional. (SAGARPA-SIAP., 2017., SIAP., 2018).

4.5.- Clasificación taxonómica

Cuadro 2. Taxonomía de la *Cucurbita pepo* (CONABIO, 2014).

Reino	<i>plantae</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Violales</i>
Familia	<i>Cucurbitaceae</i>
Genero	<i>Cucurbita L</i>
Especie	<i>Pepo L.</i>
Subespecie	<i>pepo</i>

4.6.- Descripción morfológica

El calabacín es una planta anual, rastrera y de crecimiento indeterminado cuyas principales características morfológicas son:

4.6.1.- Raíz

La planta de calabacita presenta una raíz axonomorfa, con una raíz principal que alcanza un gran desarrollo si se compara con las raíces secundarias que la acompañan, el desarrollo de estas últimas en el suelo está determinado por el tipo de cultivo y el aporte de agua y nutrientes que se realice. Si el tallo entra en contacto con tierra húmeda puede desarrollar raíces adventicias en los entrenudos de los tallos.

4.6.2.- Tallo

La planta de calabacita presenta dominancia apical, con un tallo principal con atrofia de brotaciones secundarias en la mayoría de las ocasiones. Tiene forma cilíndrica, es áspero al tacto debido a la superficie pelosa que tiene y es bastante consistente. Los entrenudos son, en general, cortos y desde ellos parten las hojas, las flores y los frutos. Debido al porte rastrero, y en función del tipo de cultivo que se esté realizando, se aconseja la realización del entutorado con el fin de optimizar el rendimiento de la cosecha tanto en cantidad como en calidad.

4.6.3.- Hojas

Presenta grandes hojas palmeadas de color verde que parten directamente del tallo a través del peciolo de manera helicoidal y alterna. El limbo presenta una cara superior suave al tacto y cara inferior muy áspera, con pelos cortos y fuertes. El borde de la hoja es dentado y presenta cinco lóbulos.

El peciolo es largo, hueco y consistente, tiene pelos rígidos en la superficie por lo que es muy áspero al tacto.

4.6.4.- Flores

El calabacín es una planta monoica al presentar flores masculinas y femeninas en el mismo pie. Sus flores son grandes, de color amarillo intenso y con forma acampanada. Se disponen alrededor del tallo al que se unen a través de un largo pedúnculo, ya que nacen en las axilas de las hojas. En los primeros estadios de desarrollo de la planta la mayoría de las flores son masculinas, con el paso de los días van apareciendo las flores femeninas, hasta que estas últimas acaban siendo mayoritarias en la última fase del ciclo productivo. La apertura de la flor se produce en las primeras horas de la mañana y solo se

mantiene viable varias horas, para realizar la fecundación es necesaria la intervención de abejas, por lo que se produce una polinización cruzada.

4.6.5.- Frutos

El calabacín es un fruto carnosos, cilíndrico, alargado y sin cavidad central. En general es de color verde. La recolección para su comercialización se lleva a cabo cuando el fruto aun esta inmaduro, atendiendo a los requerimientos del mercado en lo que a calidad se refiere, ya que el fruto maduro no tienen las características organolépticas demandadas para su comercialización: dureza, sabor, aparición de semillas, etc. (Conabio, 2014).

4.7.- fertilizantes agrícolas

La importancia de los fertilizantes químicos radica en su uso como el principal insumo agrícola para aumentar la productividad. Con el uso de fertilizantes, el rendimiento por hectárea puede a menudo duplicarse o triplicarse. Los fertilizantes proveen nutrientes a los cultivos para producir más alimentos y cultivos comerciales, y de mejor calidad (FAO-IFA., 1992).

Existen otros tipos de fertilizantes con diferentes objetivos tal es el caso de la fertilización biológica que se basa en la utilización de insumos naturales dentro de los que se encuentran los abonos orgánicos, compostas, biosólidos y microorganismos como hongos y bacterias, para mejorar la absorción de nutrientes en la rizósfera, producir estimulantes de crecimiento para las plantas, mejorar la estabilidad del suelo, biodegradar sustancias, reciclar nutrientes y favorecer sinergias microbianas, entre otros. Adicionalmente, su uso permite mejorar la productividad por área cultivada en corto tiempo, consumir menores cantidades de energía, mitigar la contaminación del suelo y del agua, incrementar la fertilidad del suelo y favorecer el control biológico de fitopatógenos (Carbajal y Mera 2010).

La fertilización foliar se ha convertido en una práctica común e importante para los productores, porque corrige las deficiencias nutrimentales de las plantas, favorece el buen desarrollo de los cultivos y mejora el rendimiento y la calidad del producto. La fertilización foliar no substituye a la fertilización tradicional de los cultivos, pero sí es una práctica que sirve de respaldo, garantía o apoyo para suplementar o completar los requerimientos nutrimentales de un cultivo que no se pueden abastecer mediante la fertilización común al suelo. El abastecimiento nutrimental vía fertilización edáfica depende de muchos factores tanto del suelo como del medio que rodea al cultivo. De aquí, que la fertilización foliar para ciertos nutrimentos y cultivos, bajo ciertas etapas del desarrollo de la planta y del medio, sea ventajosa y a veces más eficiente en la corrección de deficiencias que la fertilización edáfica (Trinidad y Aguilar., 1999).

4.8.- Sustratos agrícolas

El sustrato es el medio en el cual las raíces puedan crecer y también sirve como soporte a la planta, puede estar constituido de un solo material o mezclas. Un sustrato adecuado para el crecimiento de las plantas debe presentar alta capacidad de retención de agua, fácil drenaje y una apropiada aireación (Fernández y Cora., 2004).

La investigación de sustratos para el crecimiento de plantas consiste en buscar nuevos materiales o mezclas en los que, además de proporcionar mejores condiciones de crecimiento, se considere la disminución del impacto ambiental, en aspectos como reducir el uso de fertilizantes y pesticidas, así como disminuir los costos (Riviére y Caron, 2001).

Las propiedades físicas de los sustratos son consideradas como las más importantes. Esto es debido a que si la estructura física de un sustrato es inadecuada, difícilmente podremos mejorarla una vez que se ha establecido el cultivo. En cambio, las propiedades químicas si pueden ser alteradas posterior al establecimiento del cultivo. Por ejemplo, si un sustrato no posee un pH o el nivel nutricional adecuado, estos puede mejorarse añadiendo enmiendas o

abonos. Similarmente, un exceso de sales solubles puede remediarse con un lavado (o lixiviado) con agua de baja salinidad. Un medio bueno deberá de tener buenas propiedades físicas como son: aireación y drenaje, retención de agua y bajo peso húmedo por volumen (sinónimo de densidad aparente). (Iskander., 2002).

Las propiedades físicas de los sustratos están determinadas por el tamaño, la estructura interna de las partículas, su granulometría y el tipo de empaquetamiento. Algunas de las más destacadas son: densidad real y aparente, la distribución granulométrica, la porosidad y la aireación, la retención de agua, la permeabilidad, la distribución de tamaños de poros y la estabilidad estructural. Las propiedades químicas están definidas por la composición elemental de los materiales; éstas caracterizan las transferencias de materia entre el sustrato y la solución del mismo. Entre las propiedades químicas destacan: capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica, pH, capacidad tampón, contenido de nutrimentos y relación C/N (Acosta *et al.*, 2008).

4.8.1.- Clasificación de los sustratos agrícolas

La mayoría de los sustratos usados en la producción de plantas consisten en una combinación de componentes orgánicos e inorgánicos. Algunos de los materiales inorgánicos comunes incluyen arena, vermiculita, perlita, arcilla calcinada, piedra pómez y otros subproductos minerales. Por otro lado, los componentes orgánicos más populares incluyen: musgo de turba (peat moss), productos de madera (corteza, aserrín, virutas), composta de materia orgánica o desechos de jardinería, polvo de coco, lodos de depuradora, fango, estiércol, paja, cascarilla de arroz y de cacahuete, etc (Iskander., 2002).

Fortis *et al* (2012) indican que el uso y la aplicación de sustratos orgánicos incrementan la carga de nutrientes para los cultivos lo cual se recomienda más el uso de estos sustratos.

La necesidad de caracterizar materiales disponibles en las diferentes regiones del país que puedan servir como sustratos agrícolas es fundamental, pues además de ser una alternativa para disminuir los costos de producción, se daría uso al residuo acumulado (Moreira *et al.*, 2010).

Acosta *et al.* (2008) nos da un listado de materiales con potencial para usarse como sustratos en la producción de plantas en contenedor en México.

- Suelos negros (Vertisoles y Feozems)
- Arena y grava de río
- Arena y grava de mina
- Arena y grava de tezontle negro
- Arena y grava de tezontle rojo
- Arena de cenizas volcánicas
- Grava de piedra triturada
- Piedra pómez o tepojal
- Arena de playa
- Arena de dunas
- Tepetates
- Suelos arenosos
- Zeolita
- Ladrillo y teja molidos
- Tierra lama o suelos de migajón (fluviosoles)
- Tierra de azolve de presas y canales
- Tierra de monte (Andosoles)
- Tierra de hoja de encino
- Tierra de cáscara de oyamel
- Paja de trigo, avena y cebada
- Paja de sorgo
- Paja de arroz
- Cascarilla de arroz
- Cáscara de cacahuate
- Composta de champiñones
- Rastrojo de caña de azúcar
- Bagazo de caña
- Restos de poda de pasto
- Rastrojo de maíz
- Rastrojo de frijol
- Otros rastrojos
- Basuras orgánicas
- Residuos orgánicos
- Compostas orgánicas
- Lombricompostas
- Lodos y fangos tratados
- Fibra y polvillo de coco
- Fibras naturales (Algodón y Henequén)
- Estropajo
- Peat moss o turba

- Tierra de hoja de bosque mixto
- Corteza de árboles
- Tierra de hoja de pino
- Aserrín y viruta
- Resto de poda de árboles
- Troncos en descomposición
- Estiércol de ganado Bovino
- Estiércol de granjas de aves
- Estiércol de ovinos
- Estiércol de equinos
- Residuos de pulpa y cascarilla de café
- Composta de lirio acuático y tule
- Vermiculita
- Perlita o Agrolita
- Lana roca
- Poli estireno (Unicel)
- Espumas sintéticas
- Residuos de fibras sintéticas
- Escorias de fundición
- Plásticos triturados
- ...entre otros,

4.8.2.- Beneficios de la zeolita como sustrato

Las zeolitas fueron reconocidas como un grupo mineral por el geólogo sueco A. F. Cronsted en 1756. Su nombre se deriva de las palabras griegas *zeo* (que hierve) y *lithos* (piedra). Cronsted denominó al nuevo grupo mineral como zeolitas, que significa “piedra que hierve”, porque al calentar los cristales con un mechero se produjo burbujeo y espuma. La propiedad del intercambio de iones de las zeolitas fue reportada por primera vez por Damour en 1840, quien mostró que estos minerales podrían ser reversiblemente deshidratados sin cambios aparentes en su transparencia o morfología cristalina (Jakkula, 2005).

