

Saltillo, Coahuila a 6 de febrero de 2018

Programa de Maestría en Ciencias en Agroplasticultura


Coordinación de Posgrado

Presente

Por este conducto nos permitimos informar a esta coordinación que, el documento de tesis preparado por SALVADOR DARÍO VALDIVIA MONTES titulado Crecimiento y desarrollo de plantas de Solanum lycopersicum y Eustoma grandiflorum en respuesta a nanopartículas de óxido de zinc y mezclas de sustratos el cual fue presentado el día 15 de Diciembre de 2017, ha sido modificado de acuerdo a las observaciones, comentarios y sugerencias, realizadas por el Comité Evaluador asignado. Por tal motivo, avalamos que el documento adjunto corresponde a la versión final del documento de tesis.

Atentamente,

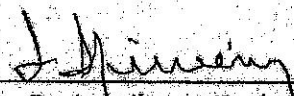
SINODALES



Dra. Meana Vera Reyes
Presidente



Dr. José Humberto Valenzuela Soto
Secretario



Dr. Luis Ibarra Jiménez
Vocal

Vº. Bo. de los Asesores



Dr. Ricardo Hugo Lira Saldivar



Dr. Antonio Cárdenas Flores

TESIS CON CARACTER ABIERTO

PROGRAMA: MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA

AUTOR: SALVADOR DARÍO VALDIVIA MONTES FIRMA



DARÍO
VALDIVIA

TITULO: Crecimiento y desarrollo de plantas de Solanum lycopersicum y Eustoma grandiflorum en respuesta a nanopartículas de óxido de zinc y mezclas de sustratos.

ASESORES: Dr. Ricardo Hugo Lira Saldívar

FIRMA

Dr. Antonio Cárdenas Flores

FIRMA



El Centro de Investigación en Química Aplicada clasifica el presente documento de tesis como ABIERTO.

Un documento clasificado como Abierto se expone en los estantes del Centro de Información para su consulta. Dicho documento no puede ser copiado en ninguna modalidad sin autorización por escrito del Titular del Centro de Información o del Director General del CIQA.

Saltillo, Coahuila, a 15 de diciembre de 2017



Sello de la Institución

Dr. Oliverio Santiago Rodríguez Fernández
Director General del CIQA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
Programa de Maestría en Ciencias en Agroplasticultura

TESIS

Crecimiento y desarrollo de plantas de *Solanum lycopersicum* y *Eustoma grandiflorum* en respuesta a nanopartículas de óxido de zinc y mezclas de sustratos

Presentada por:

SALVADOR DARÍO VALDIVIA MONTES


Para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Agroplasticultura

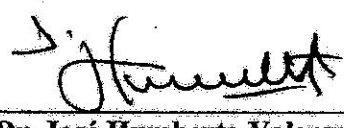
Asesorado por:

Dr. Ricardo Hugo Lira Saldivar
Dr. Antonio Cárdenas Flores

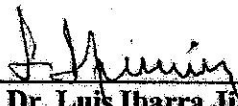
SINODALES



Dra. Heana Vera Reyes
Presidente



Dr. José Humberto Valenzuela Soto
Secretario



Dr. Luis Ibarra Jiménez
Vocal

Saltillo, Coahuila

Diciembre, 2017



CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
Programa de Maestría en Ciencias en Agroplasticultura

TESIS

Crecimiento y desarrollo de plantas de *Solanum lycopersicum* y *Eustoma grandiflorum* en respuesta a nanopartículas de óxido de zinc y mezclas de sustratos

Presentada por:

SALVADOR DARÍO VALDIVIA MONTES

Para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Agroplasticultura

Asesorado por:

Dr. Ricardo Hugo Lira Saldivar
Dr. Antonio Cárdenas Flores

Saltillo, Coahuila

Diciembre, 2017

DECLARACIÓN

Declaro que la información contenida en la Parte Experimental así como en la Parte de Resultados y Discusiones de este documento y que forman parte de las actividades de investigación y desarrollo realizadas durante el período que se me asignó para llevar a cabo mi trabajo de tesis, será propiedad del Centro de Investigación en Química Aplicada.

Saltillo, Coahuila a 15 de diciembre de 2017

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a vertical stroke. The name "DARÍO VALDIVIA" is written in capital letters across the signature.

SALVADOR DARÍO VALDIVIA MONTES

Nombre y Firma

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



PROGRAMA DE POSGRADO EN AGROPLASTICULTURA

CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE PLANTAS DE *Solanum lycopersicum* Y *Eustoma grandiflorum* EN RESPUESTA A NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC Y MEZCLAS DE SUSTRATOS

Alumno: Salvador Darío Valdivia Montes

Asesores: Dr. Ricardo Hugo Lira Saldivar y Dr. Antonio Cárdenas Flores

Saltillo Coah., México, Diciembre de 2017

ÍNDICE

RESUMEN.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	i
II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	2
2.1. Problemática de los sistemas convencionales de producción agrícola.....	2
2.2. Uso de fertilizantes inorgánicos en México	2
2.3. Estrategias para optimizar el uso de los fertilizantes nitrogenados	2
2.4. Importancia del lisianthus en México.....	3
2.5. Importancia del tomate en México.....	3
2.6. ¿Qué es la nanotecnología?	4
2.7. La nanotecnología en la agricultura	5
2.8. Nanopartículas ZnO y ZnO+CuO	6
2.9. ¿Qué es la zeolita?.....	6
2.9.1. Tipos de zeolita	7
2.9.1.1. Zeolita-clinoptilolita.....	8
2.9.1.2. Usos de la clinoptilolita en la agricultura	8
III. JUSTIFICACION.....	9
IV. HIPÓTESIS	10
V. OBJETIVO GENERAL	10
5.1. Objetivos particulares.....	10
VI. METODOLOGÍA	10
6.1. Caracterización física del sustrato zeolítico	11
6.2. Bioensayo 1. Aplicación de zeolita-clinoptilolita y NPs ZnO en cultivo de plantas de lisianthus.....	11
6.2.1. Cultivo	11
6.2.2. Tratamientos.....	11
6.2.3. Preparación de las nanopartículas para su aplicación.....	12
6.2.4. Aplicación de nanopartículas	12
6.2.5. Variables evaluadas	12
6.2.6. Análisis estadístico.....	12
6.3. Bioensayos 2 y 3. Aplicación de zeolita y NPs en plantas de tomate	13
6.3.1. Preparación de terreno y aplicación de zeolita	13
6.3.2. Preparación de la solución con nanopartículas.....	13
6.3.3. Aplicación de nanopartículas	14

6.3.4. Variables evaluadas.....	14
6.3.5. Análisis estadístico.....	14
VII. RESULTADOS.....	15
7.4. Bioensayo 1. Aplicación de zeolita y NPs ZnO en plantas de lisianthus.....	15
7.4.1. Altura de plantas.....	15
7.4.2. Diámetro de tallo.....	17
7.4.3. Índice de clorofila.....	19
7.4.4. Número de hojas.....	21
7.4.5. Número de botones florales.....	23
7.4.6. Número de flores.....	24
7.4.7. Área foliar.....	26
7.5. Bioensayo 2. Aplicación de zeolita y NPs ZnO en plantas de tomate.....	27
7.5.1. Altura de plantas.....	27
7.5.2. Diámetro de tallo.....	27
7.5.3. Índice de clorofila.....	28
7.5.4. Número de flores.....	29
7.5.5. Número de frutos.....	30
7.5.6. Área foliar.....	30
7.5.7. Peso fresco de la planta.....	31
7.5.8. Peso seco de planta.....	31
7.5.9. Peso fresco del fruto.....	32
7.5.10. Peso seco de fruto.....	32
7.5.11. Rendimiento.....	33
7.6. Bioensayo 3. Aplicación de zeolita y NPs ZnO+CuO en plantas de tomate.....	33
7.6.1. Altura de tallo.....	33
7.6.2. Diámetro de tallo.....	34
7.6.3. Índice de clorofila.....	35
7.6.4. Número de flores.....	35
7.6.5. Número de frutos.....	36
7.6.6. Área foliar.....	36
7.6.7. Peso fresco de planta.....	37
7.6.8. Peso seco de planta.....	38
7.6.9. Peso fresco de fruto.....	38
7.6.10. Peso seco de fruto.....	39
7.6.11. Rendimiento.....	39
VIII. DISCUSIÓN.....	40

7.7.	Discusión Bioensayo 1.- Aplicación de zeolita y NPs de ZnO en plantas de lisianthus	40
7.8.	Discusión Bioensayo 2.- Aplicación de zeolita y NPs de ZnO en plantas de tomate y Bioensayo 3.- Aplicación de zeolita y NPs de ZnO + CuO en plantas de tomate.....	42
IX.	CONCLUSIONES.....	45
X.	RECOMENDACIONES	45
XI.	LITERATURA CITADA.....	47
XII.	ANEXOS.....	55

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Clasificación de zeolitas con aplicaciones industriales según su fórmula química y volumen de poros que contiene.....	7
Cuadro 2.	Tratamientos con NPs ZnO utilizados en el bioensayo con lisianthus en condiciones de invernadero (bioensayo 1).....	11
Cuadro 3.	Tratamientos de zeolita incorporada al suelo y dosis NPs ZnO y NPs ZnO+CuO aplicadas al follaje de plantas de tomate en condiciones de campo.....	14
Cuadro 4.	Comparación de medias en los factores A, B y su interacción en la variable altura de tallo del bioensayo N° 1 en el que se aplicaron NPs de ZnO a diferentes concentraciones foliarmente y dos diferentes mezclas de sustratos.....	17
Cuadro 5.	Comparación de medias en los factores A, B y su interacción en la variable diámetro de tallo del bioensayo N° 1 en el que se aplicaron NPs de ZnO a diferentes concentraciones foliarmente y dos diferentes mezclas de sustratos.....	19
Cuadro 6.	Comparación de medias en los factores A, B y su interacción en la variable índice de clorofila del bioensayo N° 1 en el que se aplicaron NPs de ZnO a diferentes concentraciones foliarmente y dos diferentes mezclas de sustratos.....	21
Cuadro 7.	Comparación de medias en los factores A, B y su interacción en la variable N° de hojas del bioensayo N° 1 en el que se aplicaron NPs de ZnO a diferentes concentraciones foliarmente y dos diferentes mezclas de sustratos.	22
Cuadro 8.	Comparación de medias en los factores A, B y su interacción en la variable N° de botones del bioensayo N° 1 en el que se aplicaron NPs de ZnO a diferentes concentraciones foliarmente y dos diferentes mezclas de sustratos.....	24
Cuadro 9.	Comparación de medias en los factores A, B y su interacción en la variable N° de flores del bioensayo N° 1 en el que se aplicaron NPs de ZnO a diferentes concentraciones foliarmente y dos diferentes mezclas de sustratos.	25

Cuadro 10. Comparación de medias en los factores A, B y su interacción en la variable área foliar del bioensayo N° 1 en el que se aplicaron NPs de ZnO a diferentes concentraciones foliarmente y dos diferentes mezclas de sustratos. 26

Cuadro 11. Comparación de medias en la variable altura de tallo en el bioensayo N° 2 en el que se aplicaron NPs de ZnO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo)..... 27

Cuadro 12. Comparación de medias en la variable diámetro de tallo en el bioensayo N° 2 en el que se aplicaron NPs de ZnO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo)..... 28

Cuadro 13. Comparación de medias en la variable índice de clorofila en el bioensayo N° 2 en el que se aplicaron NPs de ZnO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo)..... 29

Cuadro 14. Comparación de medias en la variable número de flores en el bioensayo N° 2 en el que se aplicaron NPs de ZnO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo)..... 29

Cuadro 15. Comparación de medias en la variable número de frutos en el bioensayo N° 2 en el que se aplicaron NPs de ZnO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo)..... 30

Cuadro 16. Comparación de medias en la variable área foliar en el bioensayo N° 2 en el que se aplicaron NPs de ZnO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo). 31

Cuadro 17. Comparación de medias en la variable peso fresco de la planta en el bioensayo N° 2 en el que se aplicaron NPs de ZnO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo)..... 31

Cuadro 18. Comparación de medias en la variable peso seco de planta en el bioensayo N° 2 en el que se aplicaron NPs de ZnO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo)..... 32

Cuadro 19. Comparación de medias en la variable peso fresco del fruto en el bioensayo N° 2 en el que se aplicaron NPs de ZnO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo)..... 32

Cuadro 20. Comparación de medias en la variable peso seco del fruto en el bioensayo N° 2 en el que se aplicaron NPs de ZnO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo). 33

Cuadro 21. Comparación de medias en la variable de rendimiento en el bioensayo N° 2 en el que se aplicaron NPs de ZnO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo)..... 33

Cuadro 22. Comparación de medias en la variable altura de tallo en el bioensayo N° 3 en el que se aplicaron NPs de ZnO + CuO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).....34

Cuadro 23. Comparación de medias en la variable diámetro de tallo en el bioensayo N° 3 en el que se aplicaron NPs de ZnO + CuO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).....34

Cuadro 24. Comparación de medias en la variable índice de clorofila en el bioensayo N° 3 en el que se aplicaron NPs de ZnO + CuO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).....35

Cuadro 25. Comparación de medias en la variable número de flores en el bioensayo N° 3 en el que se aplicaron NPs de ZnO + CuO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).....36

Cuadro 26. Comparación de medias en la variable número de frutos en el bioensayo N° 3 en el que se aplicaron NPs de ZnO + CuO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).....36

Cuadro 27. Comparación de medias en la variable área foliar en el bioensayo N° 3 en el que se aplicaron NPs de ZnO + CuO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo). 37

Cuadro 28. Comparación de medias en la variable peso fresco de la planta en el bioensayo N° 3 en el que se aplicaron NPs de ZnO + CuO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).....38

Cuadro 29. Cuadro Comparación de medias en la variable peso seco de la planta en el bioensayo N° 3 en el que se aplicaron NPs de ZnO + CuO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).....38

Cuadro 30. Comparación de medias en la variable peso fresco del fruto en el bioensayo N° 3 en el que se aplicaron NPs de ZnO + CuO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha ⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha ⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha ⁻¹ zeo), T5 (20 t ha ⁻¹ zeo).....	39
Cuadro 31. Comparación de medias en la variable peso seco de fruto en el bioensayo N° 3 en el que se aplicaron NPs de ZnO + CuO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha ⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha ⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha ⁻¹ zeo), T5 (20 t ha ⁻¹ zeo).....	39
Cuadro 32. Comparación de medias en la variable rendimiento el bioensayo N° 3 en el que se aplicaron NPs de ZnO + CuO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha ⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha ⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha ⁻¹ zeo), T5 (20 t ha ⁻¹ zeo).	39
Cuadro 33. Concentrado de datos 30 DDT del bioensayo 2 Aplicación de zeolita y NPs ZnO en plantas de tomate.....	55
Cuadro 34. Concentrado de datos 30 DDT del bioensayo 3 Aplicación de zeolita y NPs ZnO+CuO en plantas de tomate.....	55
Cuadro 35. Concentrado de datos 60 DDT del bioensayo 2 Aplicación de zeolita y NPs ZnO en plantas de tomate.....	55
Cuadro 36. Concentrado de datos 60 DDT del bioensayo 3 Aplicación de zeolita y NPs ZnO+CuO en plantas de tomate.....	55

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Gráfica de transpiración de cultivo de tomate en el bioensayo 2 Aplicación de zeolita y NPs ZnO en plantas de tomate dónde T1 (control); T2 (50 ppm ZnO/10 t ha ⁻¹ zeo); T3 (100 ppm ZnO/20 t ha ⁻¹ zeo); T4 (200 ppm ZnO/30 t ha ⁻¹ zeo) ;T5 (20 t ha ⁻¹ zeo).	56
Gráfica 2. Gráfica de transpiración de cultivo de tomate en el bioensayo 3 Aplicación de zeolita y NPs ZnO+CuO en plantas de tomate dónde T1 (control); T2 (50 ppm ZnO+Cu/10 t ha ⁻¹ zeo); T3 (100 ppm ZnO+Cu/20 t ha ⁻¹ zeo); T4 (200 ppm ZnO+Cu/30 t ha ⁻¹ zeo) ;T5 (20 t ha ⁻¹ zeo).	56
Gráfica 3. Gráfica de fotosíntesis de cultivo de tomate en el bioensayo 2 Aplicación de zeolita y NPs ZnO en plantas de tomate dónde T1 (control); T2 (50 ppm ZnO/10 t ha ⁻¹ zeo); T3 (100 ppm ZnO/20 t ha ⁻¹ zeo); T4 (200 ppm ZnO/30 t ha ⁻¹ zeo) ;T5 (20 t ha ⁻¹ zeo).	57
Gráfica 4. Gráfica de fotosíntesis de cultivo de tomate en el bioensayo 3 Aplicación de zeolita y NPs ZnO+CuO en plantas de tomate dónde T1 (control); T2 (50 ppm ZnO+Cu/10 t ha ⁻¹ zeo); T3 (100 ppm ZnO+Cu/20 t ha ⁻¹ zeo); T4 (200 ppm ZnO+Cu/30 t ha ⁻¹ zeo) ;T5 (20 t ha ⁻¹ zeo).	57

Gráfica 5. Gráfica de conductividad estomática de cultivo de tomate en el bioensayo 2 Aplicación de zeolita y NPs ZnO en plantas de tomate dónde T1 (control); T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo); T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo); T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo) ;T5 (20 t ha⁻¹ zeo). 58

Gráfica 6. Gráfica de conductividad estomática de cultivo de tomate en el bioensayo 3 Aplicación de zeolita y NPs ZnO+CuO en plantas de tomate dónde T1 (control); T2 (50 ppm ZnO+Cu/10 t ha⁻¹ zeo); T3 (100 ppm ZnO+Cu/20 t ha⁻¹ zeo); T4 (200 ppm ZnO+Cu/30 t ha⁻¹ zeo) ;T5 (20 t ha⁻¹ zeo). 58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación gráfica de escala nanométrica. (Tomada textualmente de Oliveira, 2013) The Nano world and Nanoscience: Grain by grain. *Science and technology*. Available in: < <https://cienciaetecnologias.com/nanociencia-mundo-nano/> >. Access in: 29 Nov 2017..... 4

Figura 2. Esquema que ilustra la gran diversidad de aplicaciones que tienen las NPs, incluyendo la agricultura y el procesamiento de alimentos. Diversidad del extenso campo industrial que tiene el uso de las nanopartículas. (Tomado textualmente de: Tsuzuki, 2009) 5

Figura 3. Plantas de lisianthus representativas de los 6 diferentes tratamientos aplicados a los 60 DDT, estos se describen de izquierda a derecha: T1= 0 ppm ZnO*(70:30 Pm:P);T2= 0 ppm ZnO*(70:30 Pm:Z);T3=50 ppm ZnO*(70:30 Pm:P); T4=50 ppm ZnO*(70:30 Pm:Z); T5=100 ppm ZnO*(70:30 Pm:P); T6=100 ppm ZnO*(70:30 Pm:Z). 16

RESUMEN

El presente estudio se realizó para evaluar el efecto de diferentes dosis de nanopartículas de ZnO aplicadas foliarmente, así como de la mezcla de sustratos orgánicos y zeolíticos para el desarrollo y crecimiento de los cultivos de lisianthus en condiciones de invernadero y de tomate a cielo abierto; cada bioensayo de evaluó en dos etapas 30 y 60 días después de trasplante (DDT). Los trabajos de investigación se realizaron durante el periodo del 17 de junio al 12 de octubre del 2015 en las instalaciones del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), localizado en Saltillo, Coahuila, México. En el cultivo de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) en condiciones de invernadero se utilizó la variedad Mariachi Blue en dos mezclas de sustratos perlita-peat moss y zeolita-peat moss en proporción (30:70 v/v) así como dos concentraciones de nanopartículas (NPs) de ZnO; Las dosis fueron de 50 y 100 ppm y un testigo por sustrato. En el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) se utilizó la variedad *Floradade* (Crown Seeds) y dos tipos de NPs (1) ZnO y (2) ZnO+CuO. Para cada tipo de NPs evaluadas se establecieron cuatro camas de siembra cada una dividida en cinco partes iguales, en las que se aplicaron los siguientes tratamientos: (T1) control o testigo, (T2) 10 t*ha⁻¹ de zeolita incorporada al suelo con aplicación foliar de 50 ppm de NPs, (T3) 20 t*ha⁻¹ de zeolita incorporada al suelo con aplicación foliar de 100 ppm de NPs, (T4) 30 t*ha⁻¹ de zeolita aplicada al suelo con aplicación foliar de 200 ppm de NPs y (T5) 20 t*ha⁻¹ de zeolita aplicada al suelo sin la aplicación de NPs. En el bioensayo 1 (Aplicación de zeolita y NPs ZnO en plantas de lisianthus) a los 30 DDT se mostraron diferencias estadísticas significativas en la variable de índice de clorofila en ambos factores y en la interacción de los mismos, teniendo índices más altos a bajas concentraciones de NPs en ambos sustratos. Sin embargo el desarrollo foliar fue mayor en el sustrato en el cual se utilizó zeolita. En los 60 DDT no se mostraron diferencias estadísticas significativas en el factor concentración de NPS en ninguna de las variables evaluadas; pero si se obtuvieron diferencias estadísticas significativas en el factor sustrato y en la interacción de este con la concentración de nanopartículas en las variables de: altura de tallo, diámetro de tallo, área foliar y número de flores; lo que muestra que el sustrato de zeolita favoreció el desarrollo de las plantas de lisianthus. En el bioensayo 2 (Aplicación de zeolita y NPs ZnO en plantas de tomate) únicamente se obtuvieron diferencias estadísticas significativas en la variable diámetro de tallo a los 30 DDT entre el control y los tratamientos que se aplicó mayor cantidad de NPs (T3 y T4) ya que estos últimos fueron inferiores al T1 (control). A los 60 DDT en el rendimiento del cultivo solo hubo diferencias entre el T4 y T5, ya que el T4 supero al T5 un 36.24%. En el bioensayo 3 (Aplicación de zeolita y NPs ZnO+CuO en plantas de tomate) no se obtuvieron diferencias estadísticas significativas en ninguna de las variables medidas a los 30 y 60 DDT. El efecto de las NPs sobre el crecimiento y desarrollo de la planta dependerá de la concentración aplicada, de la frecuencia de aplicación, del tipo de planta, sustrato del cultivo, y tipo de NPs aplicada.

Palabras clave: agronotecnología, horticultura, nanopartículas metálicas, zeolita.

I. INTRODUCCIÓN

La reducción de la oferta de petróleo por el agotamiento de los yacimientos y los mayores costos para su extracción acarrearán como ya comienza a hacerlo el incremento de los precios de los energéticos y de los fertilizantes químicos, principalmente los nitrogenados (Del Bosque 2012). Por otro lado el lixiviado de los fertilizantes nitrogenados causa daños al ambiente y aumenta los impactos en la salud humana por la contaminación de fuentes de agua potable, la degradación ambiental y la eutrofización de cuerpos de agua (Aghaalikhani *et al.*, 2012; Ippolito *et al.*, 2011).

La agricultura intensiva actual se basa en el uso de fertilizantes inorgánicos para lograr altos rendimientos a pesar de los impactos que representan su uso; un fertilizante zeolítico no presenta los problemas y desventajas de esos fertilizantes convencionales (Leggo y Ledesert, 2009), siendo estos una alternativa viable sobre todo en países con estos recursos como es el caso de México; su facilidad de producción en términos de costos de energía, y el mejoramiento de suelos degradados por su aplicación se traduce en un mayor beneficio para el medio ambiente y la producción sustentable de los cultivos (Fotidis *et al.*, 2014).

Actualmente la nanotecnología (NT) es una pujante innovación científica de gran impacto en lo referente a la alta tecnología para la agricultura con la utilización novedosos y eficaces agroinsumos (Lira *et al.*, 2014a). De hecho, se ha acuñado el término “agronanobiotecnología”, que combina disciplinas científicas como la agronomía, biotecnología, NT, el procesamiento químico, la ciencia de los materiales y la ingeniería de sistemas (Maine *et al.*, 2012; Marambio y Hoek, 2010).

Aunque el uso de la NT en la agricultura se encuentra incipiente, ya se considera una auténtica revolución industrial del siglo XXI, de forma similar a lo sucedido con la biotecnología y la electrónica en el siglo XX. El uso principal de las nanopartículas (NPs) en la agricultura y la industria alimentaria se debe a su bioactividad; por ejemplo, las NPs de Ag, Cu y ZnO, han mostrado ser promotoras de la germinación y crecimiento de las plantas; además también se ha demostrado que son antagonistas de hongos y bacterias fitopatógenas (Lira *et al.*, 2014b).

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Problemática de los sistemas convencionales de producción agrícola

En la medida en que la agricultura evolucionó hacia una producción industrial se conformaron paquetes tecnológicos, dentro de los cuales estuvieron los fertilizantes sintéticos solubles que básicamente incluyeron al nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Esos fertilizantes son muy ineficientes energéticamente, además generan desequilibrios ambientales y nutricionales para las plantas así como para el ser humano (Decara *et al.*, 2004) Se ha documentado que el uso indiscriminado de los fertilizantes químicos provoca que los suelos sufran un acelerado agotamiento de materia orgánica, y un desbalance de los nutrientes que con el paso del tiempo hacen que pierdan su fertilidad, y con ello su capacidad de producción. Hoy en día se requiere realizar una actividad agrícola más amigable con el ambiente, y que al mismo tiempo permita aumentar la producción de alimentos (Romero *et al.*, 2014).

2.2. Uso de fertilizantes inorgánicos en México

En México, el uso de fertilizantes químicos se inició a principios del siglo pasado y la producción de los mismos en 1915 (Reyes, 1981). La fertilización constituye uno de los principales factores que limitan la producción agrícola, pues los cultivos absorben sólo una fracción del fertilizante aplicado que oscila entre 10% y 60%. En México, en los últimos 40 años, el consumo de fertilizantes N-P-K se ha incrementado de 5×10^4 t, a más de 5.5×10^6 t, sin embargo, el uso de este insumo no ha sido el más adecuado y se han presentado problemas de contaminación ambiental (Peña *et al* 2002)

2.3. Estrategias para optimizar el uso de los fertilizantes nitrogenados

Gran parte del nitrógeno (N) aplicado como fertilizante en los diversos sistemas de producción se pierde por lixiviación, volatilización, desnitrificación y por la fijación del amoníaco en el suelo. Una posible solución consiste en aportar menores cantidades de fertilizantes con mayor frecuencia, una formulación más efectiva de los mismos a un nivel más asimilable por la planta a corto plazo, puede ser la nanoformulación de fertilizantes y/o empleando fertilizantes de lenta liberación, estos últimos van aportando el N u otros nutrientes de manera progresiva, de forma que sí no se eliminan totalmente las pérdidas estas pueden reducirse significativamente.

Los fertilizantes de lenta liberación no siempre tienen una liberación de N que coincida con la demanda de la planta, además de su elevado costo, por lo que su uso se restringe a cultivos altamente rentables, de ciclo vegetativo largo o aquellos que se desarrollan en climas o suelos que favorecen las pérdidas de nitrógeno (Cueto, 2012).

Por lo que el uso de un material barato que nos ayude a optimizar la asimilación del nitrógeno como lo es la zeolita aunado al uso de promotores de crecimiento nanoestructurados a base de zinc para la producción de ácido indolacético que genere un desarrollo radicular alto y un vigor en el crecimiento de la planta (Vera, 2016) son viables para cultivos de gran importancia económica como la flor de lisianthus y el cultivo de tomate.

2.4. Importancia del lisianthus en México

El lisianthus es una especie ornamental poco conocida en México porque no se cultiva en grandes extensiones, ya que sólo se reportan cuatro hectáreas en producción; algunos de los estados productores son: Arteaga, Coahuila; Zacatepec, Morelos; Villa Guerrero, Estado de México; Tecamachalco, Puebla y Guadalajara, Jalisco (Domínguez, 2008).

En México el lisianthus es una especie de reciente introducción al mercado cuya demanda nacional va en aumento, por lo que se considera un cultivo con amplias perspectivas. La comercialización de las flores depende de su calidad, que se determina por el tamaño del tallo, la forma, el color, la calidad sanitaria y la calidad postcosecha.

Para lograr la calidad de flor que exige el mercado es necesario tener un buen manejo durante el periodo de producción el cual consiste en: nutrición de acuerdo al tipo de flor, control eficiente de plagas y enfermedades; así como de un control de condiciones climáticas. Debido a que algunas ornamentales requieren condiciones ambientales específicas, es necesario recurrir a la producción bajo sistemas protegidos como: casa-sombra e invernadero (Cruz *et al.*, 2006).

Para un buen desarrollo del cultivo, así como de la antesis y apertura de botones, las plantas deben disponer de suficientes elementos nutritivos y un sustrato fértil.

2.5. Importancia del tomate en México

La importancia del cultivo del tomate radica en que es una de las principales hortalizas con importancia alimenticia y económica, tan solo en México se producen 96, 159 t haa⁻¹. El estado de Sinaloa en conjunto con otras entidades aportan el 67.5 % del volumen de este producto (SIAP, 2015); es la hortaliza más cultivada después del chile verde. Según la SAGARPA (2015), para el 2014 la producción de tomate había superado los 2.8 millones de toneladas, indicando que las exportaciones ascendieron a 20 mil mdp, estos datos por el momento posicionan a México como el principal exportador de tomate en el mundo. Actualmente el precio promedio del tomate presentó una variación a la alza del 7.04 % (SNIIM, 2016) y se encuentra 158.50 % por encima en comparación con los registros del año anterior para estas mismas fechas.

Dada la importancia del tomate como una hortaliza, con una gran demanda a nivel mundial, se requieren de tecnologías nuevas para aumentar su productividad y causando el menor impacto ambiental.

2.6. ¿Qué es la nanotecnología?

La (NT) es una ciencia novedosa utilizada en el diseño, la producción y el empleo de estructuras y objetos a escala nanométrica. Nano es un prefijo griego que significa “enano” e indica una medida (10^{-9} = 0.000 000 001 m), por lo que en la NT se manipula la materia con al menos una dimensión del tamaño entre 1 a 100 nanómetros.

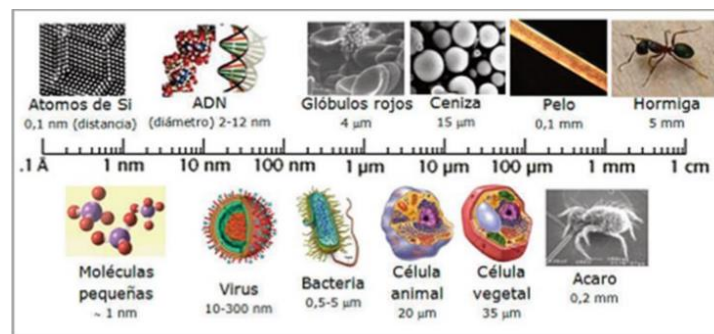


Figura 1. Representación gráfica de escala nanométrica. (Tomada textualmente de Oliveira, 2013)

La agronanotecnología es una rama de la nanotecnología que trata de manipular nanopartículas (NPs) y nanoelementos para producir insumos agrícolas, destacando principalmente la fabricación de nanosensores; elaboración de nanoplaguicidas encapsulados para su liberación controlada; además, se pueden formular nanofertilizantes y nanoherbicidas, para hacer más eficiente el uso y aplicaciones de los agroquímicos, pudiendo así coadyuvar en la solución de problemas de contaminación ambiental y en mejorar los procesos productivos de manera sustentable en el campo.

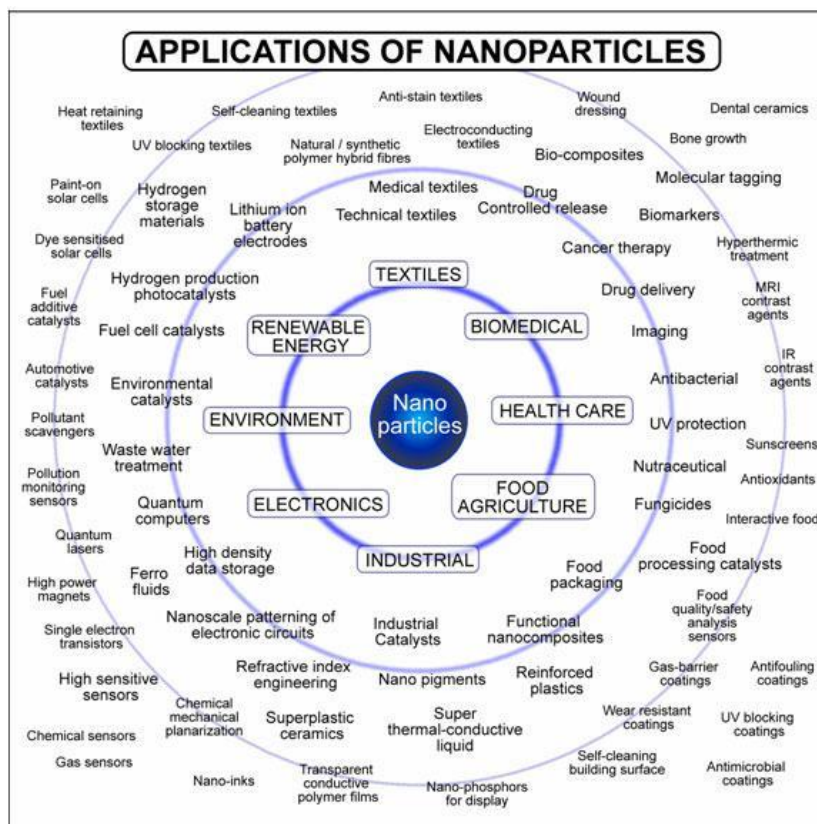


Figura 2. Esquema que ilustra la gran diversidad de aplicaciones que tienen las NPs, incluyendo la agricultura y el procesamiento de alimentos. Diversidad del extenso campo industrial que tiene el uso de las nanopartículas. (Tomado textualmente de: Tsuzuki, 2009)

2.7. La nanotecnología en la agricultura

En materia de medio ambiente, se ha encontrado que en los últimos años, el uso de la NT para controlar la contaminación se ha incrementado considerablemente, puesto que varios materiales nanoestructurados o con dimensiones nanométricas han sido utilizados como vehículos de transporte en la liberación controlada de productos agroquímicos debido a su biodegradabilidad, baja toxicidad, de bajo costo, alta reproducibilidad y fácil preparación (Aouada y De Moura, 2015).