Las zeolitas naturales son aluminosilicatos cristalinos microporosos con estructuras bien definidas que constan de un andamiaje formado por tetraedros de $[\text{SiO}_4]^{4-}$ y $[\text{AlO}_4]^{5-}$, unidos a través de los átomos de oxígeno (Leyva *et al.* 2005).

La estructura de las zeolitas está integrada por una red tridimensional surcada por una trama interna de poros y cavidades, y por dos unidades: la primaria y la secundaria es la más simple y consiste de un tetraedro de cuatro iones de oxígeno que rodean un ión central de sílice (Si) o aluminio (Al). La unidad primaria se enlaza entre sí para formar una estructura tridimensional en la que los iones de oxígeno que están en los vértices del tetraedro se comparten con otro tetraedro. Esta disposición reduce la proporción oxígeno: sílice de 4:1 en la unidad primaria, a 2:1 en la unidad tridimensional (Paredes *et al.*, 2013).

Existen más de 170 tipos mineralógicos de zeolitas, pero la Clinoptilolita es una de las más abundantes y de las que más aplicaciones se han encontrado (Hernández *et al.*, 2013).

En México se han identificado yacimientos en los estados de Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Estado de México, Morelos, Oaxaca, Puebla, Sonora, San Luis Potosí, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas, formados en depósitos con afinidad netamente sedimentaria y otros con carácter ígneo. Las reservas de zeolita no han sido calculadas, pero se estima que tan solo en Oaxaca existen grandes yacimientos (Paredes *et al.*, 2013).

Las características más destacadas de los materiales zeolíticos según Bekkum *et al.* (2010), son las siguientes:

- Mejora las características físicas, químicas y biológicas del suelo, gracias a un efecto de agregación de sus partículas y al aporte de micronutrientes naturales.
- Incrementa la capacidad de intercambio catiónico del suelo.
- Aumenta la retención de fertilizantes y humedad del suelo, lo que permite reducir los volúmenes de dichos materiales y el estrés del cultivo en la época seca.
- Incrementa los niveles en el suelo de fósforo, calcio, potasio, y magnesio entre otros, más allá de lo que él mismo porta, evitando problemas de

fijación y optimizando las concentraciones de los mismos en el suelo y en los fertilizantes adicionados al suelo.

- Tiene un efecto centralizador del pH, reduce la acidez del suelo y los excesos de fierro y aluminio.
- Aumenta la tolerancia natural de las plantas a plagas y enfermedades, al permitir una nutrición completa y equilibrada, que mantiene al cultivo en estado de proteosíntesis.
- Su efecto de liberación lenta y continua, hace que el producto trabaje por un largo periodo de tiempo, sin pérdidas por lavado y con un aprovechamiento de hasta un 96%.
- Incrementa el contenido nutritivo de los alimentos, tanto de origen animal como vegetal.
- Gran capacidad de absorción dependiendo del tamaño de las aberturas de poros y el volumen de hueco.
- Presenta una diversidad de formas.
- Su actividad catalítica que le permite funcionar como portador de materiales nanocompuestos y a nivel micrométrico que se pueden liberar gradualmente.
- Alto grado de hidratación.

4.8.3.- La zeolita en la agricultura

Las zeolitas se han utilizado en la agricultura desde la década de 1960 como mejoradores de suelo, aditivos de fertilizantes y como fertilizantes de liberación lenta, debido a la eficacia de estos sólidos cristalinos micro-porosos como intercambiadores de cationes y la capacidad de retención de agua (Jakkula., 2005., Paredes *et al.*, 2013).

Este mineral retiene en su estructura porosa una gran cantidad de agua, por lo que se convierte en un depósito que asegura una mejor condición de humedad en el suelo, lo que favorece al cultivo aún en época de sequía también tienen

una estructura resistente y estable que se mantiene activa en el suelo, permitiendo retener el nitrógeno, potasio, calcio, magnesio y micronutrientes en la rizósfera para ser absorbidos por las plantas cuando estas los requieran. (Paredes *et al.*, 2013). Uno de los tipos de zeolita que más se utiliza en la agricultura es la clinoptilolita, por su alta capacidad de intercambio catiónico, catálisis, hidratación y deshidratación. Se aplica en los cultivos para promover del crecimiento de las plantas: retiene el nitrógeno y lo va liberando poco a poco, con lo que se mejora su efecto en las plantas (Polat *et al.*, 2004).

4.9.- Nanotecnología

La Nanotecnología (NT) es el estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del control de la materia a nano escala, permite trabajar y manipular las estructuras moleculares y sus átomos. Un nanómetro equivale a la billonésima parte de un metro ($1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$) (Zhan *et al.*, 2015, Ghosh *et al.*, 2016)

La ciencia a nano escala es una frontera científica apasionante que se centra en la escala de longitud de aproximadamente 1-100 nm. El avance de la instrumentación analítica ha mejorado enormemente nuestra capacidad de observar mundos físicos y biológicos a escala nanométrica y ha llevado a la creación de una gran diversidad de nuevos materiales (Chen *et al.*, 2014, Sadeghi *et al.*, 2017).

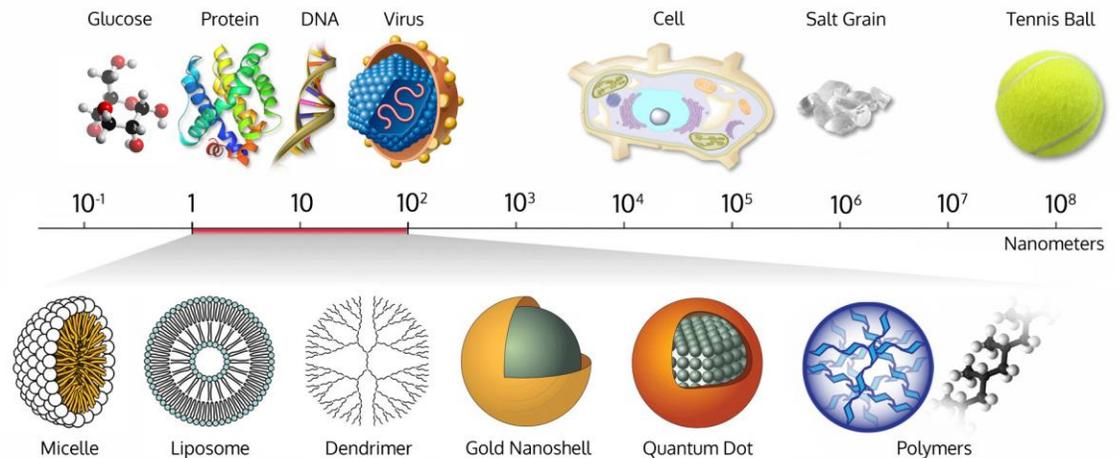


Figura 1. Comparación de objetos a medidas nanométricas.

Debido a que las Nanopartículas tienen características únicas y nuevas, se han aplicado extensivamente en diversos aspectos de la vida diaria, por ejemplo, en la medicina con la fabricación de diversos fármacos (terapia del cáncer) (Hussain *et al.*, 2017), en la producción de energía (Cunningham *et al.*, 2018), catalizadores, cosméticos, agricultura de precisión, electrónica y biosensores (Nel *et al.*, 2006, Duhan *et al.*, 2017, Youssef *et al.*, 2017., Kim *et al.*, 2018).

En el sector agrícola estudios han demostrado los beneficios de la aplicación de la nanotecnología, a nivel mundial, muchos países están apostando para su investigación. La adopción de la nanotecnología en la agricultura desempeña un papel crucial para la demanda de una población creciente con recursos naturales limitados (Ali *et al.*, 2014, Zhang *et al.*, 2015).

Todas esas aplicaciones potenciales que han sido generadas por trabajos de investigaciones se ven claramente reflejadas en las publicaciones sobre NT que han ido en constante aumento, manifestándose notoriamente en el incremento exponencial anual de las publicaciones científicas relacionadas con el uso de la NT en el sector agrícola y de productos alimenticios (Lira-saldivar *et al.*, 2016a).

Sin embargo, incluso con todos los beneficios, el uso de la nanotecnología, especialmente en la producción de alimentos, debe ser bien estudiado para no

causar más daños al medio ambiente y la salud humana (de Oliveira *et al.*, 2014., Dominguez *et al.*, 2017., Sadeghi *et al.*, 2017., Kim *et al.*, 2018).



Figura 2. Principales aplicaciones de la Nanotecnología (Avalos *et al.*, 2013).

4.10.- Nanopartículas

Hay una gran diversidad de NP disponibles en el mercado hasta la fecha, lo cual brinda la posibilidad de seleccionar y elegir los NP más adecuados para las aplicaciones específicas. (Youssef *et al.*, 2017).

Cualquier material creado a escala manométrica presenta nuevas propiedades que son diferentes de los materiales convencionales, debido a su pequeño tamaño y elevada relación superficie volumen, expresada en mayor reactividad química y energía superficial, con alta movilidad en el cuerpo de un organismo incluyendo la entrada celular (Anusuya y Nibiya, 2016).

4.11.- Síntesis de Nanopartículas

Los métodos de síntesis de nanopartículas suelen agruparse en dos categorías, los llamados “top-down”, en los que se llega a nanomateriales sometiendo materiales convencionales a diversos procesos como la molienda del desgaste y la volatilización de un sólido, y los “bottom-up” en los que se construyen nanopartículas a partir de átomos o moléculas, Figura 3. Este último enfoque es mucho más popular en la síntesis de nanopartículas. Las nanopartículas pueden ser soportadas o no. El soporte da estabilidad a las nanopartículas, además de que les puede conferir propiedades específicas (Wachs, 2001., Gutierrez et al., 2013). El método químico es el más conveniente para la obtención de nanopartículas uniformes y pequeñas (Zanella, 2012).

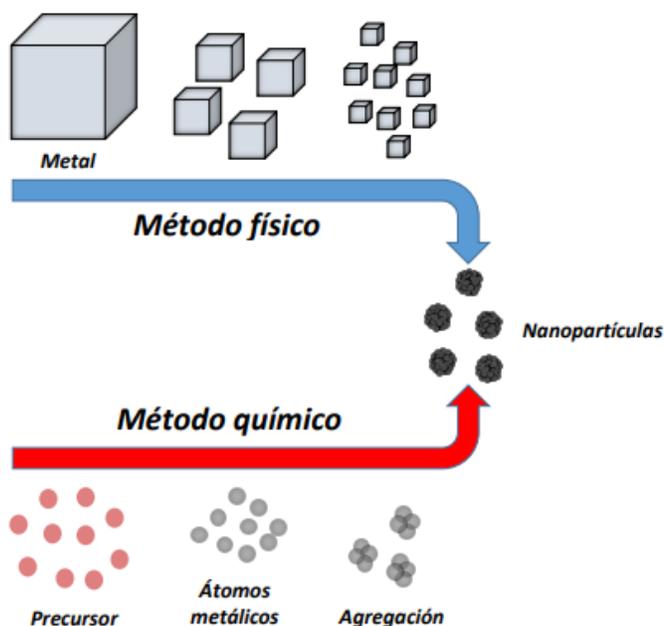


Figura 3. Método de síntesis de nanopartículas metálicas (Toshima *et al.*, 1992)

4.12.- Síntesis verde de Nanopartículas.