En los últimos años las nanopartículas metálicas han sido ampliamente utilizadas por sus propiedades físicas, químicas y biológicas únicas, lo que las distingue de las partículas de tamaño convencional. La diversidad aplicaciones prácticas de estos materiales ha favorecido su uso en soluciones ambientales y agrícolas. (Mura *et al* 2013).

2.8. Nanopartículas de ZnO y ZnO+CuO

Las NPs de óxido de zinc (NPs ZnO) son empleadas en diferentes actividades como lo son: cosméticos, textiles, medicina, electricidad y agricultura (Chang *et al.*, 2012). En el sector agrícola son estudiadas por su actividad antimicrobial (Fang *et al.*, 2013; Sabir *et al.*, 2014); por su poder promotor de germinación en semillas; así como su potencial como nanofertilizante para corregir deficiencias de zinc en los cultivos y por ende como promotoras de desarrollo y crecimiento en las plantas; (Naderi y Shahraki, 2013; Raskar y Laware, 2014; Dimkpa *et al.*, 2015). El efecto promotor de crecimiento del zinc sobre las plantas, se debe a que es uno de los micronutrientes esenciales demandados para la división celular y por su importancia como componente de varias enzimas (Pandey, *et al.*, 2010); este metal también está implicado en la síntesis de proteínas, carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos (Tarafdar *et al.*, 2014).

Las NPs de cobre (NPs Cu) han atraído mucho la atención en los últimos años por ser un metal semiconductor, por sus propiedades físicas, químicas, antimicrobianas, así como por su abundancia (Betancourt *et al.*, 2013). Además, el cobre posee un importante papel biológico en el proceso de fotosíntesis de las plantas, aunque no forma parte de la composición de la clorofila. El cobre contribuye a la formación de glóbulos rojos y al mantenimiento de los vasos sanguíneos, nervios, sistema inmunitario y huesos.

Por tanto el Cu es un oligoelemento esencial para la vida humana y tiene un gran potencial para emplearse en desarrollos tecnológicos sustentables; las NPs de Cu ya han demostrado su acción antibacterial en patógenos de humanos y enfermedades nosocomiales (Baba, 2006), ha sido demostrado que el cobre tiene la habilidad de reducir el índice de crecimiento de la bacteria *Escherichia coli* como un agente anti-microbial en más de 99.99%, ya que le causa daño a las paredes de las células y altera su contenido celular negativamente (Cioffi *et al.*, 2005).

Algunos estudios señalan que concentraciones elevadas (1000 mg/l) de NPs Cu causan fitotoxicidad e inhibición de la germinación (Kyung y Kong, 2014; Zhang *et al.*, 2015); mientras que dosis bajas (<50 mg/l) han confirmado efectos significativos en el crecimiento y desarrollo (Prasad *et al.*, 2012), reflejándose en una mayor biomasa seca y área foliar.

2.9. ¿Qué es la zeolita?

Este mineral de origen natural con excelentes propiedades físicas, provienen de sedimentos volcánicos. En la agricultura se emplea para disminuir el pH del sustrato, mejorar la capacidad de intercambio catiónico, para incrementar la absorción de agua en el sustrato, etc; además es capaz de retener los nutrientes y aportarlos lentamente de acuerdo con la demanda de las plantas (Kesraqui *et al.*, 1994). En el Cuadro 1 se muestra gran diversidad en el tipo de minerales zeolíticos naturales actualmente en uso.

2.9.1. Tipos de zeolita

Existen unas 40 zeolitas naturales conocidas y unas 200 sintéticas. De las zeolitas naturales, solo nueve grupos presentan aplicaciones industriales siendo la clinoptilolita del grupo de las heulanditas la de mayor aplicación. Los nueve grupos son los siguientes:

Cuadro 1. Clasificación de zeolitas con aplicaciones industriales según su fórmula química y volumen de poros que contiene.

Grupos de zeolitas	Formula Química	Índice volumétrico de poro*
<i>Grupo de las analcimas</i>		
Analcimas	$Na_{16}(Al_{16}Si_{32}O_{96})16H_2O$	0.18
Wairakita	$Ca_8(Al_{16}Si_{32}O_{96})16H_2O$	0.18
Leucita	$K_{16}(Al_{16}Si_{32}O_{96})$	0.18
<i>Grupo de las anatrolitas</i>		
Natrolita	$Na_{16}(Al_{16}Si_{24}O_{80})16H_2O$	0.21
Edingtonita	$Ba_2(Al_4Si_6O_{20})6H_2O$	0.35
Thomsonita	$Na_4Ca_8(Al_{20}Si_{20}O_{80})24H_2O$	0.32
<i>Grupo de las filipsitas</i>		
Filipsita	$(K, Na)_5(Al_5Si_{11}O_{32})10H_2O$	0.30
Garronita	$NaCa_{2.5}(Al_6Si_{10}O_{32})14H_2O$	0.41
Gismondita	$Ca_4(Al_8Si_8O_{32})16H_2O$	0.47
<i>Grupo de las heulanditas</i>		
Heulandita	$Ca_4(Al_8Si_{28}O_{72})24H_2O$	0.35
Clinoptilolita	$Na_6(Al_6Si_{30}O_{72})24H_2O$	0.34
Estilbita	$Na_2Ca_4(Al_{10}Si_{26}O_{72})32H_2O$	0.38
<i>Grupo de las mordenitas</i>		
Mordenita	$Na_8(Al_8Si_{40}O_{96})24H_2O$	0.26
Ferrierita	$Na_{1.5}Mg_2(Al_{5.5}Si_{30.5}O_{72})18H_2O$	0.24
Epistilbita	$Ca_2(Al_6Si_{18}O_{48})16H_2O$	0.34
<i>Grupo de las chabasitas</i>		
Chabasitas	$Ca_2(Al_4Si_8O_{24})13H_2O$	0.48
Erionita	$(Ca, Mg, Na, K)_{4.5}(Al, Si_{27}O_{72})27H_2O$	0.36
Zeolita L	$K_6Na_3(Al_9Si_{27}O_{72})21H_2O$	0.28
<i>Grupo de las faujasitas</i>		
Faujasitas (X, Y)	$Na_{12}Ca_{12}Mg_{11}(Al_{59}Si_{133}O_{384})26H_2O$	0.53
Zeolita A	$Na_{12}(Al_{12}Si_{12}O_{48})27H_2O$	0.47
Zeolita AK-5	$Na_{30}(Al_{30}Si_{66}O_{192})98H_2O$	0.45
<i>Grupo de la laumontitas</i>		
Laumontita	$Ca_4(Al_8Si_{16}O_{48})16H_2O$	0.35
Yugawaralita	$Ca_4(Al_8Si_{20}O_{56})16H_2O$	0.30
<i>Grupo de las pentasil</i>		
Zeolita ZSM-5	$Na_n(Al_nSi_{96-n}O_{192})16H_2O$	0.32
Zeolita ZSM-11		

*cm³ de agua/cm³ de cristal.

(Tomado de Bosch y Schifter 1988)

2.9.1.1. Zeolita-clinoptilolita

La clinoptilolita proviene de sedimentos volcánicos conteniendo minerales disponibles para las plantas y se encuentran en yacimientos de muchas partes del mundo, siendo únicas entre los aluminosilicatos, ya que forman una red cristalina que tienen estructuras muy porosas que absorben agua y cationes (Jayasinghe *et al.*, 2008).

En el estudio de Millan *et al.* (2008) reportaron que la fertilización con urea en sustratos zeolíticos de clinoptilolita, puede funcionar como fertilizante N de lenta liberación. Zeolitas cargadas con NH_4^+ han demostrado su capacidad para aumentar la solubilización de minerales fosfatados, y por lo tanto, mejoran la absorción de P y el rendimiento de los cultivos (Mohammad *et al.*, 2004).

Los estudios realizados para comprobar la solubilidad y el intercambio catiónico de mezclas de roca fosfórica, NH_4^+ y K saturado en clinoptilolita, mostraron que las mezclas de zeolita y roca fosfórica tienen el potencial de proporcionar una fertilización de liberación lenta para las plantas (Bansiwal *et al.*, 2006).

Por su parte Li (2003) indicó la posibilidad de utilizar zeolita teniendo al NH_4^+ como portador de fertilizante para controlar la liberación de NO_3 , dedujo que la zeolita modificada por un tensoactivo es un absorbente adecuado para el NO_3 , ya que se pueden liberar lentamente los aniones NO_3 . Estas propiedades duales plantean que la zeolita modificada por un tensoactivo tiene el potencial para ser utilizado como portador de fertilizantes y para controlar la liberación de NO_3 (Yolcu *et al.*, 2013).

2.9.1.2. Usos de la clinoptilolita en la agricultura

La aplicación de zeolita-clinoptilolita en suelos pesados, degradados o exhaustos y erosionados, permite mejorar su aireación, la actividad microbiológica, la porosidad, la estructura y la capacidad de laboreo; lo que mejora su potencial de fertilidad. Mezclada con los fertilizantes nitrogenados y potásicos funciona como un almacén de nutrientes, ya que éstos se fijan a las partículas de zeolita y son liberados lentamente a medida que se agotan en la solución del suelo, por lo que se reducen las pérdidas de nutrientes por lavado, arrastre y lixiviación; lo que incrementa las posibilidades de un mayor aprovechamiento de los nutrientes.

Lo antes señalado representa una gran ventaja en la agricultura de temporal o seco, ya que sin zeolita se puede perder hasta el 70% del nitrógeno aplicado, con la consecuente pérdida de rendimiento de los cultivos, además de la contaminación del suelo y agua por los nitratos. (Vázquez *et al.* 2006).

La zeolita usada como fertilizante en la agricultura produce los siguientes beneficios según lo reportado por Paredes *et al.* (2013):

- Mejora sus propiedades físicas (estructura, retención de humedad, aireación, porosidad, densidad, ascensión capilar, etc.)

- Incrementa sus propiedades químicas (pH, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y micronutrientes), aumentando su capacidad de intercambio catiónico, todo gracias a combinar la zeolita
- Disminuye los contenidos de sodio en el suelo, que pudieran ser tóxicos para las plantas.
- Facilita una mayor estabilidad de los contenidos de materia orgánica del suelo y no permite las pérdidas de materia orgánica por mineralización.
- Aumenta la retención de nutrientes, lo que permite reducir hasta en 50% la aplicación de los fertilizantes minerales que se aplican tradicionalmente.
- Aumenta la retención de humedad permitiendo reducir las dosis de riego en más del 15% y forman un depósito permanente de agua, asegurando un efecto de humedad prolongada hasta en épocas de sequedad (absorben hasta el 65% de su volumen).
- Controla la acidez del suelo incrementando el pH. Esto se produce por su capacidad alcalinizadora.
- Las condiciones físico-químicas de los suelos arenosos mejoran con la aplicación de la zeolita debido a que aumenta su capacidad retenedora de humedad y en los suelos arcillosos mejora las condiciones físicas, evitando la compactación de los mismos y mejorando la capacidad de penetración del agua en ellos.
- Aumenta el aprovechamiento de los fertilizantes químicos, pesticidas y otros productos aplicados al suelo, pues los incorpora a su masa porosa y los va liberando poco a poco.
- Mejora la nitrificación en el suelo al suministrar una superficie ideal para la adherencia de las bacterias nitrificantes. Por el mismo motivo, aumenta la población de bacterias del suelo que atacan a hongos patógenos.
- La estructura porosa de las zeolitas ayuda a mantener el suelo aireado, una única aplicación de zeolita ofrece beneficios durante mucho tiempo debido a la estabilidad y la resistencia de esta sustancia.

III. JUSTIFICACION

Generar tecnologías que sean sustentables para la agricultura es de suma importancia ya que en la actualidad los productores de nuestro país y el mundo, emplean diversos agroinsumos derivados del petróleo, lo cual ha creado un impacto ambiental severo, además de una dependencia excesiva de estos productos para generar grandes rendimientos, lo pone en riesgo nuestra seguridad alimentaria. Existen algunos productos nanoformulados para su uso comercial en la agricultura, pero existe poca información sobre su eficiencia; muchas investigaciones solo se llevan a cabo en semillas y plántulas de cultivos por lo que es necesario llevar estas tecnologías hasta la etapa de producción, sobre todo de cultivos que demanden rendimientos elevados, calidad en sus cosechas y una demanda de insumos fuerte. Esta investigación se llevó a cabo para encontrar dosis adecuadas de sustratos zeolíticos mezclados con sustratos orgánicos, así como de NPs de

óxido de zinc solas o dopadas cobre aplicadas foliarmente sobre cultivos de interés comercial en condiciones de invernadero y cielo abierto.

IV. HIPÓTESIS

El crecimiento de plantas de tomate y lisianthus se verá beneficiado por efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de óxido de zinc puras y mezcladas con cobre, así como por efecto de la zeolita incorporada al sustrato.

V. OBJETIVO GENERAL

Analizar el efecto de diversas concentraciones de nanopartículas de óxido de zinc y la incorporación de zeolita en un sustrato orgánico, para la promoción de crecimiento y desarrollo de plantas de lisianthus y tomate, en condiciones de invernadero y campo respectivamente.

5.1. Objetivos particulares

- Analizar en condiciones de invernadero el efecto en crecimiento y desarrollo del cultivo de lisianthus con dos diferentes mezclas de sustratos a base de turba: peat moss-zeolita y peat moss-perlita.
- Evaluar el efecto de diferentes concentraciones de NPs de ZnO aplicadas foliarmente a plantas de lisianthus en condiciones de invernadero.
- Determinar en condiciones de campo el efecto en crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de tomate de NPs de ZnO puras y dopadas con Cu aplicadas foliarmente, así como por la incorporación de zeolita al suelo.

VI. METODOLOGÍA

El trabajo consistió en la realización de tres bioensayos en dos etapas (un bioensayo en la primera y dos en la segunda etapa) bajo condiciones de invernadero y campo abierto, para evaluar el desarrollo de plantas de lisianthus y tomate sometidas a la aplicación de diferentes dosis de NPs ZnO y zeolita.

- a) Primera etapa: Utilizando mezclas de los sustratos peat moss (Pm), perlita (Per) y zeolita (Zeo), se evaluó su efecto en el desarrollo de plantas de lisianthus cultivadas en maceta bajo condiciones de invernadero.
- b) Segunda etapa: Aplicando diferentes dosis de Zeo (0, 10, 20 y 30 ton/ha) al suelo, y NPs ZnO solas y dopadas con Cu, se determinó el efecto de ambos tratamientos en el crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate bajo condiciones de campo abierto.

6.1. Caracterización física del sustrato zeolítico

La zeolita utilizada fue obtenida de la mina San Francisco de S.L.P., localizada en el estado de San Luis Potosí, México. Para conocer las propiedades físicas de la zeolita se utilizó la metodología reportada por Pire y Pereira (2003), por lo que se determinaron las siguientes variables: Porosidad total (%); Porosidad de aireación (%); Capacidad de retención de agua (%); Densidad aparente (g/cm^3) y Densidad de partículas (g/cm^3).

6.2. Bioensayo 1. Aplicación de zeolita-clinoptilolita y NPs ZnO en cultivo de plantas de lisianthus

6.2.1. Cultivo

Las plantas de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinnery) que se utilizó fueron de la variedad Mariachi Blue, adquiridas en la empresa Plántulas de Tetela S.A de C.V., las plantas se cultivaron en condiciones de invernadero en instalaciones del CIQA en Saltillo Coahuila México. Después de 8 días para la adaptación y manejo, se aplicó una fertilización de fondo NPK. El trasplante se realizó en macetas de 10 l conteniendo una planta cuando presentaron de 6 a 8 hojas. El suministro de agua se realizó mediante sistema de riego automatizado para mantener una humedad adecuada. Para la fertilización se aplicó una solución Hoagland (1950) modificada la cual se aplicó para fertirrigar alternándose con riego simple.

6.2.2. Tratamientos

Para evaluar el efecto de NPs de ZnO así como la composición del sustrato sobre el crecimiento de lisianthus se diseñaron 6 tratamientos por quintuplicado que se describen a continuación:

Cuadro 2. Tratamientos con NPs ZnO utilizados en el bioensayo con lisianthus en condiciones de invernadero (bioensayo 1).

Dosis de NPs ZnO (ppm)	Sustrato 70:30 V:V	
	70:30 (Pm:Per v/v)	70:30 (Pm:Zeo v/v)
0	T1	T2
50	T3	T4
100	T5	T6

Pm= peat moss; Per=perlita; Zeo=zeolita-clinoptilolita

El diseño experimental que se utilizó fue bifactorial completamente al azar, considerando a los sustratos como primer factor (2 niveles) y a las NPs ZnO como el segundo factor (3 niveles) teniendo así seis tratamientos para el cultivo de lisianthus con cinco repeticiones por tratamiento, cada maceta fue tomada como una repetición.

6.2.3. Preparación de las nanopartículas para su aplicación.

La mezcla aplicada de NPs ZnO fue una suspensión acuosa que se preparó en concentraciones de 0, 50 y 100 ppm en agua desionizada y dispersadas con un baño sónico (Branson 2510) por 30 minutos a temperatura ambiente. Las NPs fueron sintetizadas y preparadas en el Laboratorio de Materiales Avanzados del CIQA por el personal del laboratorio.

6.2.4. Aplicación de nanopartículas

La primera aplicación foliar de las NPs ZnO se hizo 7 días después del trasplante (DDT), las aplicaciones se hicieron semanalmente en un periodo de 6 semanas suspendiéndose en las semanas consecutivas hasta terminar el experimento, este duro 9 semanas. La aplicación de NPs a las plantas de lisianthus se realizó de manera manual con aspersores de 20 ml de capacidad, aplicando 1.0 ml de la solución por planta a cada uno de los tratamientos. El grupo control solo recibió agua desionizada en la misma cantidad y frecuencia.

6.2.5. Variables evaluadas

Con el fin de medir la respuesta del desarrollo de las plantas por efecto de las NPs y los sustratos se realizaron mediciones semanales a partir de la segunda semana después de trasplante de las siguientes variables: altura de planta del cuello al ápice principal, diámetro de tallo a la altura del primer entrenudo, número de flores abiertas, número de hojas y número de botones florales, índice de clorofila (Minolta– Spad 502), área foliar (LI-COR 3100, Lincoln, Nebraska, EU) y la biomasa seca para la que se llevó el vástago completo a estufa a una temperatura de 75°C hasta que alcanzó peso constante.

6.2.6. Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante un ANVA de dos vías considerando la concentración de NPs y al tipo de sustrato como factores de variación. En los casos donde el ANVA arrojó diferencias significativas se realizó una prueba de rango múltiple Tukey ($p \leq 0.05$). Para comparar las medias se utilizó el software estadístico JMP-SAS versión 5.0 (SAS Institute, 2002).

6.3. Bioensayos 2 y 3. Aplicación de zeolita y NPs en plantas de tomate

Para cada bioensayo (2 y 3) se cultivó tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de la variedad Floradade (Crown Seeds) en condiciones de campo abierto en el CIQA. Se aplicó una fertilización de fondo NPK por medio de sistema Venturi con una solución Hoagland (1950) compuesta de los siguientes elementos por cada 100 litros de agua: 98.9 g de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 49.5 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 9.1 g de KNO_3 , 13.6 g de KH_2PO_4 , 45.1 g de K_2SO_4 , 2 g de micronutrientes.

La producción de plántula se hizo en condiciones de vivero en las mismas instalaciones del CIQA en charolas de 200 cavidades con sustrato de peat moss, se regaron de manera manual con una bomba de fumigar hasta que alcanzó capacidad de campo según lo requiriera. Se instaló un sistema de riego por cintilla de una pulgada de la marca Toro Aqua-traxx y un acolchado negro-plata.

El trasplante se efectuó cuando las plántulas tuvieron una altura promedio de 20 cm con un marco de siembra a tresbolillo a cada 30 cm poniendo 12 plantas por repetición. Para la fertilización se aplicó una solución Hoagland por sistema Venturi de manera alternada con los riegos que se efectuaban cuando los tensiómetros marcaban 30 centibares. El bioensayo tres fue exactamente igual al dos a excepción de que la NP utilizada, en este caso fue de óxido de zinc dopada con cobre.

6.3.1. Preparación de terreno y aplicación de zeolita

El terreno se preparó haciendo cuatro camas de siembra de 80 cm de ancho, 8 m de largo y 20 cm de alto; cada cama se dividió en 5 secciones iguales ($1.6 \text{ m} \times .8 \text{ m} = 1.28 \text{ m}^2$), en cada sección se incorporó zeolita al suelo según el tratamiento correspondiente con la ayuda herramientas manuales de labranza hasta lograr una mezcla heterogénea entre el suelo y la zeolita. Para conocer el volumen de zeolita aplicado primero se pesó el volumen de 1 l de zeolita (960 g), conociendo este dato se adicionó con ayuda de recipientes de 1 l graduados lo correspondiente a 10 t ha^{-1} (1.33 l), 20 t ha^{-1} (2.66 l) y 30 t ha^{-1} (4 l) según correspondiera a cada tratamiento, posteriormente se colocó el sistema de riego y el acolchado.

6.3.2. Preparación de la solución con nanopartículas.

Las soluciones de NPs ZnO y NPs ZnO+CuO fueron preparadas en concentraciones de 0, 50, 100 y 200 ppm en agua desionizada y dispersadas con un baño sónico (Branson 2510,) por 30 minutos.

Para evaluar el efecto de la zeolita en conjunto con las NPs se aplicaron los tratamientos especificados a continuación:

Cuadro 3. Tratamientos de zeolita incorporada al suelo y dosis NPs ZnO y NPs ZnO+CuO aplicadas al follaje de plantas de tomate en condiciones de campo.

Tratamiento	Bioensayo 1	Bioensayo 2
T1 Control	Sin NPs	Sin NPs
T2 10 t ha⁻¹ zeo y 50 ppm NPs	NPs ZnO	NPs ZnO+ CuO
T3 20 t ha⁻¹ zeo y 100 ppm NPs	NPs ZnO	NPs ZnO+ CuO
T4 30 t ha⁻¹ zeo y 200 ppm NPs	NPs ZnO	NPs ZnO+ CuO
T5 20 t ha⁻¹ zeo	Sin NPs	Sin NPs

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con cinco tratamientos, en dónde cada tratamiento consto con 4 repeticiones (12 plantas/repetición).

6.3.3. Aplicación de nanopartículas

La aplicación foliar de las NPs se realizó de manera manual con aspersores de 20 ml de capacidad adicionando a la solución adherente, aplicando 1 ml de la solución por planta a los tratamientos. El grupo control solo recibió agua desionizada en la misma cantidad. Las NPs fueron aplicadas semanalmente a partir de la primera semana después de trasplante durante un periodo de 7 semanas.

6.3.4. Variables evaluadas.

Con el fin de evaluar el desarrollo de las plantas y los efectos de las NPs se realizaron dos muestreos destructivos y se evaluó lo siguiente: altura de planta, diámetro de tallo (vernier digital), número de flores, número de hojas, número de frutos, número de botones florales, peso de frutos para rendimiento, peso fresco de la planta, índice de clorofila (Minolta– Spad 502) Área foliar se determinó usando el medidor LI-COR 3100, Lincoln, Nebraska, EU. Para la biomasa seca se llevó a estufa a una temperatura de 75°C hasta que alcanzaron peso constante. Se midieron también tasa fotosintética, conductividad estomática, y transpiración con un aparato portátil de fotosíntesis LI-6300 (LI-COR, inc. Lincoln, Nebraska, EU.); a los 60 y 90 DDT se tomaron lecturas durante el periodo de las 9:00 a las 17:00 horas.

6.3.5. Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante un ANVA de una sola vía considerando interacción de la concentración de NPs y la cantidad de zeolita adicionada al suelo como un solo factor de variación. En los casos dónde el

ANVA arrojó diferencias significativas se realizó una prueba de rango múltiple Tukey ($p \leq 0.05$) para comparar las medias con el software estadístico JMP-SAS versión 5.0 (SAS Institute, 2002).

VII. RESULTADOS

7.4. Bioensayo 1. Aplicación de zeolita y NPs ZnO en plantas de lisianthus

7.4.1. Altura de plantas

En la variable de altura a los 30 DDT analizando los datos independientemente por concentración de NPs y por tipo de sustrato así como la interacción de ambos se obtuvieron los siguientes resultados:

En cuanto a esta variable el ANVA no arrojó diferencias significativas por efecto de la concentración de NPs aplicada al follaje a los 30 días después del trasplante (DDT) por las diferentes dosis (0, 50 y 100 ppm) que se utilizaron.

La dosis que obtuvo una mayor altura fue la de 50 ppm con una media de 18.61 cm en relación con las otras dosis, 14.16 cm y 18.34 cm a las dosis de 0 ppm y 100 ppm respectivamente. Analizando los datos por efecto de la concentración de NPs a los 60 DDT la dosis que obtuvo una mayor media estadística fue la de 100 ppm con 26.87 cm de altura seguida del testigo (0 ppm ZnO) con 24.44 cm y 24.10 cm con la dosis de 50 ppm, sin embargo tampoco hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos. En la figura 2 se aprecia la altura de las plantas representativas de los tratamientos aplicados.

Analizando los datos a los 30 DDT por efecto de la mezcla de sustratos en el ANVA no se encontraron diferencias estadísticas significativas; el sustrato que obtuvo una mayor media fue en el que se incorporó zeolita con 19.01 cm de altura de tallo, en tanto que la media del sustrato que contenía perlita fue de 15.06 cm de altura de tallo.

A los 60 DDT sí se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) ya que el sustrato que contiene zeolita obtuvo una media de 30.24 cm en comparación con el sustrato que contenía perlita 20.04 cm, siendo las plantas cultivadas en sustrato con zeolita un 50% más altas que las cultivadas en sustrato con perlita.



Figura 3. Plantas de lisianthus representativas de los 6 diferentes tratamientos aplicados a los 60 DDT, estos se describen de izquierda a derecha: T1=0 ppm ZnO*(70:30 Pm:P); T2=0 ppm ZnO*(70:30 Pm:Z); T3=50 ppm ZnO*(70:30 Pm:P); T4=50 ppm ZnO*(70:30 Pm:Z); T5=100 ppm ZnO*(70:30 Pm:P); T6=100 ppm ZnO*(70:30 Pm:Z).

En los primeros 30 DDT el ANVA relacionada con la interacción entre la concentración de NPs ZnO aplicada foliarmente y de la mezcla de sustratos no mostró diferencias estadísticas significativas, sin embargo todos los tratamientos que contenían zeolita en el sustrato superaron a los tratamientos con similar dosis de NPs ZnO en que se incorporó perlita en el sustrato.

Los tratamientos en que se aplicaron 50 ppm de NPs de ZnO como lo son el T3 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:P) y el T4 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) en cada tipo de sustrato fueron las que obtuvieron mayores medias; en el T3 se obtuvo una media de 17.80 cm de altura de tallo siendo esta la altura mayor de todos los tratamientos en los cuales se utilizó perlita en el sustrato seguida por 17.30 cm de altura del T5 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:P) y 10.08 cm del T1 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:P).

El T4 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) fue el tratamiento que obtuvo una media más alta en todo el experimento con 19.42 cm seguido por el T6 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) que tuvo una media de 19.38 cm y el T2 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:P) con una media de 18.24 cm.

A los 60 DDT del experimento los resultados del ANVA en la interacción de las NPs de ZnO aplicadas foliarmente y de la mezcla de sustratos si mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$). El T2 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) fue el tratamiento que obtuvo la mayor altura de tallo entre todos los tratamientos con una altura de 32.83 cm, seguido por el T6 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) con 30.07 cm de altura de tallo y el T4 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:Z); con 27.81 cm de altura de tallo.

Los resultados en los tratamientos en que al sustrato se incorporó perlita y NPs asperjadas foliarmente mostraron que el tratamiento T5 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:P) fue el mayor de éstos con una media de 23.68 cm de altura de tallo seguido del tratamiento T3 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:P) 20.39 cm de altura de tallo y el tratamiento T1 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:P) con 16.06 cm de altura de tallo.

Los tratamientos que fueron estadísticamente iguales fueron: T2, T4, T5 y T6, los tratamientos T1 y T3 fueron diferentes de estos (cuadro 4).

El tratamiento T2 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) obtuvo plantas 104% más altas que el tratamiento T1 (0ppm ZnO*70:30 Pm:P), el tratamiento T4 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) tuvo plantas un 36% más altas que el T3 (50ppm ZnO*70:30 Pm:P), mientras que el tratamiento T6 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) tuvo plantas 26% más altas que el T5 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:P); cabe resaltar que estas diferencias estadísticas fueron altamente significativas ($p \leq 0.0002$).

Cuadro 4. Comparación de medias en los factores A, B y su interacción en la variable altura de tallo del bioensayo N° 1 en el que se aplicaron NPs de ZnO a diferentes concentraciones foliarmente y dos diferentes mezclas de sustratos.

Altura de tallo (cm)		
B	30 días	60 días
70:30 Pm:P	15.06 ±(2.02)	20.04 ±(1.51) b
70:30 Pm:Z	19.01±(1.56)	30.24 ±(1.30) a
Probabilidad	0.13	**0.001
A	30 días	60 días
0ppm	14.16 ±(2.67)	24.44 ±(3.15)
50 ppm	18,61 ±(2.48)	24.10 ±(2.43)
100ppm	18.34 ±(1.35)	26.87 ±(1.27)
Probabilidad	0.30	0.67
A*B	30 días	60 días
0ppm (70:30 Pm:P)	10.08 ±(2.65)	16.06 ±(1.98) c
0ppm (70:30 Pm:Z)	18.24 ±(4.10)	32.83 ±(2.36) a
50ppm (70:30 Pm:P)	17.80 ±(4.74)	20.39 ±(3.35) bc
50ppm (70:30 Pm:Z)	19.42 ±(2.21)	27.81 ±(2,91) ab
100ppm (70:30 Pm:P)	17.30 ±(2.03)	23.68 ±(1.26) abc
100ppm (70:30 Pm:Z)	19.38 ±(1.91)	30.07 ±(0.74) ab
Probabilidad	0.51	**0.0002

Pm=peat moss; P=perlita; Z=zeolita-clinoptilolita; *, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.4.2. Diámetro de tallo

El diámetro (\emptyset) de tallo de planta no se vio influenciado por la aplicación de NPs a los 30 y 60 DDT ya que el ANVA no mostró diferencias estadísticas. Las medias obtenidas fueron las siguientes: 2.36 mm de \emptyset , 2.65 mm de \emptyset , 2.53 mm de \emptyset , para 0 ppm, 50 ppm y 100 ppm respectivamente en la medición realizada a los 30 DDT del cultivo.

A los 60 DDT el diámetro de tallo en las diferentes concentraciones de NPs tuvieron las siguientes medias: 2.63 mm de \emptyset en la dosis 0 ppm, 2.41 mm de \emptyset para las dosis 50 ppm y 2.74 mm de \emptyset para las dosis de 100 ppm.

Sin embargo al evaluar la variable de diámetro de tallo no se encontraron diferencias estadísticas significativas a los 30 DDT con base en la mezcla de sustratos, en este periodo se encontró que las plantas

cultivadas en la mezcla de sustratos peat moss-zeolita fueron un 12.71 % más gruesas en el tallo que las cultivadas en la mezcla de peat moss-perlita.

Lo antes señalado fue una tendencia considerable en los primeros 30 DDT del experimento ya que en el sustrato en el que se incorporó perlita se obtuvo una media de 2.36 mm de Ø, mientras que en el cual se aplicó zeolita, se obtuvo una media de 2.66 mm de Ø; tendencia que se mantuvo hasta los 60 DDT del experimento ya que el ANVA mostró diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) como lo podemos ver en los resultados de 2.33 mm de Ø y 2.86 mm de Ø para los sustratos con perlita y zeolita respectivamente, teniendo plantas con un tallo 22% más ancho en el sustrato con zeolita con respecto a el sustrato con perlita.

Los resultados de los ANVA obtenidos en las interacciones de la concentración de NPs y de la mezcla de sustratos a los 30 y 60 DDT fueron muy similares en cuanto a las tendencias que se obtuvieron en la variable de altura, en los que en los primeros 30 DDT del experimento no hubo diferencias significativas, los tratamientos T2 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:Z), T4 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) y T6 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) fueron mayores en un 37%, 3% y un 2% con respecto a los tratamientos T1 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:P), T3 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:P) y T5 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:P) respectivamente, las medias obtenidas en cada tratamiento fueron: T1 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:P)=1.99 mm de Ø, T2 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:Z)=2.73 mm de Ø, T3 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:P)=2.61 mm de Ø, T4 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:Z)=2.70 mm de Ø, T5 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:P)=2.50 mm de Ø, T6 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:Z)=2.55 mm de Ø. En los 30 DDT la mejor dosis, fue la de 50 ppm por independientemente del tipo de sustrato.

El ANVA realizado a los 60 DDT en la interacción entre la concentración de NPs de ZnO y la mezcla de sustratos mostró que los tratamientos mantuvieron la tendencia de sus efectos sobre la altura de tallo ya que también hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$), debido a que en el sustrato en el cual se utilizó perlita el aumento en la concentración de NPs aplicadas al follaje incrementó el diámetro de tallo.

Lo antes señalado se puede corroborar con los siguientes resultados: T1 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:P)= 2.11 mm de Ø, T3 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:P)= 2.21 mm de Ø y T5 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:P)= 2.67 mm de Ø siendo los tallos del T5 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:P) un 26% más gruesos que los de las plantas del T1 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:P).

Mientras que los tratamientos dónde se utilizó zeolita en el sustrato el incremento en la concentración de nanopartículas estadísticamente no incremento el diámetro de tallo de la planta ya que el T2 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) en el cual no se aplicaron NPs fue el mayor diámetro de todo el experimento con 3.16 mm de Ø seguido por el T6 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) con 2.80 mm de Ø y el T4 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) con 2.61 mm de Ø; las plantas del T2 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) tuvieron tallos un 12% más gruesos que el T6 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) al que se le aplicó mayor concentración de NPs en el mismo tipo de sustrato, mientras que con respecto al T1 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:P) al cual no se aplicaron NPs al igual que el T2 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) las plantas tuvieron un tallo un 50% más grueso sin embargo los

tratamientos en los cuales se utilizó zeolita en el sustrato fueron todos estadísticamente iguales y compartieron literales con el tratamiento con concentración más alta de NPs de ZnO en sustrato con perlita T5 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:P); el tratamiento que supero estadísticamente a los tratamientos T1 y T3 fue el tratamiento T2, los demás tratamientos compartieron literales con estos tratamientos.