Agarwal *et al.*, (2017), demostraron que las Nanopartículas de ZnO de tamaño de 36 nm sintetizadas a partir de algas marinas *Sargassum myriocystum* (microalgas) obtenidas del golfo de Mannar no mostraron cambios visibles, incluso después de 6 meses, demostrando claramente la estabilidad de las Nanopartículas que se habían formado. A partir de los resultados de estudios FTIR (Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier), se ha confirmado que los pigmentos solubles de fucoïdan secretados por microalgas fueron responsables de la reducción y estabilización de las Nanopartículas.

Otro ejemplo de síntesis verde es el realizado por Ahmed *et al.*, (2011) donde utilizaron el ajo (*Allium sativum*) como agente reductor. Ellos desarrollaron un método mediante el cual se preparaba un extracto de ajo hervido para adicionarlo posteriormente a una solución acuosa de AgNO₃ que se encontraba a una temperatura de 50-60 ° C. Mediante este método observaron la reducción de los iones de plata en solo 30 minutos mediante el cambio de color de la solución a un dorado/amarillo. La suspensión de nanopartículas de plata (Ag NPs) obtenida fue estable por más de un mes al no mostrar precipitación ni cambio de color. El mismo experimento fue repetido por Cardeño *et al.*, (2014) obteniendo el mismo resultado.

4.13- Nanopartículas en la industria alimentaria.

El uso principal de las NPs en la industria alimentaria se debe a su actividad antimicrobiana, por ejemplo el dióxido de titanio, es un colorante alimentario que puede utilizarse como barrera de protección en el envasado de alimentos o las NPs de plata utilizadas como agentes antimicrobianos en los paneles de los refrigeradores y frigoríficos, así como en los recipientes de almacenamiento, líneas de envasado y otras superficies destinadas a entrar en contacto con los alimentos (Allhoff y Lin, 2014).

Las NPs orgánicas se emplean principalmente para mejorar el valor nutritivo de los alimentos, utilizándose como vehículo para la liberación de vitaminas y otros nutrientes en nanocápsulas (Zhang *et al.*, 2012).

4.14.- Nanoparticulas en Medicina

El campo de la medicina al igual que otras ciencias se ha beneficiado de actualizaciones y nuevas técnicas de diagnóstico, tratamiento y prevención de diferentes enfermedades. Con el apoyo de la nanotecnología como herramienta para lograr dicho objetivos, la práctica clínica ha conseguido ofrecer un mejor servicio médico asegurando a los pacientes una mayor eficacia en los métodos de tratamientos, dando lugar a una nueva rama de la ciencia en el arte de curar, que se la ha reconocido como nano medicina (Naranjo *et al.*, 2018).

Una de las alternativas para el cáncer de piel es el uso de nanopartículas metálicas. Las nanopartículas de plata tienen muchas propiedades que varían dependiendo de su tamaño y su forma, como, por ejemplo, sus características ópticas, químicas, magnéticas y físicas, lo que les confiere una gran importancia debido al gran número de aplicaciones en las que se pueden utilizar (Kent y Vikesland., 2012).

Por otro lado las nanopartículas de óxido metálico poseen una actividad antimicrobiana más potente en comparación con las nanopartículas metálicas debido a las áreas superficiales altas, la estructura cristalina con más número de bordes y esquinas y la presencia de otros sitios reactivos (Sathyanaraynan *et al.*, 2013).

Distintos tipos de Nanoparticulas son aplicables dentro de la medicina, a saber, nano-particulas terapéuticas y de diagnóstico, que a su vez son de dos clases, unas de composición orgánica como polímeros, liposomas, micelas, etc., cuyas aplicaciones van desde la vacunación hasta la hemostasia, sistemas de administración de depósito de fármacos con larga duración y agentes tópicos para la administración sistémica a través de la piel. Y por otro lado, las

Nanopartículas inorgánicas que corresponden a metales como oro, plata, óxido de hierro, entre otras, que se han desarrollado en la clínica para una variedad de aplicaciones que incluyen la anticoncepción, la obtención de imágenes de ganglios linfáticos centinela intraoperatorios y ablación térmica de tumores (Naranjo *et al.*, 2018)

En la Odontología también se han desarrollado avances importantes, tal es el interés de las aplicaciones de la nanotecnología en Odontología que ha surgido un nuevo campo llamado nanodontología, en el cual hay avances en los materiales de obturación como la resina, utilizando partículas de nanorrelleno, adhesivos con nanopartículas. En cuanto a tejido óseo, existen nanopartículas de hidroxiapatita para tratar los defectos óseos (Castros *et al.*, 2016).

La hidroxiapatita se utiliza como recubrimiento de implantes metálicos de titanio para permitir su osteointegración al hueso que actúa de soporte. Este es el caso de las prótesis totales de cadera o los tornillos para restauraciones en pacientes edentulos. Se utiliza también como aumento para reborde mandibular, relleno de extracciones producidas por extracción de tumores y quistes, como ayuda en el tratamiento de grandes fracturas o como prótesis orbital en el caso de enucleaciones (Riaño *et al.*, 2016).

4.15.- Nanopartículas en el sector agrícola.

La innovación en el sector agroalimentario es muy necesaria debido al aumento de la demanda alimentaria a nivel mundial y los desafíos del cambio climático. En el pasado, la agricultura se benefició de muchas innovaciones tecnológicas, incluyendo variedades híbridas, productos químicos sintéticos y biotecnológicos, actualmente los investigadores están buscando en la nanotecnología nuevas fuentes de mejoras agrícolas (Parisi *et al.*, 2015).

Por ello urge mejorar las prácticas agrícolas convencionales en prácticas inteligentes mediante la participación de tecnologías avanzadas para una agricultura sostenible (Chhipa., 2016).

Se ha informado que las NP con diferentes composiciones, tamaños y concentraciones, propiedades físicas y químicas influyen en el crecimiento y desarrollo de varias especies de plantas con efectos tanto positivos como negativos (Ma *et al.*, 2010)

Por lo tanto la nanotecnología podría ser la siguiente tecnología revolucionaria en la agricultura que pudiera proporcionar herramientas sostenibles a la práctica de la agricultura convencional en forma de nanofertilizante y nanopesticida lo cual se ha hecho más popular en la última década (Lira *et al.*, 2016b, Chhipa., 2016, Duhan *et al.*, 2017).

Esta novedosa tecnología consiste en manipular nanopartículas y/o nano-elementos con el objetivo de producir insumos que sean aplicados en la agricultura intensiva, pretendiendo obtener un uso más eficaz en las aplicaciones de los productos antes mencionados (Duhan *et al.*, 2017).

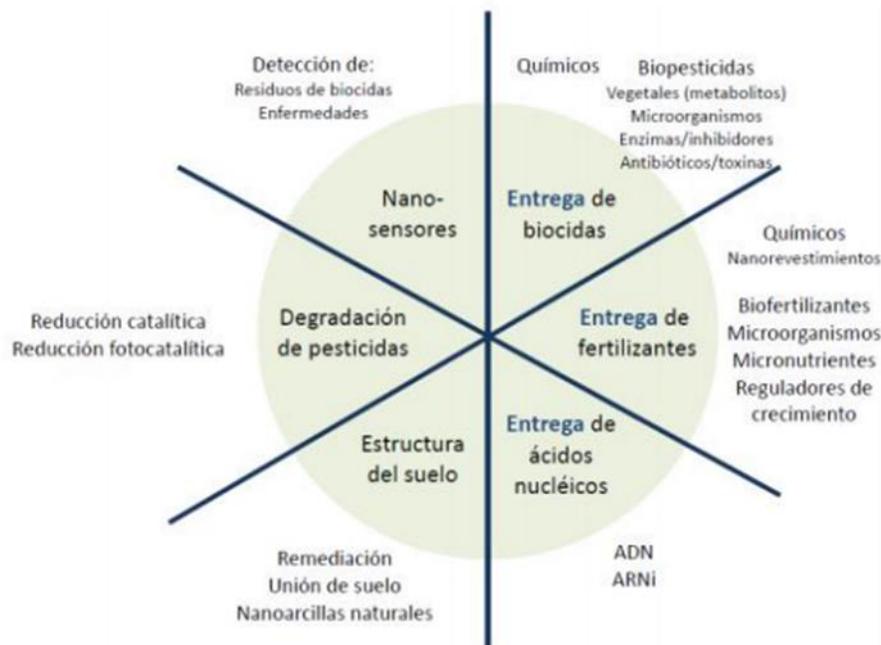


Figura 4. Diferentes aplicaciones potenciales de nanotecnología en diversos aspectos de la agricultura moderna (Ghormade *et al.*, 2011).

En las últimas décadas, las NP han recibido una gran atención debido a sus propiedades únicas y aplicaciones beneficiosas en la agricultura y sectores afines. Según el material del núcleo, las NP pueden dividirse en NP orgánicas e inorgánicas. Los NP inorgánicos incluyen metales (Al, Bi, Co, Cu, Au, Fe, In, Mo, Ni, Ag, Sn, Ti, W, Zn), óxidos metálicos (Al_2O_3 , CeO_2 , CuO , Cu_2O , In_2O_3 , La_2O_3 , MgO , NiO , TiO_2 , SnO_2 , ZnO , ZrO_2), mientras que los fullerenos y los nanotubos de carbono son NP orgánicos. Las NP basadas en metales son ampliamente utilizadas y monitoreadas por sus efectos tóxicos. Las NP de metal se han utilizado históricamente como biocidas para evitar o disminuir el crecimiento de microorganismos. Al igual que los pesticidas, estos nanomateriales también deben ser monitoreados por sus efectos tóxicos y para saber su destino final en el medio ambiente (Shrestha *et al.*, 2013).

Para tener éxito en el novedoso campo de la nanotecnología agrícola, los recursos humanos deben estar bien entrenados para experimentar, innovar, evaluar, interpretar y asimilar con éxito la teoría, las herramientas y las técnicas de la nanotecnología para su aplicación en la agricultura (Mukhopadhyay., 2014)

4.15.1.- Nano-Fertilizante (NFer)

Los nanofertilizantes son nanomateriales, responsables de proporcionar uno o más tipos de nutrientes a las plantas en crecimiento, y apoyan su crecimiento y mejoran la producción (Liu y Lal., 2015).

El avance en la tecnología ha mejorado las formas para la producción a gran escala de nanopartículas de metales, importantes desde el punto de vista fisiológico, que ahora se utilizan como "sistemas inteligentes de suministro" para mejorar la formulación de fertilizantes al minimizar la pérdida de nutrientes y una mayor absorción en las células vegetales (Naderi y Danesh., 2013., Zhang (*et al.*, 2015).