Cuadro 5. Comparación de medias en los factores A, B y su interacción en la variable diámetro de tallo del bioensayo N° 1 en el que se aplicaron NPs de ZnO a diferentes concentraciones foliarmente y dos diferentes mezclas de sustratos.

Diámetro de tallo(mm)		
B	30 días	60 días
70:30 Pm:P	2.36 ±(0.15)	2.33±(0.09) b
70:30 Pm:Z	2.66 ±(0.14)	2.86 ±(0.15) a
Probabilidad	0.16	**0.006
A	30 días	60 días
0ppm	2.36 ±(0.17)	2.63±(0.23)
50 ppm	2.65 ±(0.21)	2.41±(0.16)
100ppm	2.53 ±(0.17)	2.74±(0.11)
Probabilidad	0.52	0.42
A*B	30 días	60 días
0ppm (70:30 Pm:P)	1.99 ±(0.09)	2.11±(0.10) b
0ppm (70:30 Pm:Z)	2.73 ±(0.23)	3.16 ±(0.30) a
50ppm (70:30 Pm:P)	2.61 ±(0.36)	2.21 ±(0.17) b
50ppm (70:30 Pm:Z)	2.70 ±(0.25)	2.61 ±(0.25) ab
100ppm (70:30 Pm:P)	2.50 ±(0.22)	2.67 ±(0.09) ab
100ppm (70:30 Pm:Z)	2.55 ±(0.28)	2.80 ±(0.20) ab
Probabilidad	0.37	*0.016

Pm=peat moss; P=perlita; Z=zeolita-clinoptilolita; *, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.4.3. Índice de clorofila

A los 30 DDT las mediciones de unidades SPAD (Soil Plant Analysis Development) hechas a las plantas mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en las diferentes concentraciones de nanopartículas de ZnO aplicadas foliarmente; las diferencias se muestran en las siguientes medias: 0 ppm= 67.22 unidades SPAD, 50 ppm= 66.27 unidades SPAD, 100 ppm= 61.72 unidades SPAD. Las plantas a las que se les aplico 100 ppm de NPs tuvieron un 9% menos de unidades SPAD que las plantas a las cuales no se aplicaron NPs. Las concentraciones que fueron diferentes entre sí fueron el testigo y 100 ppm.

En las mediciones hechas a los 60 DDT el comportamiento por la aplicación de NPs que se observó a los 30 DDT no se conservó ya que no hubo diferencias significativas según el ANVA además de que el testigo en esta ocasión obtuvo menor índice de clorofila que los tratamientos, la dosificación de NPs que tuvo una media más alta fue la de 50 ppm con 74.72 unidades SPAD seguida por la dosificación de 100 ppm con 73.92 unidades SPAD y el testigo (0 ppm) con 72.14 unidades SPAD.

Analizando los datos con base en la mezcla de sustratos el ANVA que se realizó a los datos tomados a los 30 DDT indicó que hubo diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre los sustratos que se utilizaron; la media del sustrato en el cual se utilizó perlita fue de 66.92 unidades SPAD, mientras que la media en donde se utilizó sustrato con zeolita fue de 63.22 unidades SPAD. Las plantas que fueron cultivadas en sustrato con perlita tuvieron un 4.69 % más unidades SPAD que las plantas cultivadas en sustrato con zeolita.

Analizando los datos obtenidos a los 60 DDT por el efecto de la mezcla de sustratos la tendencia fue diferente a la de los 30 DDT ya que no hubo diferencias significativas; el sustrato en el que se agregó perlita obtuvo una media de 71.11 Unidades SPAD, en contraste con la obtenida en los sustratos que contenían zeolita, las cuales reportaron 76.07 Unidades SPAD.

El ANVA de la interacción de ambos factores también mostró diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) como en la concentración de NPs de ZnO y de la mezcla de sustratos a los 30 DDT, los resultados fueron los siguientes: T1 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:P)=71.08 unidades SPAD, T2 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:Z)=63.36 unidades SPAD, T3 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:P)=67.40 unidades SPAD, T4 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:Z)=65.14 unidades SPAD, T5 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:P)=62.28 unidades SPAD, T6 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:Z)=61.16 unidades SPAD. Los tratamientos diferentes entre sí fueron T1 con respecto al T5 y T6, los demás tratamientos compartieron literales a los 30 DDT.

Las plantas del tratamiento T1 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:P) las cuales se cultivaron en sustrato con perlita y que además no se les aplicó NPs tuvieron un 16.21% más unidades SPAD que las cultivadas en el T6 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) lo que nos indica que el uso de zeolita en el sustrato en conjunción al uso NPs de ZnO tuvo un efecto inhibitorio en la variable de índice de clorofila al menos en los 30 DDT del cultivo.

Analizando de la misma manera que a los 30 DDT los datos obtenidos a los 60 DDT es importante señalar que no se encontraron diferencias estadísticas significativas en la interacción de ambos factores. En los tratamientos en los cuales se utilizó perlita se obtuvieron las siguientes medias: T1 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:P) = 67.02 unidades SPAD, T3 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:P) = 71.14 unidades SPAD y T5 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:P) = 75.18 unidades SPAD.

En los tratamientos en los cuales se utilizó zeolita se obtuvieron las siguientes medias: T2 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) = 77.26 unidades SPAD, T4 (50 ppm ZnO*70:30) = 78.30 unidades SPAD y T6 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) = 72.66 unidades SPAD.

Cuadro 6. Comparación de medias en los factores A, B y su interacción en la variable índice de clorofila del bioensayo N° 1 en el que se aplicaron NPs de ZnO a diferentes concentraciones foliarmente y dos diferentes mezclas de sustratos.

Índice de clorofila(unidades SPAD)		
B	30 días	60 días
70:30 Pm:P	66.92±(1.47) a	71.11±(2.39)
70:30 Pm:Z	63.22±(1.05) b	76.07±(0.91)
Probabilidad	*0.05	0.06
A	30 días	60 días
0ppm	67.22±(1.56) a	72.14±(3.18)
50 ppm	66.27 ±(1.42) ab	74.72±(1.91)
100ppm	61.72 ±(1.55) b	73.92±(1.78)
Probabilidad	*0.03	0.73
A*B	30 días	60 días
0ppm (70:30 Pm:P)	71.08 A ±(1.58) a	67.02±(5.56)
0ppm (70:30 Pm:Z)	63.36 ±(1.01) ab	77.26 ±(1.27)
50ppm (70:30 Pm:P)	67.40 ±(1.62) ab	71.14 ±(2.81)
50ppm (70:30 Pm:Z)	65.14 ±(2.42) ab	78.30 ±(1.45)
100ppm (70:30 Pm:P)	62.28 ±(2.81) b	75.18 ±(3.61)
100ppm (70:30 Pm:Z)	61.16 ±(1.69) b	72.66 ±(0.71)
Probabilidad	*0.01	0.13

Pm=peat moss; P=perlita; Z=zeolita-clinoptilolita; *, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.4.4. Número de hojas

El ANVA de los datos obtenidos a los 30 DDT con base en la concentración de NPs de ZnO no mostró diferencias estadísticas significativas entre las diferentes concentraciones los valores promedio obtenidos fueron 24.38 hojas por planta en la concentración de 0 ppm; 24.20 hojas por planta en la concentración de 50 ppm y 24.50 hojas por planta con la concentración de 100 ppm. A los 60 DDT todas las concentraciones de NPs promediaron 32 hojas por planta.

El efecto del sustrato sobre el número de hojas por planta a los 30 DDT se vio reflejado con las diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el análisis estadístico ya que para el sustrato que contenía zeolita se obtuvo una media de 25.86 hojas por planta, mientras que el sustrato en el cual se incorporó perlita la media obtenida fue de 22.85 hojas por planta, eso significa 13.17 % más cantidad de hojas en el sustrato con zeolita en comparación con el sustrato con perlita.

A los 60 DDT no se mantuvo la tendencia que se obtuvo en los primeros 30 DDT del experimento por el efecto del tipo de sustrato ya que en esta etapa del cultivo el ANVA no mostró diferencias estadísticas significativas y el comportamiento de esta variable fue diferente ya que la media de los tratamientos en los cuales se utilizó perlita que en este caso tuvo 34 hojas por planta y fue mayor que la media de los tratamientos que utilizaron zeolita que obtuvo una media de 30 hojas por planta.

Analizando el efecto de ambos factores a los 30 DDT en conjunto indicaron que no había diferencias significativas y que los valores de las medias obtenidas fueron muy homogéneos dependiendo del tipo de sustrato que se utilizó ya que en los tratamientos con perlita las medidas oscilaban sobre las 23 hojas por planta mientras que los tratamientos con zeolita las medias oscilaban sobre los 26 hojas por planta.

Analizando el efecto de ambos factores a los 60 DDT del cultivo no se observaron diferencias estadísticas significativas pero si se observaron comportamientos similares como en las variables de crecimiento y diámetro de tallo. En los tratamientos que utilizó perlita en el sustrato y NPs de ZnO foliarmente se obtuvieron los siguientes resultados: T1 (0 ppm ZnO*70:3 Pm:P) = 30.80 hojas por plnta, T2 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) = 34.8 hojas por planta, T3 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:P) = 35.8 hojas por planta; en cuanto a los tratamientos que utilizaron zeolita en el sustrato y NPs de ZnO foliarmente los resultados se muestran en los siguientes promedios: T2 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) = 32.6 hojas por planta, T4 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) = 29.0 hojas por planta y T6 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) = 29.6 hojas por planta.

Cuadro 7. Comparación de medias en los factores A, B y su interacción en la variable N° de hojas del bioensayo N° 1 en el que se aplicaron NPs de ZnO a diferentes concentraciones foliarmente y dos diferentes mezclas de sustratos.

N° De hojas		
B	30 días	60 días
70:30 Pm:P	22.85 ±(0.70) b	33.80±(2.52)
70:30 Pm:Z	25.86 ±(1.07) a	30.40±(2.02)
Probabilidad	*0.02	0.30
A	30 días	60 días
0ppm	24.38±(1.30)	31.70±(2.38)
50 ppm	24.20±(1.15)	31.90±(2.96)
100ppm	24.50±(1.24)	32.70±(3.30)
Probabilidad	0.98	0.96
A*B	30 días	60 días
0ppm (70:30 Pm:P)	22.97 ±(1.47)	30.80 ±(4.11)
0ppm (70:30 Pm:Z)	25.80 ±(2.10)	32.60 ±(2.87)
50ppm (70:30 Pm:P)	22.40 ±(1.36)	34.80 ±(2.13)
50ppm (70:30 Pm:Z)	26.00 ±(1.58)	29.0 ±(5.54)
100ppm (70:30 Pm:P)	23.20 ±(1.01)	35.80 ±(6.49)
100ppm (70:30 Pm:Z)	25.80 ±(2.26)	29.60 ±(1.46)
Probabilidad	0.45	0.81

Pm=peat moss; P=perlita; Z=zeolita-clinoptilolita; *, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.4.5. Número de botones florales

Los resultados obtenidos a los 30 DDT por la aplicación de NPs de ZnO no fueron diferentes estadísticamente en el ANVA, ya que al aplicar diferentes concentraciones de NPs el número de botones por planta se vio afectado significativamente a pesar de haber un sesgo positivo a la generación de botones florales al elevar la concentración de NPs obteniéndose los siguientes medias por planta: 2.71 botones florales, 3.6 botones florales y 3.90 botones florales para 0 ppm 50 ppm y 100 ppm respectivamente.

Sin embargo, a los 60 DDT el comportamiento en la generación de botones florales fue diferente al del periodo de los 30 DDT ya que la dosis que obtuvo un mayor número de botones en este período fue la de 50 ppm obteniéndose una media de 3.9 botones florales, mientras que la dosis de 100 ppm obtuvo una media de 3.4 botones florales y el testigo 3.2 botones florales. Se debe señalar que no se hallaron diferencias estadísticas significativas a los 60 DDT.

Analizando los datos obtenidos en el factor sustrato se observó un comportamiento positivo en la generación de botones florales al usar zeolita en el sustrato con respecto al uso de perlita aunque no hubo diferencias estadísticas significativas en ambas mediciones, puesto que los 30 DDT las medias del número de botones florales en los sustratos de perlita y zeolita fueron 2.95 y 3.85 respectivamente, acentuándose estas diferencias a los 60 DDT ya que la perlita obtuvo una media de 2.26 botones florales y la zeolita 4.73 botones florales un (70% más botones).

Al analizar ambos factores en interacción a los 30 y 60 DDT no se obtuvieron tampoco diferencias estadísticas significativas. Los tratamientos que utilizaron perlita a los 30 DDT obtuvieron las siguientes medias: T1 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:P) = 1.45 botones florales, T3 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:P) = 3.60 botones florales y T5 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:P) = 3.80 botones florales, mientras que los 60 DDT las medias obtenidas fueron las siguientes: T1 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:P) = 0.80 botones florales, T3 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:P) = 2.40 botones florales y T5 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:P) = 3.60 botones florales.

En cuanto a los tratamientos que utilizaron zeolita las medias a los 30 DDT fueron las siguientes: T2 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) = 3.97 botones florales, T4 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) = 3.60 botones florales y T6 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) = 4.00 botones florales; resultados muy similares entre sí y que superan a todos los tratamientos con las mismas dosis de NPs que utilizaron perlita a los 30 DDT. A los 60 DDT se obtuvieron los siguientes resultados: T2 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) = 5.60 botones florales, T4 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) = 5.40 botones florales y T6 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) = 3.2 botones florales.

Cuadro 8. Comparación de medias en los factores A, B y su interacción en la variable N° de botones del bioensayo N° 1 en el que se aplicaron NPs de ZnO a diferentes concentraciones foliarmente y dos diferentes mezclas de sustratos.

N° De botones		
B	30 días	60 días
70:30 Pm:P	2.95 ±(0.54)	2.26±(0.68)
70:30 Pm:Z	3.85 ±(0.29)	4.73±(1.07)
Probabilidad	0.15	0.06
A	30 días	60 días
0ppm	2.71 ±(0.49)	3.20±(1.16)
50 ppm	3.60 ±(0.65)	3.90±(1.50)
100ppm	3.90 ±(0.45)	3.40±(0.95)
Probabilidad	0.28	0.91
A*B	30 días	60 días
0ppm (70:30 Pm:P)	1.45±(0.42)	0.80 ±(0.37)
0ppm (70:30 Pm:Z)	3.97 ±(0.33)	5.6 ±(1.74)
50ppm (70:30 Pm:P)	3.60 ±(1.28)	2.40 ±(1.16)
50ppm (70:30 Pm:Z)	3.60 ±(0.50)	5.40 ±(2.76)
100ppm (70:30 Pm:P)	3.80±(0.66)	3.60 ±(1.56)
100ppm (70:30 Pm:Z)	4.0 ±(0.70)	3.20 ±(0.73)
Probabilidad	0.15	0.29

Pm=peat moss; P=perlita; Z=zeolita-clinoptilolita; *, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.4.6. Número de flores

Esta variable sólo se tomó a los 60 DDT debido que a la primera flor abierta se presentó hasta los 37 DDT. Analizando los datos con base en la concentración de NPs ZnO se obtuvieron las siguientes medias: 0 ppm = 2.2 flores por planta, 50 ppm = 2.4 flores por planta y 100 ppm = 3.20 flores por planta; en este factor no se encontraron diferencias estadísticas significativas.

En la mezcla de sustratos sí se obtuvieron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) ya que el sustrato que contenía zeolita promedio un valor: 3.93 flores por planta, mientras que el sustrato en el cual se incorporó perlita obtuvo: 1.26 flores por planta, por lo tanto en el sustrato con zeolita se obtuvieron 2 veces más flores por planta que las cultivadas en sustrato con perlita; esto representa un incremento de 200% en la floración respecto al tratamiento testigo.

En la interacción de la concentración de NPs de ZnO y la mezcla de sustratos también se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) y un comportamiento similar a los encontrados en altura y diámetro de tallo, sin embargo las medias obtenidas en los tratamientos en los cuales se utilizó perlita en el sustrato fueron muy inferiores a los sustratos en los cuales uso zeolita obteniéndose unas medias de: T1 (0

ppm ZnO*70:30 Pm:P) = 0.4 flores promedio por planta, T3 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:P) = 1.4 flores promedio por planta y T5 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:P) = 2.0 flores promedio por planta.

El número de flores promedio por planta de los sustratos conteniendo zeolita fueron los siguientes: T2 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) = 4.0 flores promedio por planta, T4 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) = 3.4 flores promedio por planta y T6 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) = 4.4 flores promedio por planta observándose una tendencia inversa en el número de botones en estos mismos tratamientos. Se pudo apreciar el tratamiento 6 reportó una media más alta en relación a todos los tratamientos ya que fue muy superior al T1 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:P) por ejemplo, la diferencia que se promedió entre ambos fue de hasta 4 flores más por planta. Los únicos tratamientos diferentes entre sí fueron el T1 de los tratamientos T2 y T6, los demás tratamientos compartieron literales.

Cuadro 9. Comparación de medias en los factores A, B y su interacción en la variable N° de flores del bioensayo N° 1 en el que se aplicaron NPs de ZnO a diferentes concentraciones foliarmente y dos diferentes mezclas de sustratos.

N° de flores	
B	
	60 días
70:30 Pm:P	1.26±(0.52) b
70:30 Pm:Z	3.93±(0.35) a
Probabilidad	**0.0003
A	
	60 días
0ppm	2.20±(0.66)
50 ppm	2.40±(0.77)
100ppm	3.20±(0.66)
Probabilidad	0.57
A*B	
	60 días
0ppm (70:30 Pm:P)	0.4 ±(0.40) b
0ppm (70:30 Pm:Z)	4.0 ±(0.44) a
50ppm (70:30 Pm:P)	1.4 ±(1.4) ab
50ppm (70:30 Pm:Z)	3.4 ±(0.50) ab
100ppm (70:30 Pm:P)	2.0 ±(0.70) ab
100ppm (70:30 Pm:Z)	4.40 ±(0.87) a
Probabilidad	**0.009

Pm=peat moss; P=perlita; Z=zeolita-clinoptilolita; *, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.4.7. Área foliar

Esta variable sólo se midió al final del experimento (a los 60 DDT). Los resultados obtenidos en el ANVA en base a la concentración de NPs fueron los siguientes: 142.65 cm², 147.12 cm², y 152.86 cm² para las dosis de 0, 50 y 100 ppm de NPs ZnO respectivamente pero no se obtuvieron diferencias significativas en este factor.

Analizando los datos en base a la mezcla de sustratos si se apreciaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$), ya que en el sustrato de perlita se obtuvo una media estadística de 112.00 cm² mientras que en el sustrato que contenía zeolita se logró una media de 183.08 cm², un 63% más de área foliar en plantas cultivadas en sustrato con zeolita en comparación con el sustrato con perlita.

Examinando la interacción de ambos datos en esta variable se obtuvieron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$); en los tratamientos que utilizaron zeolita, ya que respecto al sustrato se obtuvo una tendencia positiva a la aplicación de NPs como puede apreciarse en las siguientes medias: T1 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:P) = 85.21 cm², T3 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:P) = 116.27 cm² y T5 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:P) = 134.52 cm². En tanto que los tratamientos en que utilizo zeolita al sustrato en el uso de NPs inhibieron el desarrollo del área foliar mostrándose en las siguientes medias: T2 (0 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) = 200.08 cm², T4 (50 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) = 177.97 cm² y T6 (100 ppm ZnO*70:30 Pm:Z) = 171.21 cm². Los únicos tratamientos iguales fueron el T4 y T6, todos los demás fueron diferentes.

Cuadro 10. Comparación de medias en los factores A, B y su interacción en la variable área foliar del bioensayo N° 1 en el que se aplicaron NPs de ZnO a diferentes concentraciones foliarmente y dos diferentes mezclas de sustratos.

Área Foliar (cm ²)	
B	
	60 días
70:30 Pm:P	112.00±(5.55) b
70:30 Pm:Z	183.08±(3.72) a
Probabilidad	**0.0001
A	
	60 días
0ppm	142.65±(19.18)
50 ppm	147.12±(6.49)
100ppm	152.86±(10.45)
Probabilidad	0.86
A*B	
	60 días
0ppm (70:30 Pm:P)	85.21±(1.36) e
0ppm (70:30 Pm:Z)	200.08±(2.19) a
50ppm (70:30 Pm:P)	116.27±(1.95) d
50ppm (70:30 Pm:Z)	177.97±(3.54) b
100ppm (70:30 Pm:P)	134.52±(2.70) c
100ppm (70:30 Pm:Z)	171.21±(3.73) b
Probabilidad	**0.0001

Pm=peat moss; P=perlita; Z=zeolita-clinoptilolita; *, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.5. Bioensayo 2. Aplicación de zeolita y NPs ZnO en plantas de tomate

7.5.1. Altura de plantas

En ambas etapas del experimento (30 y 60 DDT) los tratamientos que tuvieron las medias más altas en cuanto a altura fueron diferentes ya que a los 30 DDT la mayor altura de planta se registró en la media del T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo) = 49.5 cm, en tanto que a los 60 DDT la mayor altura se registró en la media del T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo) = 110.25cm.

Los resultados observados a los 30 DDT en el cultivo mostraron que no habían diferencias estadísticas significativas a pesar del aumento de las medias de los diferentes tratamientos al incrementar la concentración de NPs de ZnO aplicadas al follaje y del aumento de Zeolita incorporada al suelo, ya que en las medias obtenidas de los tratamientos así no lo indica T1 (control) = 40.65 cm, T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo) = 44.25 cm, T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo) = 46.75 cm, T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo) = 49.05 cm y T5 (20 t ha⁻¹ zeo) = 43.50 cm; sin embargo todos son estadísticamente iguales.

El T5 (20 t ha⁻¹ zeo) obtuvo una menor media en comparación con el T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo) que contaba con la misma cantidad de zeolita aplicada al suelo, pero que diferían entre sí por la aplicación de 100 ppm al T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo) de NPs de ZnO.

Las medias en la altura del cultivo a los 60 DDT fueron las siguientes T1 (control) = 91.50 cm, T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo) = 110.25 cm, T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo) = 89.50 cm, T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo) = 99.00 cm, T5 (20 t ha⁻¹ zeo) = 94.50 cm; en esta etapa del experimento todos son estadísticamente iguales, al igual que a los 30 DDT no se observaron diferencias estadísticas significativas.

Cuadro 11. Comparación de medias en la variable altura de tallo en el bioensayo N° 2 en el que se aplicaron NPs de ZnO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).

DÍAS	T1	T2	T3	T4	T5	Probabilidad
30	40.65 ± (0.62)	44.25 ± (4.18)	46.75 ± (2.78)	49.50 ± (2.59)	43.50 ± (3.06)	0.3
60	91.50 ± (15.67)	110.25 ± (13.02)	89.50 ± (6.69)	99.00 ± (13.63)	94.50 ± (15.97)	0.82

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.5.2. Diámetro de tallo

Los diámetros de las plantas de tomate a los 30 DDT del cultivo se vieron afectados por ambos factores aplicación de NPs ZnO foliarmente y zeolita incorporada al suelo debido a que los tratamientos con bajas dosis superaron a los tratamientos con altas dosis lo que puede corroborarse en las siguientes medias: T1

(control) = 19.51 mm de Ø, T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo) = 16.51 mm de Ø, T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo) = 14.90 mm de Ø, T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo) = 15.28 mm de Ø y T5 (20 t ha⁻¹ zeo) = 16.01 mm de Ø; se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) en esta etapa del cultivo.

Se debe señalar que el testigo superó a los 2 tratamientos con dosis más altas tanto de zeolita como de dosis de NPs siendo un 31% más grueso los tallos de las plantas del testigo, en comparación que de los tratamientos con dosis altas de zeolita y NPs.

La tendencia en el desarrollo del diámetro de las plantas cambió ya que no se observaron diferencias estadísticas significativas a los 60 DDT del cultivo, todos los tratamientos fueron estadísticamente iguales; a pesar que la media más alta fue la del T5 (20 t ha⁻¹ zeo) = 19.78 mm de Ø y el tratamiento con menor diámetro fue el T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo) = 17.67 mm de Ø, lo que nos da una diferencia de 2.11 mm de Ø. Las medias de los tratamientos fueron las siguientes: T1 (control) = 18.94 mm de Ø, T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo) = 19.17 mm de Ø, T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo) = 17.67 mm de Ø, T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo) = 18.90 mm de Ø y T5 (20 t ha⁻¹ zeo) = 19.78 mm de Ø.

Cuadro 12. Comparación de medias en la variable diámetro de tallo en el bioensayo N° 2 en el que se aplicaron NPs de ZnO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).

DÍAS	T1	T2	T3	T4	T5	Probabilidad
30	19.51 ± (0.50)a	16.51 ± (1.09)ab	14.90 ± (0.40)b	15.28 ± (0.90)b	16.01 ± (1.90)ab	*0.01
60	18.94 ± (1.32)	19.17 ± (2.02)	17.67 ± (1.47)	18.90 ± (0.78)	19.78 ± (1.84)	0.9

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.5.3. Índice de clorofila

La variable índice de clorofila (IC) medida como unidades SPAD solo se evaluó en los primeros 30 DDT. El comportamiento observado en las medias obtenidas en los tratamientos muestra que no hay diferencias estadísticas significativas. Los tratamientos en los cuales no se utilizaron NPs que fueron el control (T1) obtuvo 45.67 unidades SPAD, mientras que el T5 (20 t ha⁻¹ zeo) tuvo una media de 45.85 unidades SPAD. Los tratamientos en los que si se aplicaron NPs obtuvieron las siguientes medias: 45.67 unidades SPAD, 45.37 unidades SPAD y 44.80 unidades SPAD para el tratamiento T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo) y T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo) respectivamente.

Cuadro 13. Comparación de medias en la variable índice de clorofila en el bioensayo N° 2 en el que se aplicaron NPs de ZnO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).

DÍAS	T1	T2	T3	T4	T5	Probabilidad
30	45.67 ±(1.23)	45.67 ± (0.55)	45.37 ± (3,16)	44.80 ± (2.60)	45.85 ± (2.04)	0.99

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.5.4. Número de flores

A los 30 DDT las medias de los tratamientos fueron las siguientes: T1 (control) = 12.50 flores, T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo) = 6.75 flores, T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo) = 9.25 flores, T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo) = 10.75 flores y T5 (20 t ha⁻¹ zeo) = 8.50 flores. No se obtuvieron diferencias estadísticas significativas.

La generación de flores a los 60 DDT fue diferente a la mostrada a los 30 DDT.

Ahora el T1 (testigo) que obtuvo un mayor número de flores que todos los tratamientos a los 30 DDT, genero una media de 9.25 flores promedio por planta mientras que el T5 (20 t ha⁻¹ zeo) obtuvo 12.5 flores promedio por planta una menor cantidad que el T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo) que tenía la misma cantidad de zeolita incorporada al suelo pero con la diferencia que a este se le aplicaron 100 ppm de NPs ZnO obteniéndose 14.00 flores por planta en esta etapa del experimento.

El tratamiento con mayor número de flores en este periodo fue el T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo) con 18.25 flores promedio por planta mientras que el tratamiento que obtuvo un menor número de flores fue el T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo) con 8.00 flores promedio por planta. No se obtuvieron diferencias estadísticas significativas.

Cuadro 14. Comparación de medias en la variable número de flores en el bioensayo N° 2 en el que se aplicaron NPs de ZnO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).

DÍAS	T1	T2	T3	T4	T5	Probabilidad
30	12.50 ±(2.90)	6.75 ±(1.70)	9.25± (3.42)	10.75 ± (0.85)	8.5 ± (1.93)	0.5
60	9.25 ± (3.96)	18.25 ± (10.54)	14.00 ± (5.05)	8.00 ± (3.24)	12.50 ± (4.78)	0.77

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.5.5. Número de frutos

Las medias obtenidas en la variable número de frutos por planta a los 30 DDT fueron: T1control = 1.25 frutos, T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo) = 1.5 frutos, T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo) = 0 frutos, T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo) = 0 frutos, T5 (20 t ha⁻¹ zeo) = 0.25 frutos. No se obtuvieron diferencias estadísticas significativas.

Los resultados a los 60 DDT al igual que a los 30 DDT no manifestaron diferencias estadísticas significativas las medias obtenidas fueron las siguientes: T1control = 6.75 frutos, T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo) = 12.25 frutos, T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo) = 9 frutos, T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo) = 8.50 frutos, T5 (20 t ha⁻¹ zeo) = 11.50 frutos.

Cuadro 15. Comparación de medias en la variable número de frutos en el bioensayo N° 2 en el que se aplicaron NPs de ZnO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).

DÍAS	T1	T2	T3	T4	T5	Probabilidad
30	1.25 ±(0.75)	1.50 ± (0.86)	0 ± (0)	0± (0)	0.25 ± (.25)	0.16
60	6.75 ± (2.39)	12.25 ± (4-60)	9.00 ± (1.41)	8.5 ± (0.95)	11.50 ± (2.90)	0.62

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.5.6. Área foliar

A los 30 DDT el T1 (control) obtuvo una media de 5033.81 cm² seguido por el T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo) con 4252.43 cm², el T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo) obtuvo una media de 3844.17 cm², el T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo) obtuvo una media de 3069.26 cm² y el T5 (20 t ha⁻¹ zeo) con una media de 2798.71 cm². No se tuvieron diferencias estadísticas significativas.

A los 60 DDT el comportamiento en el desarrollo foliar en los diferentes tratamientos se describe de manera descendente en el siguiente orden: el T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo) con una media de 7571.24 cm² seguido por el T5 (20 t ha⁻¹ zeo) con una media de 6562.93 cm², T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo) con una media de 6426.78 cm², T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo) con una media de 5690.29 cm² y el testigo con una media de 5672 cm². Tampoco se tuvieron diferencias estadísticas significativas.

Cuadro 16. Comparación de medias en la variable área foliar en el bioensayo N° 2 en el que se aplicaron NPs de ZnO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).

DÍAS	T1	T2	T3	T4	T5	Probabilidad
30	5033.81 ± (868.26)	4252.43 ± (348.73)	3844.17 ± (793.84)	3069.26 ± (638.86)	2798.71 ± (382.07)	0.157
60	5672.16 ± (1262.4)	7571.24 ± (1290.4)	6426.78 ± (2361.3)	5690.29 ± (873.5)	6562.93 ± (1580.1)	0.9

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.5.7. Peso fresco de la planta

A los 30 DDT las medias en el peso fresco de los tratamientos fueron los siguientes: T1 (control) = 412.81 g, T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo) = 368.82 g, T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo) = 317 g, T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo) = 322.45 g y T5 (20 t ha⁻¹ zeo) = 300.08 g.

El comportamiento en las medias sobre el peso fresco de las plantas a los 60 DDT se describe de mayor a menor en el siguiente orden: T5 (20 t ha⁻¹ zeo) con 887.5 g, seguido del T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo) con una media de 862.5 g, el T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo) obtuvo una media de 806.25 g, el T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo) una media de 700 g y el control una media de 696.25 g. No se obtuvieron diferencias estadísticas significativas en ninguna de las mediciones realizadas.

Cuadro 17. Comparación de medias en la variable peso fresco de la planta en el bioensayo N° 2 en el que se aplicaron NPs de ZnO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).

DÍAS	T1	T2	T3	T4	T5	Probabilidad
30	412.81 ± (34.16)	368.82 ± (27.47)	317.00 ± (51.14)	322.45 ± (50.73)	300.08 ± (26.70)	0.29
60	696.25 ± (137.59)	806.25 ± (165.00)	700 ± (169.56)	862.50 ± (119.68)	887.50 ± (198.30)	0.86

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.5.8. Peso seco de planta

Los resultados en las medias obtenidas a los 30 DDT en los pesos secos de las plantas fueron los siguientes: T1 (control) = 62.81 g, T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo) = 59.57 g, T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo) = 53.41 g, T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo) = 52.89 g y T5 (20 t ha⁻¹ zeo) = 52.08 g, sin embargo no hubo diferencias estadísticas significativas.

Las medias obtenidas a los 60 DDT descritas de mayor a menor fueron las siguientes: T5 (20 t ha⁻¹ zeo) con 156.00 g, seguido del T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo) con una media de 139.91 g, el T4 (200 ppm ZnO/30 t

ha⁻¹ zeo) obtuvo una media de 132.03 g, el T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo) una media de 125.61 g y el control una media de 125.63 g, tampoco se obtuvieron diferencias estadísticas significativas.

Cuadro 18. Comparación de medias en la variable peso seco de planta en el bioensayo N° 2 en el que se aplicaron NPs de ZnO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).

DÍAS	T1	T2	T3	T4	T5	Probabilidad
30	62.81 ±(3.04)	59.57 ± (3.79)	53.41 ± (5.47)	52.89 ± (5.58)	52.08± (3.37)	0.36
60	125.63 ± (20.07)	139.91 ± (19.44)	125.61 ± (13.52)	132.03 ± (8.93)	156.00 ± (20.22)	0.69

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.5.9. Peso fresco del fruto

En la variable del peso fresco de fruto solo se tomó de la medición hecha a los 60 DDT del experimento, según las medias que se encontraron ordenadas del valor más, alto al menor el T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo) obtuvo 531.25 g , seguido del T5 (20 t ha⁻¹ zeo) con 450 g, el T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo) con 437 g y el T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo) con T1 (control) obtuvieron la misma media con 400 g de fruto promedio por planta; sin embargo no existen diferencias estadísticas significativas.

Cuadro 19. Comparación de medias en la variable peso fresco del fruto en el bioensayo N° 2 en el que se aplicaron NPs de ZnO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).