En recientes investigaciones de laboratorio se ha reportado que los NFer pueden incrementar la productividad de los cultivos aumentando la tasa de germinación, crecimiento de plántulas, actividad fotosintética, metabolismo de nitrógeno, y síntesis de carbohidratos y proteínas. Sin embargo, es una tecnología nueva, la ética y las cuestiones de seguridad que rodean el uso de NPs en la producción de alimentos provenientes de las plantas, deben ser más ampliamente evaluadas antes de adaptar el uso de los llamados NFer en los campos agrícolas (Solanki *et al.*, 2015).

Las plantas absorben los iones de los nutrientes solubles sin hacer distinción como los de los fertilizantes convencionales. Sin embargo, la velocidad de disolución y la extensión de las NP en la solución agua y suelo deberían ser más altas que las de los sólidos a granel debido a los tamaños de partícula que son mucho más pequeños (Ruiquiang y Rattan, 2015).

Los estudios muestran que el uso de nano fertilizantes causa un aumento en la eficiencia de uso de nutrientes, reduce la toxicidad del suelo, así como los potenciales efectos negativos asociados con la dosificación excesiva y reduce la frecuencia de las aplicaciones. Por lo tanto, la NT tiene un alto potencial para lograr una agricultura sustentable, especialmente en los países en desarrollo (Lira- Saldivar *et al.*, 2016a).

4.15.2.- Nanoplaguicidas

La nanotecnología está incorporando una nueva gama de plaguicidas en la agricultura, reguladores del crecimiento vegetal y fertilizantes químicos con propiedades aún más eficientes que los usados actualmente. Asimismo, es probable que la nanotecnología, al brindar nuevas herramientas de manipulación genética se extienda a la ingeniería genética de cultivos (Lugo y Ruelas, 2010).

Los nanoplaguicidas representan un desarrollo tecnológico emergente que, en relación con el uso de pesticidas, podría ofrecer varios beneficios que incluyen

una mayor eficacia, durabilidad y una reducción en las cantidades de ingredientes activos que se deben usar (Pérez *et al.*, 2009).

Ejemplos de ellos es el nanomaterial de sílice poroso que se informa como portador de validamicina que se utiliza para combatir hongos fitopatógenos (Liu *et al.* 2006). Las nanopartículas de sílice con Ag (Si – Ag NP) 100% activas también se ha demostrado que combate contra la enfermedad del mildiú polvoriento en cucurbitáceas (Park *et al.* 2006).

El uso de NP de ZnO es menos tóxico para las plantas en comparación con NP de Ag y podría ser una alternativa importante a los pesticidas. De manera similar, el nanosulfuro y la nanoformulación de hexaconazol son altamente efectivos contra los hongos patógenos de plantas *R. solani*, *Erysiphe cichoracearum* y el ácaro rojo *Tetranychus utricae*. El impacto de estos nanomateriales en el medio ambiente y el cumplimiento de la ley de control de sustancias tóxicas deben examinarse antes de su comercialización para prevenir su impacto peligroso en el medio ambiente (Chhipa., 2016).

4.16.- Absorción de Nanopartículas de ZnO en plantas

Las plantas son una parte prominente de los ecosistemas y pueden actuar como un camino potencial para la captación, translocación y acumulación de nanopartículas en las cadenas alimentarias y en el medio ambiente (Hatami., 2017)

Rajput *et al.*, (2018) estudiaron diversas formas de Zn en plantas de soja cultivadas en suelo enriquecido con ZnO con μ -XRF, μ -XANES y microscopía de rayos X de transmisión de campo completo (TXM). Zn mostró una mayor concentración en el nódulo, el tallo y las vainas, en comparación con el control. Como el análisis de μ -XANES no mostró un Zn unido en forma de ZnO en la soja, esto indica que el Zn se bio-transforma en las plantas. Las imágenes μ -XRF demuestran que en el tallo, Zn se translocó a través del floema. Otras imágenes de TXM revelaron precipitados de Zn en las vainas y los resultados

de μ -XANES indicaron que el Zn se une principalmente a ácidos orgánicos como el ácido cítrico en estos precipitados.

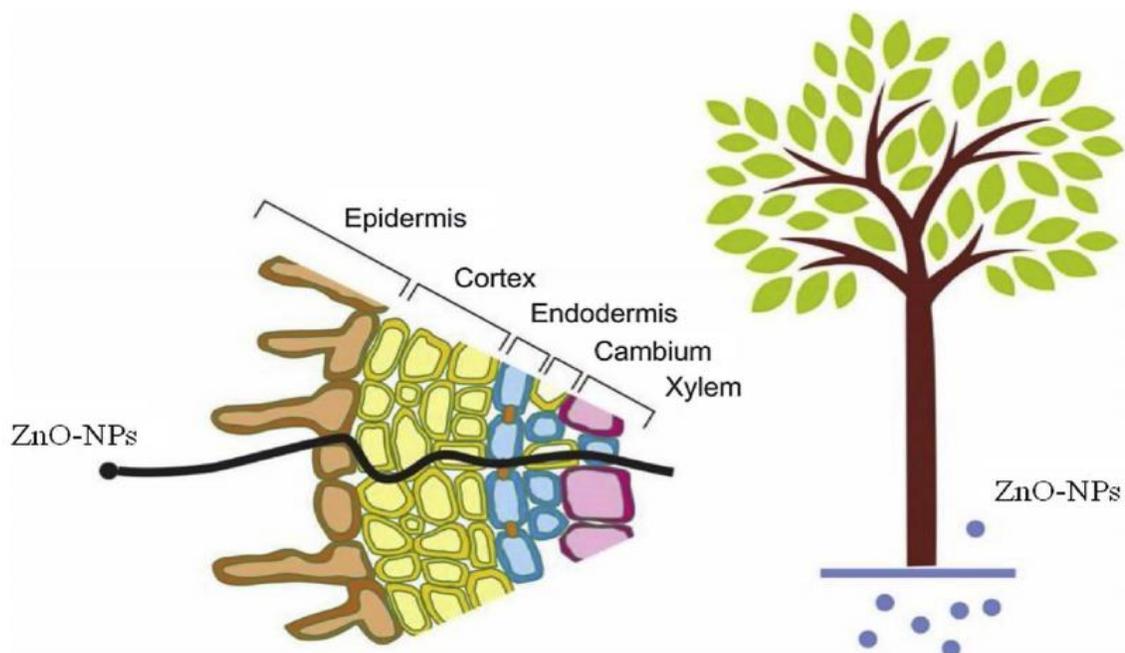


Figura 5. Vía de absorción y translocación de nanopartículas de ZnO en tejidos de raíces de plantas (Rauput *et al.*, 2018).

La velocidad de entrada depende del tamaño y las propiedades de la superficie de los NP. De hecho, los NP más pequeños pueden entrar fácilmente en las células vegetales. En contraste, las NP más grandes, al no poder ingresar a las células, no pueden afectar las vías metabólicas celulares (Verano *et al.*, 2014)

4.17.-Fitotoxicidad de las Nanopartículas

El mecanismo por el cual un nanomaterial puede ser tóxico y alterar los sistemas biológicos, depende de su tamaño, composición, forma, y propiedades superficiales (Dhawan *et al.*, 2009)

La exposición a las NP puede llevar a efectos secundarios tóxicos, como la mejora de la generación de ROS, la alteración de la homeostasis redox, la

peroxidación lipídica, la función mitocondrial alterada y el daño a la membrana. Durante la última década, la fitotoxicidad del NP de Ag se ha evaluado ampliamente en varios cultivos, en gran medida a niveles morfológicos, fisiológicos y bioquímicos. Sin embargo, solo estudios limitados han enfatizado los efectos del estrés NP Ag en plantas a nivel de proteoma. (Hossain *et al.*, 2015).

Otro ejemplo es el estudio realizado por Pokhrel *et al.*, (2013) donde el efecto de NPs de ZnO (17.4 ± 4.9 nm) en maíz (*Zea mays L.*) y col (*Brassica oleraceae var. capitata L.*) fue negativo. En maíz las células meristemáticas de las raíces presentaron daño estructural sin afectar la germinación, pero en col la elongación de raíz no cambió.

4.18.- Macros y Micros elementos

Los nutrientes que requieren las plantas durante su desarrollo los toman del aire, agua y del suelo. Del aire toman carbono (C), del agua toman hidrógeno (H) y oxígeno (O), y del suelo, nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), definidos como macronutrientes. Del suelo toman también calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl) que son micronutrientes. Los macronutrientes se necesitan en cantidades mayores que los micronutrientes. Los fertilizantes químicos ofrecen macros y micros nutrientes disponibles para que las plantas los absorban (Larqué *et al.*, 2017).

4.19.- Origen del Zinc

El zinc se libera principalmente en el suelo a partir de minerales que contienen óxidos de zinc, sulfatos, sulfuros, carbonatos, silicatos y fosfatos, que a su vez, se liberan de la roca madre. Otras fuentes incluyen los procesos atmosféricos (incendios forestales, actividad volcánica), procesos bióticos (descomposición, lavado de la superficie de las hojas) y por último, pero no menos importante, actividad antropogénica. El zinc liberado tiene las siguientes formas en el suelo:

- Cation soluble en el agua Zn^{2+} , unido opcionalmente a sustancias orgánicas.
- Adsorbidos en forma intercambiable a coloides arcillosos, huminas e hidróxidos de aluminio y hierro.
- Complejos insolubles y minerales (Babula *et al.*, 2008. Montalvo *et al.*, 2016).

La concentración de Zn en las rocas formadoras de suelo es muy variable. Las rocas ígneas basálticas generalmente tienen una alta concentración de Zn ($48\text{--}240\text{ mg kg}^{-1}$); mientras que las rocas ígneas ricas en sílice, como el granito y el gneis, tienen un contenido de Zn mucho menor ($5\text{--}140\text{ mg kg}^{-1}$). En el grupo de rocas sedimentarias, las lutitas negras tienen el mayor contenido de Zn ($34\text{--}1500\text{ mg kg}^{-1}$), seguidas de las lutitas y arcillas ($18\text{--}180\text{ mg kg}^{-1}$) y la arenisca ($2\text{--}41\text{ mg kg}^{-1}$) (Nagajyoti *et al.*, 2010).

El zinc en la fase sólida del suelo está presente como especies adsorbidas unidas a partículas orgánicas e inorgánicas (Luxton *et al.*, 2014).

4.19.1.- Importancia del Zinc en los cultivos

El Zinc (Zn) es uno de los nutrientes esenciales necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas; es clasificado como un micronutriente, ya que la planta lo requiere en pequeñas cantidades, este metal es un constituyente de numerosas enzimas como anhidrasas, oxidasas y peroxidasas y juega un papel importantes en regular el metabolismo del nitrógeno, la multiplicación celular, la fotosíntesis y la síntesis de auxinas (ácido indolacético) (Rout y Das, 2003). Como cofactor catalítico, es necesario para el metabolismo de los carbohidratos, la síntesis de proteínas, la biosíntesis de las hormonas del crecimiento (Broadley *et al.*, 2012).