DÍAS	T1	T2	T3	T4	T5	Probabilidad
60	400.00 ± (186.25)	531.25 ± (161.17)	400.00± (122.47)	437.50 ± (121.41)	450.00 ± (150.35)	0.97

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.5.10. Peso seco de fruto

Ordenadas de mayor a menor, las medias obtenidas en el peso seco de los frutos fueron las siguientes: T5 (20 t ha⁻¹ zeo) = 37.75 g, T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo) = 30.25 g, T1 (Testigo) = 28 g, T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo) = 26.75 g y T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo) = 24.5 g. No se obtuvieron diferencias estadísticas significativas.

Cuadro 20. Comparación de medias en la variable peso seco del fruto en el bioensayo N° 2 en el que se aplicaron NPs de ZnO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).

DÍAS	T1	T2	T3	T4	T5	Probabilidad
60	28.00 ± (9.69)	30.25 ± (6.15)	24.50 ± (4.73)	26.75 ± (3.19)	37.75 ± (2.13)	0.56

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.5.11. Rendimiento

Los rendimientos obtenidos fueron el resultado de todos los cortes que se hicieron en el cultivo solo se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos T4 y T5; lo cual puede corroborarse con los resultados siguientes: T1 (control) = 2937.50 g/planta, T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo) = 3414.58 g/planta, T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo) = 3627.08 g/planta, T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo) = 3715.83 g/planta, y T5 (20 t ha⁻¹ zeo) = 2369.17 g/planta.

Cuadro 21. Comparación de medias en la variable de rendimiento en el bioensayo N° 2 en el que se aplicaron NPs de ZnO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).

DÍAS	T1	T2	T3	T4	T5	Probabilidad
60	2937.50 ± (289.11)ab	3414.58 ± (354.39)ab	3627.08 ± (360.15)ab	3715.83 ± (372.08)a	2369.17 ± (154.71)b	* 0.02

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.6. Bioensayo 3. Aplicación de zeolita y NPs ZnO+CuO en plantas de tomate

Este experimento se realizó simultáneamente al bioensayo de partículas de óxido de zinc más zeolitas, con la diferencia de que en éste se utilizaron partículas de óxido de zinc dopadas de cobre a las mismas dosis y con la misma cantidad de zeolitas aplicada al suelo dependiendo del tratamiento.

7.6.1. Altura de tallo

En este bioensayo los resultados en los primeros 30 DDT fueron similares a los del experimento en que se aplicaron NPs ZnO más zeolita, debido a que el incremento de altura fue gradual a medida que se incrementaron la dosis de NPs aplicadas foliarmente y de zeolita incorporada al suelo a pesar de no haber diferencias estadísticas significativas en los tratamientos, las medias fueron las siguientes: T1 (control) = 46.5cm, T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo) = 50.75cm, T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo) = 55.75 cm, T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo) = 51.25cm, T5 (20 t ha⁻¹ zeo) = 55.25cm.

Los tratamientos a los 60 DDT obtuvieron las siguientes medias: T1 (control) = 98.00 cm, T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo) = 107.25 cm, T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo) = 78.50 cm, T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo) = 107.75 cm, T5 (20 t ha⁻¹ zeo) = 97.50 cm.

No se obtuvieron diferencias estadísticas significativas en ninguna de las 2 etapas del experimento (30 y 60 DDT).

Cuadro 22. Comparación de medias en la variable altura de tallo en el bioensayo N° 3 en el que se aplicaron NPs de ZnO + CuO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).

DÍAS	T1	T2	T3	T4	T5	Probabilidad
30	46.50 ± (3.30)	50.75 ± (5.49)	55.75 ± (4.58)	51.25 ± (2.28)	55.25 ± (2.25)	0.44
60	98.00 ± (14.49)	107.25 ± (16.68)	78.50 ± (16.72)	107.75 ± (15.37)	97.50 ± (13.25)	0.67

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.6.2. Diámetro de tallo

En esta variable las medias obtenidas a los 30 DDT fueron las siguientes: T1 (control) = 15.09 mm de Ø, T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo) = 15.23 mm de Ø, T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo) = 12.95 mm de Ø, T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo) = 15.97 mm de Ø y T5 (20 t ha⁻¹ zeo) = 15.56 mm de Ø.

En tanto que las medias obtenidas a los 60 DDT fueron las siguientes: T1 (control) = 17.54 mm de Ø, T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo) = 16.31 mm de Ø, T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo) = 19.07 mm de Ø, T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo) = 17.43 mm de Ø y T5 (20 t ha⁻¹ zeo) = 17.78 mm de Ø. No se encontraron diferencias estadísticas significativas en ninguna de las etapas en las que se tomaron mediciones del experimento.

Cuadro 23. Comparación de medias en la variable diámetro de tallo en el bioensayo N° 3 en el que se aplicaron NPs de ZnO + CuO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).

DÍAS	T1	T2	T3	T4	T5	Probabilidad
30	15.09 ± (1.01)	15.23 ± (.49)	12.95 ± (.55)	15.97 ± (.92)	15.56 ± (.71)	0.1
60	17.54 ± (0.88)	16.31 ± (0.84)	19.07 ± (1.06)	17.43 ± (1.39)	17.78 ± (1.57)	0.61

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.6.3. Índice de clorofila

El índice de clorofila solo pudo medirse en los primeros 30 DDT, los resultados fueron muy diferentes en esta variable a los mostrados en el experimento en el que se aplicaron foliarmente NPs de ZnO sin CuO, ya que en este bioensayo el testigo obtuvo medidas más bajas en unidades SPAD y el T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo) registro mediciones más altas de unidades SPAD; esto puede corroborarse con las siguientes medias: T1 (control) = 43.62 unidades SPAD, T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo) = 47.07 unidades SPAD, T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo) = 43.8 unidades SPAD, T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo) = 45.15 unidades SPAD, T5 (20 t ha⁻¹ zeo) = 45.57 unidades SPAD. Sin embargo no se encontraron diferencias estadísticas significativas.

Cuadro 24. Comparación de medias en la variable índice de clorofila en el bioensayo N° 3 en el que se aplicaron NPs de ZnO + CuO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).

DÍAS	T1	T2	T3	T4	T5	Probabilidad
30	43.62 ±(1.66)	47.07 ± (1.31)	43.80 ± (0.96)	45.15 ± (0.53)	45.57 ± (2.78)	0.57

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.6.4. Número de flores

El número de flores fue más alto en todos los tratamientos los primeros 30 DDT que a los 60 DDT. El ANVA hecho a los 30 DDT nos mostró las siguientes medias: T1 (control) = 18.75 flores, T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo) = 9.75 flores, T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo) = 10.00 flores, T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo) = 12.00 flores y T5 (20 t ha⁻¹ zeo) = 13.75 flores, no se obtuvieron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.

Las medias obtenidas a los 60 DDT del cultivo, mantuvieron la misma tendencia que la encontrada en los 30 DDT ya que tampoco hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos. Las medias obtenidas en el análisis de datos en esta etapa fueron: T1 (control) = 9.25 flores, T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo) = 7.25 flores, T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo) = 4.25 flores, T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo) = 5.00 flores y T5 (20 t ha⁻¹ zeo) = 8.50 flores.

Cuadro 25. Comparación de medias en la variable número de flores en el bioensayo N° 3 en el que se aplicaron NPs de ZnO + CuO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).

DÍAS	T1	T2	T3	T4	T5	Probabilidad
30	18.75 ±(8.12)	9.75 ±(.75)	10.00± (2.48)	12.00 ± (2.48)	13.75 ± (2.56)	0.54
60	9.25± (3.70)	7.25± (3.09)	4.25± (2.52)	5.00± (1.87)	8.5± (4.17)	0.76

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.6.5. Número de frutos

A los 30 DDT solo se tuvieron frutos a bajas concentraciones de nanopartículas aplicadas foliarmente y de zeolita aplicada al suelo obteniéndose una media de 0.25 frutos promedio por planta en el T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo), el T5 (20 t ha⁻¹ zeo) al cual no se aplicaron NPs pero si se aplicó zeolita al suelo obtuvo la media más alta en todo el ensayo en este periodo de cultivo con 2.25 frutos por planta, en los tratamientos restantes no se obtuvieron frutos en esta medición.

De mayor a menor las medias obtenidas los 60 DDT fueron las siguientes: el T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo) obtuvo la media de 17 frutos promedio por planta seguido del T5 (20 t ha⁻¹ zeo) con 16.75 frutos promedio por planta. El testigo (T1) obtuvo una media de 16.25 frutos promedio por planta. El T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo) 11.50 frutos promedio por planta y T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo) 10.50 frutos promedio por planta.

Cuadro 26. Comparación de medias en la variable número de frutos en el bioensayo N° 3 en el que se aplicaron NPs de ZnO + CuO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).

DÍAS	T1	T2	T3	T4	T5	Probabilidad
30	0 ±(0)	.25 ± (0.25)	0 ± (0)	0± (0)	2.25 ± (1.31)	0.07
60	16.25± (2.46)	11.50± (1.55)	10.50± (0.86)	17.00± (4.62)	16.75± (3.06)	0.28

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.6.6. Área foliar

A los 30 DDT las medias obtenidas fueron las siguientes: en el testigo (T1) la media fue de 346.32 cm², el T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo) obtuvo una media de 3,539.44 cm², el T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo) una media de 4,376.9 cm², el T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo) una media de 5341.32 cm². El T5 (20 t ha⁻¹ zeo) obtuvo una media de 3,531.67 cm².

En el ANVA hecho a los 60 DDT el testigo (T1) registro una media de 7,552.26 cm² seguido del T5 (20 t ha⁻¹ zeo) con una media de 6,617.82 cm², el T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo) obtuvo una media de 4,830.9 cm² el T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo) registro una media de 5,301.22 cm² y el T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo) una media de 5.978.00 cm².

Los resultados del análisis de medias no obtuvieron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en ninguna de las dos mediciones.

Cuadro 27. Comparación de medias en la variable área foliar en el bioensayo N° 3 en el que se aplicaron NPs de ZnO + CuO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).

DÍAS	T1	T2	T3	T4	T5	Probabilidad
30	3406.32± (828.6)	3539.44 ± (369.8)	4376.90 ± (1176.0)	5341.32 ± (670.5)	3531.67 ± (362.5)	0.34
60	7552.26± (2007.1)	4830.90± (784.9)	5301.22± (9706.5)	5978.00± (1420.4)	6617.02± (542.2)	0.58

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.6.7. Peso fresco de planta

El análisis de medias hecho en los datos tomados a los 30 DDT mostró de mayor a menor los siguientes resultados: El T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo) obtuvo una media en peso fresco de planta de 405.27 g, el T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo) obtuvo una media de 351.46 g de peso fresco de planta, el T5 (20 t ha⁻¹ zeo) una media de 331.45 g de peso fresco de planta, el T1 (testigo) una media de 313.17 g de peso fresco de planta y el T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo) una media de 298.79 g de peso fresco de planta; sin embargo no se encontraron diferencias estadísticas significativas en esta medición.

En la medición hecha a los 60 DDT los resultados en los tratamientos fueron las siguientes: T1 (testigo) = 850 g, T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo) = 605 g, T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo) = 675 g, T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo) = 831.25 g, el T5 (20 t ha⁻¹ zeo) = 807.5 g; a pesar de los resultados en los pesos frescos de las plantas tampoco se obtuvieron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en el análisis de medias en este periodo del cultivo.

Cuadro 28. Comparación de medias en la variable Peso Fresco de la planta en el bioensayo N° 3 en el que se aplicaron NPs de ZnO + CuO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).

DÍAS	T1	T2	T3	T4	T5	Probabilidad
30	313.17 ±(82.11)	298.79 ± (37.61)	351.46 ± (78.76)	405.27 ± (53.57)	331.45 ± (22.78)	0.74
60	850.00± (144.34)	605.00± (74.89)	675.00± (125.00)	831.25± (211.49)	807.50± (74.54)	0.64

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.6.8. Peso seco de planta

Se dejaron secar las plantas muestreadas según lo indicado en materiales y métodos. En el muestreo hecho a los 30 DDT se obtuvieron las siguientes medias ordenadas de mayor a menor: T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo) = 61.93 g, T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo) = 56.33 g, T5 (20 t ha⁻¹ zeo) = 53.86 g, T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo) = 53.46 g y T1 (testigo) = 50.64 g. El análisis de medias no mostró diferencias estadísticas significativas a los 30 DDT del experimento en esta variable.

Los resultados a los 60 DDT en la variable del peso seco de planta fueron: T1 (testigo) = 147.88 g, T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo) = 92.23 g, T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo) = 101.78 g, T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo) = 108.45 g y T5 (20 t ha⁻¹ zeo) = 131.24 g. El análisis de medias no mostró tampoco diferencias significativas entre los tratamientos en esta etapa del experimento.

Cuadro 29. Comparación de medias en la variable peso seco de la planta en el bioensayo N° 3 en el que se aplicaron NPs de ZnO + CuO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).

DÍAS	T1	T2	T3	T4	T5	Probabilidad
30	50.64 ±(7.85)	56.33 ± (4.68)	53.46 ± (8.71)	61.93 ± (5.08)	53.86± (2.81)	0.77
60	147.88± (59.77)	91.23± (10.57)	101.78± (18.05)	108.45± (25.97)	131.24± (17.55)	0.71

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.6.9. Peso fresco de fruto

La variable de peso fresco de fruto solo se tomó en cuenta a los 60 DDT del cultivo. Se hizo la misma metodología que en el bioensayo anterior que consistía en pesar todos los frutos de cada planta muestreada (4 por tratamiento).

El testigo (T1) que obtuvo una media de 700 g de fruto fresco el T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo) obtuvo una media de 850 g de fruto fresco, el T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo) una media de 855 g de fruto fresco, el T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo) una media de 862.5 g de fruto fresco y el T5 (20 t

ha⁻¹ zeo) una media de 1100 g de fruto fresco. No se obtuvieron diferencias estadísticas significativas en esta variable.

Cuadro 30. Comparación de medias en la variable peso fresco del fruto en el bioensayo N° 3 en el que se aplicaron NPs de ZnO + CuO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).

DÍAS	T1	T2	T3	T4	T5	Probabilidad
60	700.00± (130.70)	850.00± (50.00)	855.00± (228.09)	862.50± (47.32)	1100.00± (188.19)	0.46

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.6.10. Peso seco de fruto

Las medias obtenidas en el ANVA fueron las siguientes: T1 (control) = 36.00 g, T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo) = 46.25 g, T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo) = 41.50 g, T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo) = 42.00 g y T5 (20 t ha⁻¹ zeo) = 53.25 g.

No hubo diferencias estadísticas significativas en el análisis de medias.

Cuadro 31. Comparación de medias en la variable peso seco de fruto en el bioensayo N° 3 en el que se aplicaron NPs de ZnO + CuO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).

DÍAS	T1	T2	T3	T4	T5	Probabilidad
60	36.00± (4.91)	46.25± (6.61)	41.50± (6.25)	42.00± (5.04)	53.25± (6.04)	0.34

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

7.6.11. Rendimiento

Siguiendo la misma metodología del experimento en el cual se utilizó NPs de ZnO y zeolita, se hizo el análisis de medias exactamente igual, el ANVA mostro los siguientes resultados: T1 (control)= 2,762.5 g, T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo)= 2,995.83 g, T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo)= 2,722.92 g, T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo)= 3,475.00 g y T5 (20 t ha⁻¹ zeo)= 3,595.93 g. No hubo diferencias estadísticas significativas en el análisis de medias.

Cuadro 32. Comparación de medias en la variable rendimiento el bioensayo N° 3 en el que se aplicaron NPs de ZnO + CuO foliarmente y zeolita al suelo, dónde: T1 (control), T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo), T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo), T5 (20 t ha⁻¹ zeo).

DÍAS	T1	T2	T3	T4	T5	Probabilidad
60	2762.50 ± (224.82)	2995.83 ± (271.83)	2722.92 ± (203.58)	3475.00 ± (320.58)	3595.93 ± (359.76)	0.1

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.001 en niveles de probabilidad respectivamente.

VIII.DISCUSIÓN

7.7. **Discusión Bioensayo 1.- Aplicación de zeolita y NPs de ZnO en plantas de lisianthus**

Los resultados obtenidos en el bioensayo con lisianthus guardan relación con lo descrito por Laware (2014); Ramesh (2014) Prasad (2012); Auld (2001); Gómez (2015); Al-Qarallah (2013); Srilatha, (2011) y Méndez (2015) ya que hay un efecto positivo en el desarrollo del cultivo al utilizar bajas concentraciones de NPs ZnO y sustratos zeolíticos. A pesar de que no se encontraron diferencias estadísticas significativas en los 30 DDT los resultados encontrados entre las alturas y diámetros de tallo al analizar los datos en el factor “sustrato” coinciden con lo reportado por Gómez (2015) que señaló que la zeolita en una proporción de 30:70 con peat moss tiene un efecto positivo para el crecimiento y desarrollo de plantas solanáceas ya que la zeolita deja de manera disponible el nitrógeno y potasio, y esto se puede observar en una ventaja del 26% más altas con respecto a la altura de las plantas cultivadas con la mezcla de perlita y peat moss en la misma proporción.