El Zn es ligeramente móvil en la planta, con funciones diversas y críticas. Es constituyente estructural y funcional de muchas enzimas. Participa en la síntesis y acción de proteínas (alrededor de 2,800 proteínas son dependientes del Zinc). Se requiere para la síntesis de carbohidratos durante la fotosíntesis y en la transformación de los azúcares en almidón (una deficiencia de Zinc reduce en un 50 – 70 % la fotosíntesis neta dependiendo del cultivo). Regula el nivel de auxinas a través de la síntesis del aminoácido triptófano (precursor de las auxinas). Juega un papel fundamental en el desarrollo y producción de semillas, a través de la formación y fertilidad del polen, por ello la deficiencia de Zn tiene mayor efecto en el rendimiento del grano que en el desarrollo vegetativo (Castellano y Santiago., 2014).

Otra función en las cuales participa el zinc es en la elaboración de clorofila; germinación de semillas, producción de polen, biomasa (Hou *et al.*, 2018) y carbohidratos (Vitosh *et al.*, 2010)

La deficiencia de zinc (Zn) en plantas y en los seres humanos es un problema generalizado en muchas regiones del mundo. La aplicación de fertilizantes de Zn en el suelo y foliares ha sido utilizada para corregir la deficiencia del mismo y para mejorar la nutrición y el rendimiento de Zn en las plantas. La efectividad de

los fertilizantes con Zn puede disminuir por las reacciones químicas que ocurren durante la fabricación del fertilizante y con los componentes del suelo después de la aplicación. La absorción y la precipitación son las principales reacciones que limitan la disponibilidad de Zn en los suelos. Es necesario comprender mejor estas reacciones para mejorar las formulaciones de fertilizantes y optimizar las recomendaciones de fertilizantes (Montalvo *et al.*, 2016).

Los excesos de fósforo reducen la infección de las micorrizas, lo que afecta significativamente la absorción de Zinc. El hierro (Fe) y manganeso (Mn) en altas concentraciones también inhiben la absorción de Zinc, posiblemente por la competencia en el sistema de transporte al interior de la planta. El uso de fertilizantes nitrogenados amoniacales provoca lo contrario, ya que favorece la disponibilidad de Zinc al acidificar el suelo, resultando en una desadsorción del Zinc. Otros factores que también reducen la disponibilidad del Zinc es la remoción de la capa arable del suelo por la nivelación, o por la erosión. En los suelos fríos también suele ocurrir una reducción en la disponibilidad de este micronutriente (Castellano y Santiago, 2014).

Los fertilizantes de zinc se pueden aplicar como una fuente única de nutrientes o como compuestos cuando se incorporan o se mezclan con fertilizantes de macronutrientes (N, P, K). Los fertilizantes de zinc están disponibles en formas líquidas y sólidas, y las formulaciones se han desarrollado para aplicaciones foliares o en el suelo (Montalvo *et al.*, 2016).

4.20.- Origen del Óxido de Zinc (ZnO)

El óxido de zinc (ZnO) es un compuesto inorgánico casi insoluble en agua pero soluble en ácidos. Esta es una fuente de Zn barata producida por dos procesos principales: el proceso indirecto o francés y el proceso directo o estadounidense. En el proceso indirecto desarrollado por LeClaire en 1840, el ZnO se obtiene quemando Zn metálico. Las propiedades físicas del ZnO

producida por este método pueden manipularse ajustando las condiciones de combustión (turbulencia de la llama y exceso de aire). El proceso directo implica la oxidación por reducción de mineral de Zn usando monóxido de carbono y aire (Montalvo *et al.*, 2016).

4.20.1.- Uso del Óxido de Zinc

Es ampliamente utilizado en muchas áreas que se extienden desde la industria farmacéutica, a la química, la fabricación de neumáticos, aditivos en cerámicas y pinturas, así como en la agricultura donde se incorpora en los fertilizantes por su actividad antibacteriana; en los últimos años se ha manejado a nivel manométrico para mejorar su uso. El ZnO puede ser obtenido a escala nanométrica fundamentalmente por dos métodos: procesos metalúrgicos que se basan en el calcinado del mineral de zinc y procesos químicos. Dentro de los procesos químicos se encuentran los mecanoquímicos que son métodos simples de obtener las nanopartículas a gran escala, además de ser baratos (Montejo *et al.*, 2018).

El óxido de zinc a granel (ZnO) es muy insoluble en el suelo; sin embargo, cerca de las raíces, las plantas tienen la capacidad de solubilizarla (Pandey *et al.*, 2010).

Las ZnO-NP han sido uno de los NP de óxidos metálicos más ampliamente utilizados en la industria durante varias décadas. Por lo tanto, los efectos en las plantas y otros organismos están siendo intensamente estudiados (Ruiquiang y Rattan, 2015).

Algunos estudios realizados en diversas especies de plantas demuestran que las NPs de ZnO promueven la germinación y crecimiento de plántulas (Siddiqui *et al.*, 2015)

V.- MATERIALES Y METODOS

5.1.- Localización del sitio

El presente trabajo se realizó durante los meses de Marzo a Mayo del año 2018 dentro del invernadero de media tecnología en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, ubicada en Torreón, Coahuila, México. Con las coordenadas geográficas $25^{\circ}33'19''\text{N}$ $103^{\circ}22'14''\text{W}$ y con una altura de 1120 msnm.



Figura 6. Ubicación Geográfica de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna.

5.2.- Características climáticas del lugar

El clima en el municipio es de subtipos secos semicálidos; la temperatura media anual es de 20 a 22°C y la precipitación media anual se encuentra en el rango de los 100 a 200 milímetros en la parte noreste, este y suroeste, y de 200 a 300 en la parte centro-norte y noroeste, con régimen de lluvias en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y escasas en noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo; los vientos predominantes tienen dirección sur con velocidades de 27 a 44 km/h. La frecuencia de heladas es de 0 a 20 días y granizadas de 0 a 1 día en la parte norte-noroeste, sur-oeste, y de uno a dos días en la parte sureste.

5.3.- Preparación de la disolución con nanopartículas

Se emplearon nanopartículas de ZnO comerciales de la compañía Nanostructured & Amorphous Materials, con un tamaño promedio en el rango de 10 a 40 nm. Para corroborar los datos del fabricante, las NPs fueron analizadas por difracción de rayos X (XRD) para conocer su composición y cristalinidad, y por microscopía electrónica de barrido (SEM) y de transmisión (TEM) para conocer su tamaño y morfología.

Se realizaron los cálculos necesarios para preparar 400 ml de solución con las siguientes concentraciones: 25, 50, 100, 200 y 400 ppm. El procedimiento para la preparación se dio como sigue: En un tubo Falcon estéril con volumen de 50 mL, se agregaron los miligramos necesarios para cada solución (10, 20, 40, 80 y 160 mg respectivamente), posteriormente se aforo con agua destilada hasta los 50 mL, se agregó una gota de dispersante y se procedió a sonicar los 5 tubos en un sonicador Branson 2510 por un lapso de 30 minutos. Posteriormente la solución dispersada se vació a un contenedor de 400 ml y se aforo con agua destilada hasta dicho volumen.

5.4.- Preparación de sustrato

Para la preparación del sustrato para la siembra se utilizaron 36 charolas de unigel con la capacidad de 1.77 litros, lo cual consistió en una mezcla de peat moss y zeolita en base a volumen (70% y 30% respectivamente) figura 7, las charolas se llevaron al invernadero.



Figura 7. Charolas de unigel con mezcla de peat moss (70%) y zeolita (30%).

5.5.- Siembra, riego y fertilización

Con la humedad indicada se sembraron las semillas de calabacita, a los ocho días emergieron todas las plantas. Para la fertilización de fondo se usó una solución nutritiva que incluía macronutrientes y micronutrientes necesarios para el fortalecimiento de las plantas (Hidro Environment) la cual se preparó con

agua destilada, 30 gr de solución para 20 litros de agua. La fertilización se realizó cada tercer día, aplicando 200 ml a cada planta.

El riego fue diario de forma manual. La duración del experimento fue de 28 días. En la Tabla 3 se establece la concentración de nutrientes para cada aplicación de acuerdo con la garantía de composición del producto.

Cuadro 3. Concentración de nutrientes en la solución nutritiva.

Nitrógeno Total (N)	Fosforo asimilable (P ₂ O ₅)	Potasio asimilable (K ₂ O)	Zinc
0.015 mg L ⁻¹	9.6 X 10 ⁻³ mg L ⁻¹	0.0486 mg L ⁻¹	1.85 X 10 ⁻⁸ mg L ⁻¹

5.6.- Aplicación foliar de las NPs

Las NPs de ZnO en solución se prepararon con las siguientes concentraciones: 25, 50, 100, 200 y 400 mg L⁻¹, en agua destilada. Se dispersaron por medio de un sonicador marca Branson modelo 2510, durante 30 minutos. Se aplicó 1 mL de solución por planta, de forma manual una vez por semana, figura 8.



Figura 8. Aplicación foliar de NPs de ZnO de forma manual.

5.7.- Variables de crecimiento

Las variables se midieron a la mitad y al final del ciclo. Se determinó el área foliar con la fórmula:

$$AF = (L)(A)(F)$$

Dónde:

AF= Área Foliar

L = Largo

A= Ancho

F= Factor de corrección

El factor de corrección corresponde a 0.75, se midió la altura de la planta, número de hojas, longitud de raíz y biomasa seca (hojas, tallo, raíz), este corresponde a un muestreo destructivo, por lo que se dejó al final del experimento para todas las plantas.

5.8.- Análisis estadístico de los datos

Para este trabajo, se utilizó un diseño completamente al azar con seis tratamientos y seis repeticiones para cada tratamiento. Se considera una unidad experimental una planta de calabacita.

Los tratamientos fueron los siguientes:

T1: Control (Solución nutritiva como fertilizante de fondo), T2: Fertilizante de fondo + 25 mg L⁻¹ de NPs de ZnO, T3: Fertilizante de fondo + 50 mg L⁻¹ de NPs de ZnO, T4: Fertilizante de fondo + 100 mg L⁻¹ de NPs de ZnO, T5: Fertilizante de fondo + 200 mg L⁻¹ de NPs de ZnO, T6: Fertilizante de fondo + 400 mg L⁻¹ de NPs de ZnO.

Los datos se analizaron mediante análisis de varianza y comparación de medias de Duncan ($\alpha \leq 0.05$) con el programa estadístico Infostat Versión 2017.

VI.- RESULTADOS

6.1.- Caracterización de las NPs de ZnO.

La morfología y microestructura de las muestras se examinaron mediante microscopía electrónica de transmisión convencional y de alta resolución (TEM y HRTEM) y difracción de electrones de área seleccionada (SAED) usando un microscopio FEI-TITAN 80-300 kV operado a una tensión de aceleración de 300 kV. El espécimen para estos estudios se preparó depositando y evaporando una gota de la solución coloidal sobre rejillas de cobre recubiertas de carbono. El procesamiento de las micrografías TEM y el análisis de las imágenes HRTEM mediante transformada rápida de Fourier (FFT) se llevaron a cabo utilizando el software Digital Micrograph 3.7.0 (Gatan Software, Inc, Pleasanton, CA, EE. UU.), y se atribuyó el patrón SAED a una fase cristalina de óxido de zinc (archivo del Comité Conjunto sobre Difracción de Polvo No. 74-0534, hexagonal, P63mc (186)).

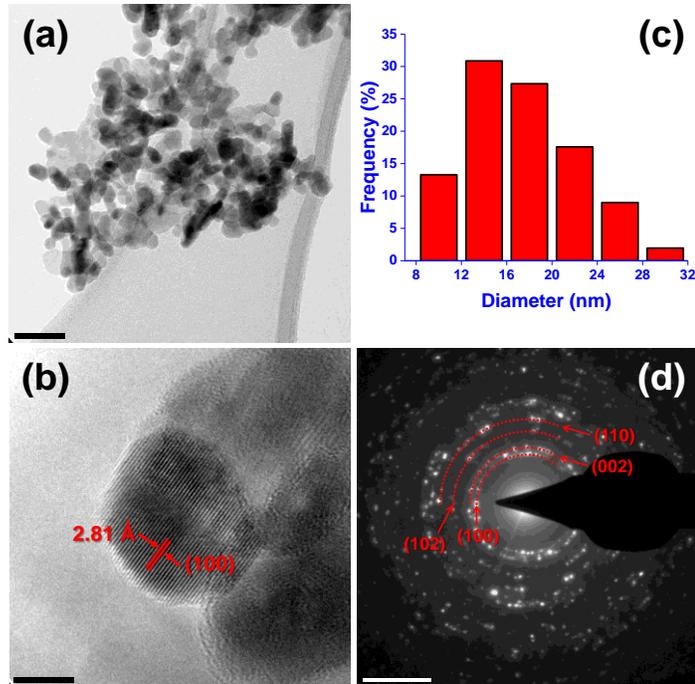


Figura 9. Micrografías correspondientes de la muestra de NP de ZnO (a) y (b) imagen TEM típica de NP y micrografía HRTEM de una nanopartícula respectivamente, (c) distribución del tamaño de los NP y (d) patron SAED Típico obtenido para el área observada en el panel (a).

La Figura 9 (a) muestra una imagen TEM típica de la muestra de ZnO. Esta micrografía puede distinguirse claramente de la morfología de las nanopartículas (NP) casi esféricas. Estas NPs aparecen bien dispersas en la rejilla TEM. En la figura se muestra una imagen representativa de HRTEM de una nanopartícula. 1 (b). En esta imagen, se observan claramente franjas de celosía con un espaciado de 2,81 Å que corresponde a los planos {100} de celosía de una estructura hexagonal de óxido de zinc. La Figura 9 (c) muestra la distribución de tamaños de los NP obtenidos midiendo más de 300 partículas. La mayoría de las partículas de esta muestra (~ 75%) mostraron diámetros de 12 a 24 nm, y ~ 30% exhibieron tamaños mayores de 12 y menores a 20 nm. La Figura 9 (d) es un patrón SAED representativo de la muestra de ZnO. Este patrón está constituido por anillos irregulares asociados a los planos (100), (002), (102) y (110) de la estructura cristalina del óxido de zinc.

6.2.- Comportamiento fisiológico

El resultado de los tratamientos sobre *C. pepo L.* se muestra en la Tabla 4 (mitad del ciclo) y Tabla 5 (final del ciclo). Se puede observar que, durante el desarrollo de la planta, la aplicación adicional de NPs de ZnO favorece el incremento del diámetro, número de hojas y área foliar en comparación con el control, sin embargo, al finalizar el experimento ya no se percibe diferencia estadística en ningunas de las variables antes mencionadas, con respecto a la medición de la raíz seca notamos diferencia entre el control con los demás tratamientos, figura 10.



Figura 10. Diferencia entre el control T1 (izquierda) a comparación con los tratamientos (T2, T3, T4 y T5)

Cuadro 4. Efecto de la aplicación foliar de NPs ZnO en diferentes variables fisiológicas de *Cucurbita pepo* en la mitad del ciclo

Tratamientos						
Variables	Control	Nutrición de fondo + 25 mg L ⁻¹ ZnO	Nutrición de fondo + 50 mg L ⁻¹ ZnO	Nutrición de fondo + 100 mg L ⁻¹ ZnO	Nutrición de fondo + 200 mg L ⁻¹ ZnO	Nutrición de fondo + 400 mg L ⁻¹ ZnO
Altura (cm)	3.37±0.14a	3.40±0.10a	3.50±0.17a	3.57±0.03a	3.73±0.09a	3.68±0.30a
Diámetro (mm)	10.05±0.27ab	10.17±0.19ab	10.07±0.24ab	10.65±0.38b	9.52±0.14a	10.43±0.33b
Numero de Hojas	7.67±0.21ab	8.33±0.33b	8.17±0.31b	7.67±0.21ab	7.67±0.21ab	7.00±0.00a
Área Foliar (cm ²)	869.74±31.50a	896.05±37.08ab	850.05±23.64a	918.83±17.71ab	914.29±18.39ab	969.15±19.18b

Media (n=6) ± error estándar de la media. Letras diferentes en la misma fila son estadísticamente diferentes.

A excepción de la altura, todas las variables muestran un incremento con respecto al control. Sin embargo, los valores numéricos de la altura nos muestran una tendencia en favor del crecimiento conforme se aumentan las concentraciones aplicadas de NPs ZnO. El diámetro mostro un incremento máximo del 5% para tratamiento de 100 mg L⁻¹ con respecto al control. Para el número de hojas se vio un incremento máximo del 8.6% en el tratamiento de 25 mg L⁻¹ y para el área foliar se observó una diferencia máxima de 11.42% en el tratamiento de 400 mg L⁻¹.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Méndez-Argüello *et al.*, (2016) donde aplico NPs ZnO puras en cultivo *Capsicum annuum*, encontrando un ligero incremento en el número de hojas e índice de clorofila, así como también un incremento del 11.8% en la longitud de la raíz.

Cuadro 5. Efecto de la aplicación foliar de NPs de ZnO en diferentes variables fisiológicas de *Cucurbita pepo* al final del ciclo

Tratamientos						
Variables	Control	Nutrición de fondo + 25 mg L ⁻¹ ZnO	Nutrición de fondo + 50 mg L ⁻¹ ZnO	Nutrición de fondo + 100 mg L ⁻¹ ZnO	Nutrición de fondo + 200 mg L ⁻¹ ZnO	Nutrición de fondo + 400 mg L ⁻¹ ZnO
Altura (cm)	4.35±0.13a	4.42±0.44a	4.25±0.21a	4.00±0.29 ^a	4.08±0.24a	4.00±0.22a
Diámetro (mm)	11.12±0.34a	10.43±0.20a	10.62±0.30a	11.13±0.57 ^a	10.22±0.21a	10.62±0.22a
Numero de Hojas	15.33±0.95a	16.50±0.85a	17.50±1.31a	18.00±0.37 ^a	15.67±0.49a	15.83±0.95a
Área Foliar (cm ²)	1493.41 ±146.87a	1541.19 ±222.45a	1871.69 ±351.59a	1661.24 ±66.96 ^a	1447.28 ±86.90a	1330.57 ±126.93a

Media (n=6) ± error estándar de la media. Letras diferentes en la misma fila son estadísticamente diferentes

Para el final de experimento, no se observa diferencia estadística en ninguna de las variables, esto puede deberse a que el volumen de la maceta limito el crecimiento radicular de la planta, llegando a un tamaño máximo, aunque se aplicaran los nutrientes necesarios. Sin embargo, el potencial efecto fitotóxico debido a las NPs ZnO podría ser el responsable por el estancamiento en el crecimiento de la calabacita, ya que a la concentración de 400 mg L⁻¹, se presentó la tasa más baja área foliar. Burman *et al.*, (2013) señalan que la aplicación de dosis elevadas de NPs ZnO en plántulas de garbanzo retrasan su crecimiento, en contra parte de la aplicación de dosis bajas que generan una acumulación mayor de biomasa.

VII.- DISCUSIÓN

Desde la década de los 90's ya se conocían ciertas características benéficas de las NPs de ZnO en la agricultura, Harrison (1996) ya había reportado que aumentaban el crecimiento de los cultivos y la calidad de los mismos.

Y que el uso de estas Nanopartículas aplicadas a las plantas es menos tóxico en comparación con las NPs de Ag (Chhipa., 2016). Por ese caso se optó por utilizar NPs de ZnO.

La teoría actual sugiere que las NPs entran en las células de las plantas por medio del sistema estomático o vascular. La vía estomática tiene un límite de exclusión de tamaño y una alta velocidad de transporte. Al entrar las NPs por la apertura estomática y los nano poros naturales, se mejoran las actividades metabólicas de la célula mejorando la producción de los cultivos (Tarafdar *et al.*, 2014), así como sucedió en nuestro caso, mejorando y favoreciendo el crecimiento de la *cucúrbita pepo* durante su desarrollo aunque al final de su ciclo ya no se vio el favorecimiento de la aplicación de Nanopartículas de ZnO que andábamos buscando.

Otros estudios han demostrado el efecto positivo por la aplicación de las NP de ZnO, ejemplo de ello es el trabajo de Sturikova *et al.* (2018) que con las plantas de cacahuates mediante una pulverización de nanopartículas de ZnO tuvieron un efecto positivo en varias características a la vez (contenido total de clorofila, contenido de ácidos grasos esenciales, contenido de zinc, altura de la planta y peso fresco), lo que indica la idoneidad de este tratamiento para mejorar las propiedades agrícolas de los cacahuates.

Por otro lado Zhang *et al.*, (2015) en su estudio de fitotoxicidad utilizando NP de ZnO con la planta *Schoenoplectus tabernaemontani* demostró que exponiendo la planta en su desarrollo con Nanopartículas de óxido de zinc durante 21 días a concentraciones de 10, 100 y 1000 mg L⁻¹, el *S. tabernaemontani* fue inhibido por 6%, 13% y el 41% en comparación con el control, el mayor efecto negativo

se observó en la concentración de 1000 mg L⁻¹ mostrando los brotes amarillos, marchitos y secos.

Pandey *et al.*, (2010) comenta que la cantidad de Zn que una planta puede tomar es muy pequeña, es decir, el suministro de Zn a la planta se realiza de manera controlada, debido a lo cual se evita el exceso de Zn porque puede intoxicar a la planta; pudo haber pasado con la planta de la calabacita al suministrar una alta cantidad de NP de ZnO durante un largo periodo de tiempo.

VIII.- CONCLUSIÓN

La aplicación de NPs ZnO demostró su capacidad promotora de crecimiento en las etapas tempranas del crecimiento de la planta, posiblemente por su relación en la producción del fitoestimulante hormonal, el ácido indolacético y por qué es indispensable para muchos procesos metabólicos. Sin embargo, una posible bioacumulación de NPs en la planta podría haber detenido su crecimiento hacia el final del trabajo, por lo tanto no podemos indicar que se puede utilizar como una alternativa en el campo agrícola actualmente es por eso que se propone desarrollar nuevos experimentos enfocados en encontrar las concentraciones óptimas para la promoción del crecimiento. Además se requiere de más investigaciones enfocadas a la evaluación del impacto ambiental.

IX.- REFERENCIAS

- Acosta, C., Gallardo, C., Normann, A., Carvallo, F. (2008). Materiales regionales utilizados en latinoamérica para la preparación de sustratos. *Investigación Agropecuaria*, 5, 93-106.
- Agarwal H., Venkat, Kumar S., Rajeshkumar S. (2017) A review on green synthesis of zinc oxide nanoparticles – An eco-friendly approach. *Resource-Efficient Technologies*.;3(4):406-13.
- Ahamed, M., MajeedKhan, M. A., Siddiqui, M. K. J., AlSalhi, M. S., Alrokayan, S. A. (2011). Green synthesis, characterization and evaluation of biocompatibility of silver nanoparticles. *Physica E*, 43, 1266-1271.
- Ali, M. A., Rehman, I., Iqbal, A., Din, S., Rao, A. Q., Latif, A., Husnain, T. (2014). Nanotechnology, a new frontier in Agriculture. *Adv. life sci*, 1, 129-138.
- Allhoff, F., Lin, P. (2014). Current and emerging ethical issues. *Nanotechnology and society*, 3, 218.
- Anusuya, S., Nibiya, K. (2016). silver-chitosan nanoparticles induced biochemical variations of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Biocatalysis and agricultural Biotechnology*, 8, 39-44.
- Avalos, A., Diaz, M., Morales, P. (2013). Nanoparticulas de plata: aplicaciones y riesgos toxicos para la salud humana y el medio ambiente. *Revista complutense de ciencias veterinarias* 7, 1-23.
- Babula, P., Adam, V., Opatrilova, R., Zehnalek, J., Havel, L., Kizek, R. (2008). Uncommon heavy metals, metalloids and their plant toxicity: a review *Environ. Chem. Lett.*189-213.
- Bekkum, T., Bekkum, V., Flanigen, E., Jacobs, P., Jansen, J. C. (2010). Introduction to zeolites science and practice. *Elsevier*, 2, 320-322.
- Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z., Zhao, F., (2012). Function of nutrients: micronutrients. In: Marschner, P. (Ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. *Academic Press, San Diego*. 191–248.
- Burman U., Saini, M., Kumar, P.(2013). Effect of oxide nanoparticles on growth and antioxidant sistem of chickpea seedlings. *Toxicological and Environmental Chemistry*. 95(4): 605-612.

- Cardeño, L., Londoño, M. (2014). Síntesis verde de nanopartículas de plata mediante el uso del ajo (*Allium sativum*). *Revista Soluciones de Postgrado EIA*, 12, 129-140.
- Carvajal, M., Mera B. (2010). Fertilización biológica: técnica de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Producción*, 5, 78-96.
- Castellanos, J., Santiago, D. (2014). El Zinc (Zn), en la Nutrición de los Cultivos. CDMX, México. Engormix. Recuperado en <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/zinc-nutricion-cultivos-t31354.htm>.
- Castro, U.D., Flores, M.G., García, J., Alavez, S.L. (2016). Esterilización con nanotecnología en Odontología. *Odontología Vital*. 25,9-16.
- CONABIO (2014). Cucurbita pepo pepo. Sistema de Información de Organismos Vivos Modificados (SIOVM).
- Cunningham, F. J., Goh, N. S., Demirer, G. S., Matos, J. L., Landry, M. P. (2018). Nanoparticle-Mediated Delivery towards Advancing Plant Genetic Engineering. *Trends Biotechnol*, 36(9),882-897.
- Chen, H., Seiber, J. N., Hotze, M. (2014). ACS Select on nanotechnology in food and agriculture: a perspective on implications and applications. *J Agric Food Chem*, 62, 1209-12.
- Chhipa, H. (2016). Nanofertilizers and nanopesticides for agriculture (Review). *Environ Chem Lett*. 15,15–22.
- Danilchenko, H., Paulauskienė, A., Marciukaitė, G. (2001). The research of technological characteristics of pumpkin cultivars. *SodininkystėDaržin*, 20, 196-204.
- DeRosa, M. C., Monreal, C., Schnitzer, M., Walsh, R., Sultan, Y. (2010). Nanotechnology in fertilizers. *Nature nanotechnology*, 5(2), 91.
- Delgadillo, F. (2000). Criterios para el control de virus en hortalizas, pp: 134-140 In Bautista N, Alma S, Oscar M [eds.], *Temas Selectos de Fitosanidad y Producción de Hortalizas*. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Texcoco, México
- De Oliveira, J. L., Campos, E. V., Bakshi, M., Abhilash, P. C., Fraceto, L. F. (2014). Application of nanotechnology for the encapsulation of botanical insecticides for sustainable agriculture: prospects and promises. *biotechnol adv*, 32, 1550-61.

- Dhawan, A., Sharma, V., Parman, D. (2009). Nano materials a challenge for toxicologists. *Nanotoxicology*, 3,1-9.
- Domínguez L, Y., Beiro C. O., Peláez, R, R., Díaz G, A., Lóriga, L, E., Fraga, Á, R. (2017). Ecotoxicidad de nanopartículas metálicas y superparamagnéticas de óxido de hierro en dos especies. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 2, 102-112.
- Duhan, J. S., Kumar, R., Kumar, N., Kaur, P., Nehra, K., Duhan, S. (2017). Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. *Biotechnol Rep (Amst)*, 15, 11-23.
- Elsaesser, A., Howard, C.V. (2012). Toxicology of nanoparticles. *Adv Drug Deliv Rev*, 64(2), 129-137.
- FAO-IFA (1992) Los Fertilizantes y sus Usos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. París, Francia. pag. 77.
- Fernández, C., Cora, J (2004). Bulk density and relationship air/water of horticultural substrate. *Sci. Agric.* 61(4), 446-450.
- Fortis, M., Preciado, P., Garcia, J. L., Navarro, A., Antonio, J. Omaña., J. M. (2012). Sustratos orgánicos en la producción de chile pimienta morrón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3, 1203-1216.
- Ghormade, V., Deshpande, M. V., Paknikar, K. M. (2011). Perspectives for nano-biotechnology enabled protection and nutrition of plants. *Biotechnology Advances*, 29, 792-803.
- Ghosh, M., Jana, A., Sinha, S., Jothiramajayam, M., Nag, A., Chakraborty, A., Mukherjee, A., Mukherjee, A. (2016). Effects of ZnO nanoparticles in plants: Cytotoxicity, genotoxicity, deregulation of antioxidant defenses, and cell-cycle arrest. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 807, 25-32.
- Gutierrez, L., Hernandez, M., Molina L. (2013). Revision: Daños para la salud tras exposición laboral a nanopartículas. *medicina y seguridad del trabajo*, 59 (231), 276-296.
- Harrison, C. (1996). Evidence for intramineral macromolecules containing protein from plant silicas. *Phytochemistry*, 41, 37–42.
- Hatami, M. (2017). Toxicity assessment of multi-walled carbon nanotubes on *Cucurbita pepo* L. under well-watered and water-stressed conditions. *Ecotoxicol Environ Saf*, 142, 274-283.

- Hernández, R., Betancourt, Re., Betancourt, Ri., Cabrera, E., Cabrera, D. (2013). Mejorador de suelo a partir de una zeolita natural: Una propuesta sustentable para la agricultura. *Nova Scientia*, 6, 01-11.
- Hossain, Z, Mustafa G, Komatsu S. (2015). Plant Responses to Nanoparticle Stress. *International journal of molecular sciences*.16(11).
- Hou, J., Wu, Y., Li, X., Wei, B., Li, S., Wang, X. (2018). Toxic effects of different types of zinc oxide nanoparticles on algae, plants, invertebrates, vertebrates and microorganisms. *Chemosphere*, 193, 852-860.
- Hussain, Z., Thu, H., Ng, S., Khan, S., Katas, H. (2017). Nanoencapsulation, an efficient and promising approach to maximize wound healing efficacy of curcumin: A review of new trends and state-of-the-art. *Colloids Surf B Biointerfaces*. 150, 223-241.
- Iavicoli, I., Leso, V., Beezhold, D. H., Shvedova, A. A.(2017). Nanotechnology in agriculture: Opportunities, toxicological implications, and occupational risks. *Toxicol Appl Pharmacol*, 329, 96-111.
- Iskander, R. (2002). Manejo de sustratos para la producción de plantas ornamentales en maceta. Texas a&m university. Texas, USA.
- Jakkula, V. S. (2005). Synthesis of zeolites and their application as soil amendments to increase crop yield and potentially act as controlled release fertilizers. Thesis. University of Wolverhampton, U.K. 273 p.
- Kent R. D., Vikesland P. J. (2012). Controlled evaluation of silver nanoparticle dissolution using atomic force microscopy. *Environ. Sci. Technol.* 46, 6977-6984.
- Kim, D. Y., Kadam, A., Shinde, S., Saratale, R. G., Patra, J., Ghodake, G. (2018). Recent developments in nanotechnology transforming the agricultural sector: a transition replete with opportunities. *J Sci Food Agric*, 98, 849-864.
- Larqué, B., Limón, A., Irizar, M., Díaz, M. (2017). Fertilización química del maíz, su impacto en el rendimiento y en los costos de producción, folleto técnico. INIFAP.
- Leyva, R.R., Medellín, C.N.A., Guerrero, C.R.M., Berber, M.M.S., Aragón, P.A., Jacobo, A.A. (2005). Intercambio iónico de plata (I) en solución acuosa sobre clinoptilolita. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 21, 193–200.
- Lira, Saldivar, R. H., Mendez, A. B., Vera, R. I., De los Santos, V. G. (2016a). Potencial de la nanotecnología para el desarrollo de la agricultura

sustentable. CIQA repositorio. Disponible en <http://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/336>.

- Lira, Saldivar, R. H., Ponce, Z., Ruiz, T., Méndez, A., Mendoza, E., García, C., Vera, R. (2016b). Synthesis of zinc oxide nanoparticles and its influence on seed germination and growth of *Solanum lycopersicum* seedlings. *Wulfenia Journa* 23, 220-235 .
- Liu, J., Kang Y., Yin, S., Song, B., Wei, L., Chen, L., Shao, L.(2017). Zinc oxide nanoparticles induce toxic responses in human neuroblastoma SHSY5Y cells in a size-dependent manner. *International journal of nanomedicine*,12,8085-8099.
- Liu, R., Lal, R. (2015). Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the total Environment*, 514, 131–139.
- Liu, X. M., Feng, Z. B., Zhang, S. Q., Zhang, F. D., Zhang, J. F., Xiao, Q., Wang, Y. J. (2006). Preparation and testing of cementing nanosubnano composites of slower controlled release of fertilizers. *Sci Agric Sin*, 39,7.
- Lugo, E., Garcia, C., Ruelas, R. (2010). nanotecnología y nanoencapsulación de plaguicidas. *Ra Ximhai*, 6, 63-67.
- Luxton, T.P., Miller, B.W., Scheckel, K.G., (2014). Zinc speciation studies in soil, sediment and environmental samples. In: Bakirdere, S. (Ed.), Speciation Studies in Soil, Sediment and Environmental Samples. *CRC Press Taylor and Francis Group, Boca Raton, FL*. 433–477.
- Ma, X., Geisler, Lee, J., Deng, Y., Kolmakov, A. (2010). Interactions between engineered nanoparticles (ENPs) and plants: Phytotoxicity, uptake and accumulation. *Sci. Total Environ.* 408, 3053–3061.
- Médici, V., Neuza, J. (2012). Bioactive compounds in lipid fractions of pumpkin (*Cucurbita* sp) seeds for use in food. *J Food Sci.* .77(6):653–7
- Méndez, Argüello, B., Vera, Reyes, E., Mendoza, L. A., García, Cerda, B. A., Puente, U., Lira, Saldivar, R. H. (2016). Growth promotion of *Capsicum annuum* plants by zinc oxide nanoparticles. *Nova Scientia*. 8(2): 140-156.
- Montalvo, D., Degryse, F., Da Silva, R.C., Baird, R., McLaughlin, M.J. (2016). Agronomic Effectiveness of Zinc Sources as Micronutrient Fertilizer, Review. (Ed.) *Advances in Agronomy*, Elsevier Academic Press Inc, San Diego. pp. 215-267.

- Montejo, M. L., Autié., C. G., Cavalcante, C., Vilarrasa., G.,E., Díaz. A.(2018). Evaluación de nanopartículas de ZnO para la separación de CH₄-CO₂. *Rev. Cubana Quim.*, 30, 119-130.
- Moreira, M., Moraes, F., Bianchini, G., Almeida, P. (2010). Produção de mudas de berinjela com uso de pó de coco. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais (Campina Grande)*, 12 (2), 163-170.
- Mukhopadhyay, S. S. (2014). Nanotechnology in agriculture: prospects and constraints. *Nanotechnol Sci Appl*, 7, 63-71.
- Naderi, M. R., Danesh, S. A. (2013) Nanofertilizers and their role in sustainable agriculture. *Int J Agric Crop Sci* 5:2229–2232.
- Nagajyoti, P.C., Lee, K.D., Sreekanth, T.V.M., (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environ. Chem. Lett.* 8, 199–216.
- Naranjo, I. E., Cuzco, L. G., Cepeda, N. G., Cabay, L. M. (2018). Desarrollo y aplicación de Nanoparticulas en la anticoncepcion del nuevo milenio. *La ciencia al servicio de la salud y la nutrición*, 9, 23.
- Nel, A., Xia, T., Madler, L., Li N. (2006). Toxic potential of materials at the nano level. *Science*, 622-627.
- Oberdörster, G., Stone, V., Donaldson, K. (2007) Toxicology of nanoparticles: A historical perspective, *Nanotoxicology*, 1(1), 2-25.
- Pandey, C., Sanjay, S., Yadav, R. (2010). Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum*. *Journal of Experimental Nanoscience.*, 488-497.
- Paredes, R., Maria, A., Osuna, E., Alamilla, P., Mandujano, A. (2013). Alternativa ecológica económica para la agricultura de temporal en Mexico. INIFAP. Campo Experimental Bajío Celaya, Gto, Mexico. (Folleto tecnico, num. 19).
- Parisi, C., Vigani, M., Rodríguez,Cerezo, E. (2015). Agricultural Nanotechnologies: What are the current possibilities? *Nano Today*, 10, 124-127.
- Paris, H. (2010). History of the Cultivar Groups of Cucurbita pepo. *Horticultural Reviews*, 25, 72.
- Park, H. J., Kim, S. H., Kim, H. J., Choi, S. H (2006) A new composition of nanosized silica-silver for control of various plant diseases. *Plant Pathol J* 22(3),295–302

- Perez,-de-Luque, A., Rubiales, D. (2009). Nanotechnology for parasitic plant control. *Pest Manage. Sci.* , 65, 540–545
- Pokhrel, L. R., B. Dubey. (2013). Evaluation of developmental responses of two crop plants exposed to silver on zinc oxide nanoparticles. *Sci. Total Environ.* 1,321-332.
- Polat, E., Karaca, M., Demir, H., Onus, N. (2004). Use of natural zeolite (clinoptilolita) in agriculture. *J. Fruit Ornament. Plant Res. Turkey.* 12, 183-189.
- Prasad, R., Bhattacharyya, A., Nguyen, Q. D. (2017). Nanotechnology in Sustainable Agriculture: Recent Developments, Challenges, and Perspectives. *Front Microbiol.* 8, 1014.
- Rajput, V.D., Minkina, T.M., Behal, A., Sushkova, S.N., Mandzhieva, S., Singh, R., Gorovtsov, A., Tsitsuashvili, V.S., Purvis, W. O., Ghazaryan, K. A., Movsesyan, H. S.(2018), Effects of zinc-oxide nanoparticles on soil, plants, animals and soil organisms: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management.* 9,76-84
- Raliya, R., Tarafdar, J.C. (2013). ZnO nanoparticle biosynthesis and its effect on phosphorous-mobilizing enzyme secretion and gum contents in Clusterbean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *Agricultural Research* 2(1), 48-57.
- Riaño, C., Echaverria, A., Noreña, A. (2016). Hidroxiapatita sintética de porosidad inducida, comparación con el hueso calcinado. *Revista facultad de ingeniería*, 19, 59-64.
- Rivière, L., Caron, J. (2001). Research on substrates: state of the art and need for the coming 10 years. *Acta Hort.* 548: 29-41.
- Rout, G., Das, P. (2009). effect of metal toxicity on plant growth and metabolism; I zinc. *Agronomy, EDP Sciences*, 23, 3-11
- Ruiquiang, L., Rattan, L. (2015). Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the Total Environment*, 514, 131-139.
- Sadeghi, R., Rodriguez, R. J., Yao, Y., Kokini, J. L. (2017). Advances in Nanotechnology as They Pertain to Food and Agriculture: Benefits and Risks. *Annual Review of Food Science and Technology*, 8, 467-492.
- SAGARPA-SIAP. (2015). Márgenes de comercialización; calabacita italiana. Ciudad de México, México.

- SAGARPA-SIAP. (2016). Calabacita. Ciudad de México, México.
- SAGARPA-SIAP. (2017). Atlas agroalimentario 2017; siembra exitosa. Consulta: 23 diciembre 2018. Disponible en: <http://online.pubhtml5.com/clsi/ibhs/#p=53>
- Sathyanaraynan, M. B., Balachandranath, R., Genji Srinivasulu, Y., Kannaiyan, S. K., Subbiahdoss, G. (2013). The effect of gold and iron-oxide nanoparticles on biofilm-forming pathogens. *ISRN Microbiol.*
- Sedano, G., González, V., Saucedo, C., Soto, M., Sandoval, M., Carrillo, J. (2011). rendimiento y calidad de frutos de calabacita con altas dosis de n y k. *Terra Latinoamericana*. 29, 133-142.
- Shrestha, B., Acosta, M. V., Cox, S. B., Green, M. J., Li, S., Cañas, Carrell, J.E., (2013). An evaluation of the impact of multi-walled carbon nanotubes on soil microbial community structure and functioning. *J. Hazard. Mater.* 261, 188–197
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2012). Producción agrícola de calabacita, 2010. Consulta: 28 diciembre 2018. Disponible en: [http:// www.siap.gob.mx/index.php?option=com_ wrapper&view=w rapper&Itemid=351](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351).
- SIAP, Servicio de Informacion Agroalimentaria y Pesquera. (2018). Calabacita: hortaliza versátil con la que se pueden elaborar diversos platillos. Consulta: 23 diciembre 2018. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/es/articulos/calabacita-hortaliza-versatil-con-la-que-se-pueden-elaborar-diversos-platillos?idiom=es>
- Siddiqui, M. H., Al, W. H., Mohamad , F. (2015). Nanotechnology and Plant Science. Nanoparticles and Their Impact on Plants. . *International Publishing Switzerland*, 305.
- Solanki, P., Bhargava, A., Chhipa, H., Jain, N., Panwar, J. (2015). Nano-fertilizers and Their Smart Delivery System. *In Nanotechnologies in Food and Agriculture (India)*, 81-101.
- Sturikova, H., Krystofova, O., Huska, D., Adam, V. (2018). Zinc, zinc nanoparticles and plants. *Journal of Hazardous Materials*, 349, 101-110.
- Tarafdar, J.C., Raliya R., Mahawar, H.(2014). Development of Zinc Nanofertilizer to Enhance Crop Production in Pearl Millet (*Pennisetum americanum*). *Agric Res*, 3(3): 257-262

- Trinidad, A., Aguilar, D. (1999). fertilizacion foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. *Terra Latinoamericana*. 17, 247-255.
- Toshima, N., Yonezawa, T. (1998). Bimetallic nanoparticles—novel materials for chemical and physical applications. *New J. Chem*, 22, 1179-1201.
- Verano, T., Miethling, R., Wojdyla, K., Rogowska, A., Brewer, R., Erdmann, H., Kjeldsen, F.(2014). Insights into the cellular response triggered by silver nanoparticles using quantitative proteomics. *ACS Nano*. 8, 2161–2175.
- Vitosh, M., Warncke, D., Lucas, R. (2010). Secondary and micronutrients for vegetable and field crops. *Michigan State University Extension bulletin*, 486.
- Wachs, I. E. (2001). Characterization of catalytic materials. New York: Momentum Press.
- Youssef, Z., Vanderesse, R., Colombeau, L., Baros, F., Roques, C.T., Frochot, C., Wahab, H., Toufaily, J., Hamieh, T., Acherar, S., Gazzali, A. M. (2017). The application of titanium dioxide, zinc oxide, fullerene, and graphene nanoparticles in photodynamic therapy. *Cancer nanotechnology*, 8,6.
- Zanella, R. (2012). Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño. *Mundo nano*, 5.
- Zhang, D., Hua, T., Xiao, F., Chen, C., Gersberg, R. M., Liu, Y., Stuckey, D., Ng, W. J., Tan, S. K. (2015). Phytotoxicity and bioaccumulation of ZnO nanoparticles in *Schoenoplectus tabernaemontani*. *Chemosphere*, 120, 211-219.
- Zhang, X. F., Dong, X. L., Huang, H., Liu, Y. Y. (2012). Microwave absorption properties of the carbon-coated nickel nanocapsules. *Applied Physics Letters*, 89, 165-171.