Sin embargo, a los 60 DDT del cultivo las diferencias se acentuaron ya que se encontraron diferencias estadísticas en el factor del sustrato que se reflejó en un 50 % de diferencias de alturas entre las plantas de lisianthus cultivadas con mezclas de sustrato de zeolita/peat moss y perlita/peat moss, lo que coincide con lo reportado por Ribeiro (2015) que encontró que las plantas de lisianthus en los primeros 30 DDT no mostraran diferencias en el desarrollo de las mismas por efecto de los tratamientos en respuesta a la aplicación de N y que el efecto en el desarrollo de las plantas se verá reflejado después del desarrollo vegetativo del cultivo; que este desarrollo estará condicionado por la cantidad de N por lo que la zeolita al capturar en sus cavidades el N; lo que puede dar la explicación a lo dicho por Al-Qarallah (2013) que señala que el uso de sustratos zeolíticos pueden mejorar el crecimiento y desarrollo de algunos cultivos.

En el factor dosis de NPs plantas un 31 % y un 10 % más altas que el testigo (0 ppm ZnO) a los 30 DDT y 60 DDT respectivamente sugieren que las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs) aumentan el crecimiento y desarrollo de las plantas. Ramesh *et al.* (2014) en trigo; Laware (2014) en cebolla; Prasad *et al.* (2012) en maní; Sedghi *et al.* (2013) en soja. El uso de NPS de ZnO fue favorable para el desarrollo y crecimiento de la altura y diámetro de tallo de las plantas de lisianthus como lo reportado por Srilatha (2011) como se puede observar en la fotografía 1. En los primeros 30 DDT del experimento los resultados de las variables diámetro y altura del tallo nos muestra que a menores concentraciones de NPs el desarrollo de la planta se ve beneficiado hasta en un 31 % para el caso de la dosis de 50 ppm corroborando lo dicho por Auld (2001) que indica que el requisito mínimo de zinc de la planta es de 60 ppm, Además, el zinc es considerado como uno de los ocho micronutrientes esenciales para las plantas, necesario en pequeñas

cantidades, pero crucial para el buen desarrollo vegetativo (Pandey *et al.*, 2010); El efecto promotor de crecimiento de las NPs aplicadas podría atribuirse a la actividad del zinc como precursor de la producción de auxinas que promueven división y elongación celular; así como por su influencia en la reactividad del ácido indolacético, el cual actúa como fitoestimulante hormonal como lo observo Méndez *et al.* (2015) en plantas de Chile en similares condiciones al experimento.

De acuerdo a los datos 30 DDT el índice de clorofila se comportó de una manera similar a la reportada por Ribeiro (2015) que trabajó con la misma variedad de planta de *Lisianthus Mariachi blue* y que reportó que los índices de clorofila fueron menores en el periodo de crecimiento del cultivo de *Lisianthus* por encontrarse en su desarrollo vegetativo por lo que la clorofila se concentraba en las zonas de demanda como el ápice y los botones florales, por lo que se puede decir que plantas más altas y con una mayor carga de botones florales (cuadro 4, cuadro 6, cuadro 8) tuvieron un menor índice de clorofila que las plantas que no fueron tan altas ni tuvieron muchos botones florales, lo que explica las diferencias significativas de los datos en los primeros 30 DDT si observamos las tendencias en la altura de tallo y número de botones florales en este periodo del experimento lo cual refuerza lo señalado por Méndez (2015) que señaló la acción de las NPs como fitoestimulante hormonal. Si bien el desarrollo del cultivo no coincide con lo reportado por Ribeiro (2015), esto se debe a que el cultivo se hizo en diferentes condiciones geográficas a las suyas, de allí que su cultivo tuviera un desarrollo vegetativo más lento al de mi experimento.

La variable de número de hojas se vio favorecida por el uso de sustrato zeolítico y peat moss con respecto al sustrato de perlita, en los primeros 30 DDT; el efecto de las NPs de ZnO área foliar de *Lisianthus* se observó en lo descrito por Méndez *et al.* (2015) en que señala el uso de NPs de ZnO dopadas (50 ppm) con plata promovió positivamente el desarrollo foliar de biomasa de plántulas de Chile, ya que el T5 (100ppm ZnO+ 70:30 Pm:Z) fue el mejor para desarrollar número de hojas a los 30 y 60 DDT

El mayor número de flores también se vio estimulado a mayor concentración de NPs ya que como lo reporta Tarafdar *et al.* (2014) las NPs de ZnO incrementan la actividad de ciertas enzimas como la fitasa, fosfatasa ácida y alcalina, las que pueden estar contribuyendo a la solubilización de un nutriente como el fósforo y su absorción por las plantas elemento primordial en la formación de flores y frutos como lo señala Haro (2011). Sin embargo algunos autores señalan que ambivalencias sobre los efectos causados por estos nanomateriales. En ciertas investigaciones se informa que dosis bajas inducen crecimiento, mientras que las altas provocan fitotoxicidad. Lin y Xing (2008). Lo reportado por Lin y Xing en el desarrollo de las plantas de *Lisianthus* por el uso de NPs de ZnO dependerá del tipo de sustrato y la dosis de NPs que se aplique como lo reporta Cakmack (2015) que indica que un pH mayor a 7.4 del sustrato presentara deficiencias de zinc en las plantas presentándose mayormente en suelos alcalinos y calcáreos, como lo son los sustratos zeolíticos, por eso en los sustratos en que se utilizó perlita el incremento de la dosis de NPs de ZnO tuvo un efecto positivo en la altura y diámetro de tallo, en tanto que en las plantas en que se utilizó zeolita el efecto

fue inverso ya que el testigo de este sustrato, (T2) superó en altura y diámetro a los tratamientos en que si se aplicaron NPs a pesar de aplicarlas foliarmente. Todos los tratamientos en los cuales se aplicó zeolita al sustrato superaron a sus contrapartes en que se aplicó perlita teniendo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos peat moss al sustrato superó a los que tenían zeolita, en este caso las dosis bajas de NPs ZnO favorecieron también el incremento de índice de clorofila. Todos los tratamientos en los cuales se aplicó zeolita al sustrato superaron a sus contrapartes en que se aplicó perlita. Por lo que se puede decir que la zeolita y el uso de bajas concentraciones de NPs de ZnO es una alternativa viable para la producción de este cultivo.

7.8. Discusión Bioensayo 2.- Aplicación de zeolita y NPs de ZnO en plantas de tomate y Bioensayo 3.- Aplicación de zeolita y NPs de ZnO + CuO en plantas de tomate

A partir de los resultados encontrados en este experimento se acepta la hipótesis que señala que el crecimiento de plantas de tomate se verá modificado por efecto de nanopartículas de óxido de zinc y zeolita. Si bien se utilizó un diseño completamente al azar por cuestiones de la disposición del terreno para el experimento así como de materiales y personal de apoyo para las labores culturales del cultivo, un diseño bifactorial como el utilizado en el bioensayo que se hizo con el lisianthus tal vez nos hubiera dado más información con respecto a al contraste en el efecto sobre el cultivo por 2 diferentes tipos de NPs. Lamentablemente eso no fue posible porque para ello se requeriría de al menos quintuplicar la superficie del experimento y por lo tanto de recursos para hacerlo. No obstante los datos y la información que obtuvimos sirvieron para valorar la hipótesis.

El desarrollo de las plantas de tomate se vio favorecido por el uso de NPs de ZnO y de zeolitas a los 30 DDT del cultivo, observándose tendencias muy similares a las mostradas en el cultivo de lisianthus en el que al incrementar la dosis de NPs la planta tuvo un desarrollo positivo confirmado lo citado por Shyla y Natarajan (2014) que indicaron que el uso de NPs de ZnO incrementa el nivel AIA en raíces y en los brotes apicales promoviendo de esta forma la velocidad de crecimiento en las plantas; los resultados mostrados a los 30 DDT difirieron a los encontrados a los 60 DDT del cultivo posiblemente por una bioacumulación de ZnO teniendo efecto inverso al incremento de la concentración aplicada a las plantas que posiblemente al acumular NPs de ZnO produjeron un estrés, las NPs pueden pasar la membrana celular y formar agregados dentro de la célula que producen el efecto tóxico reduciendo la glutatión y actividad catalasa (Mura, 2013); cuando se excede el límite de tolerancia y el poder para adaptarse a él es baja por lo que puede ocurrir un daño permanente en la planta o incluso la muerte (Foyer y Noctor, 2005; Gill y Tuteja, 2010).

Por los resultados de los tratamientos en Unidades SPAD a diferencia de lo reportado por Ribeiro (2015) en plantas de lisianthus que señalaba que en el desarrollo vegetativo las plantas que tenían una mayor

elongación y número de botones florales tenían un menor índice de Unidades SPAD en esta ocasión no se encontró esta relación entre las Unidades SPAD y el desarrollo vegetativo de la planta, se encontraron resultados similares a los reportados por Méndez (2015) en plántulas de chile donde reporto que las plántulas tratadas con nanoarticulas de óxido de zinc tuvieron un mayor índice de Unidades SPAD que el testigo, esta tendencia se mostró en ambos tipos de NPs, sin embargo a bajas concentraciones de NPS se obtuvieron mayores índices de clorofila, solo se pudieron tomar mediciones a los 30 DDT ya que a los 60 DDT no se tuvo la disposición del instrumento Minolta– Spad 502; estos resultados se traducen en un descenso de la actividad fotosintética (gráficas de fotosíntesis), diversas investigaciones han demostrado que las NPs son capaces de inducir un estrés en las plantas generando un exceso de ERO que afecta las proteínas, lípidos, carbohidratos y ADN (Olejnik *et al.*, 2013). La fitotoxicidad que pueden tener las NPs considerando las diferencias en actividades enzimáticas no permiten señalar que los cambios observados sean derivados de las interacciones enzimáticas-NPs.(Xia *et al.*, 2008). En ambos bioensayos de tomate las dosificaciones de zeolita incorporada al suelo y de NPs aplicadas foliarmente fueron iguales, difiriendo entre ambos únicamente el tipo de NPa utilizada, las diferencias que hay en los resultados de los bioensayos demuestran que la fitotoxicidad causada por algunas NPs genera un comportamiento impredecible e irregular sobre el estrés oxidativo, que a su vez depende del tipo de concentración, propiedades y medios de exposición de las NPs(Lei *et al.*, 2008, Foltete *et al.*, 2011; Song *et al.*, 2012). Los efectos mecánicos dependen del tamaño de las partículas y no de la química de las partículas. Ellos incluyen el relleno de los poros que son indispensables para otros procesos de transporte. Un ejemplo es inhibición del transporte de agua en presencia de altas concentraciones de NPs. Los mecanismos de toxicidad de NPs de CuO y ZnO pueden depender principalmente de la interacción entre las paredes celulares y las bio-moléculas, la toxicidad implica principalmente el desplazamiento de la proteína (Chang *et al.*, 2012).

Los resultados en la biomasa y área foliar difirieron también en ambos bioensayos en las dos mediciones realizadas ya que en plantas tratadas con bajas concentraciones de ZnO tanto a los 30 y 60 DDT superaron a las que tenían mayor dosis de estas, en tanto que las tratadas con ZnO+CuO en un inicio tuvieron un mayor desarrollo las plantas tratadas con mayor dosis pero en la medición hecha a los 60 DDT el testigo supero a todos los tratamientos, en los tratamientos en los cuales se aplicaron NPs en conjunto con zeolita se observó una tendencia ascendente en el peso fresco de las plantas al incrementarse la concentración de NPs y la cantidad de zeolita aplicada al suelo corroborándose en las medias T2 (50 ppm ZnO+CuO/10 t ha⁻¹ zeo), T3 (100 ppm ZnO+CuO/20 t ha⁻¹ zeo) y T4 (200 ppm ZnO+CuO/30 t ha⁻¹ zeo), lo señalado por Xingmao que indica que las NPs actúan de acuerdo al tipo de cultivo, a la concentración y el tipo de NP que se incorporan a las plantas afectando principalmente a la biomasa y a la micromorfología de la planta de maíz y de frijol. Xingmao *et al.* (2010), mencionan que para la mayoría de las nanopartículas son necesarias

concentraciones altas para observar un efecto en las plantas, y el umbral en cuanto a concentración de estas depende de la especie, lo que explica la diferencia entre las plantas de tomate y de lisianthus. Debe reiterarse que metales pesados como el Zn causan fitotoxicidad a altas concentraciones al reaccionar con lípidos, ácidos nucleicos, pigmentos y proteínas, esto puede ocasionar una reducción en su desarrollo vegetativo e incluso al incrementar la concentración de NPs se pudiera llegar a una muerte definitiva, de acuerdo a lo reportado por Israr *et al.* (2011), este suceso puede resultar en un daño a las membranas celulares e inactivación de enzimas, y por consiguiente en una falta de viabilidad de las células vegetales.

En cuanto a los rendimientos de ambos bioensayos se vieron influenciados por el factor zeolita, ya que a mayores concentraciones de esta se obtuvieron los mayores rendimientos, corroborando lo dicho por Turhan y Atilla (2004) que informan de que una mayor proporción de zeolita conduce a una mejora de Ca^{2+} y Mg^{2+} así como una mejor retención de agua, Las membranas celulares pueden ser protegidas por Ca^{2+} en sustratos con alto nivel de conductividad eléctrica. (Turhan y Atilla, 2004).

IX. CONCLUSIONES

Se da por aceptada la hipótesis que el crecimiento de plantas de tomate y lisianthus se verá modificado por efecto de nanopartículas de óxido de zinc y zeolita, sin embargo la efectividad en su acción como promotores de crecimiento se verá influenciado por varios factores como el tiempo de exposición de las mismas a las nanopartículas, al tipo de sustrato, al tipo de NP, así como al tipo de planta y concentración aplicada.

El uso de NPs de ZnO en etapas tempranas de los cultivos benefician al crecimiento de los mismos, el uso prolongado de NPs puede causar toxicidad debido a la bioacumulación de las mismas al interior de las células limitando funciones fisiológicas necesarias para el crecimiento.

Dosis de 50 ppm de NPs de ZnO demostraron ser más efectivas en el desarrollo vegetal de las plantas de lisianthus, en concentraciones más altas los resultados fueron adversos.

Las diferencias observadas en las variables entre el uso de NPs de ZnO y ZnO+CuO dependieron en gran medida en el tipo de nanopartículas utilizada.

El uso de zeolita promovió el desarrollo de las plantas así como el número de flores y peso de frutos por sus propiedades como lo son la retención y dosificación gradual de elementos como N y P para la planta, además de retención de agua en el sustrato.

X. RECOMENDACIONES

Se recomienda llevar el cultivo hasta los 84 DDT ya que la planta de lisianthus presenta aun crecimiento y desarrollo de las hojas pero de este periodo en adelante se presenta la senescencia según lo reportado por Ribeiro (2015).

Se requiere investigar el efecto de las NPs en dosificaciones de concentraciones más altas y espaciadas y/o concentraciones más bajas que 50 ppm aplicadas continuamente para evitar la bioacumulación de las mismas y poder sacar intervalos de aplicación adecuados de NPs de ZnO como promotor de crecimiento.

Se recomendaría observar el efecto de la Zeolita en conjunto con las NPs de ZnO en suelos ácidos para ver el desarrollo de los cultivos.

Para el caso de los bioensayos que se hicieron de tomate en campo abierto recomendaría que se hiciera una repetición en un invernadero también manejando el cultivo en el suelo, ya que muchas de las variables se vieron afectadas por los patógenos de los experimentos vecinos que se manifestaron al final del periodo del cultivo.

En futuras investigaciones es necesario obtener mediciones en más variables fisiológicas para consolidar la investigación en el uso de NPs en la agricultura, y que además pudieran consolidar lo encontrado por otros autores como lo es el incremento de la resistencia de los cultivos ante situaciones de estrés.

Se recomienda utilizar NPs marcadas para poder observar su translocación en tejidos vegetales con un microscopio electrónico.

No se logró llegar a un aspecto más profundo para explicar las diferencias entre tratamientos ya que hicieron falta estudios a nivel celular medir especies reactivas de oxígeno que nos indiquen estrés en las plantas y/o la sobre expresión de las hormonas de crecimiento.

XI. LITERATURA CITADA

- Aghaalkhani, M., Gholamhoseini, M., Dolatabadian, A. 2012. Zeolite influences on nitrate leaching, nitrogen use efficiency, yield and yield components of canola in sandy soil. *Archives of Agronomy and Soil Sciences*. 58: 1149–1169.
- Al-Qarallah, B., Hamdi, M., El-Shair, M., Al-Hadidi, N., Hamaideh, A., Shiyab, S., Thalji, T. 2013. Plant growth-promoting zeolitic tuff: A potential tool for arid land rehabilitation. *American-Eurasian Journal Agronomic & Environmental Sciences*. 13(8): 1141-1149.
- Auld, D. 2001. Zinc coordination sphere in biochemical zinc sites. *Biometals*. 14: 271–313.
- Alvarado, R., Solera, F., Vega, J. 2014. Síntesis sonoquímica de nanopartículas de óxido de zinc y de plata estabilizadas con quitosano. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 15(3): 134-148.
- Aouada, F., Moura, M. 2015. *Nanotechnology Applied in Agriculture: Controlled Release of Agrochemicals*. Nanotechnologies in Food and Agriculture. Springer, Cham.
- Bansiwal, A., Rayalu, S., Labhasetwar, N., Juwarkar, A., Devotta, S. 2006. Surfactant-modified zeolite as a slow release fertilizer for phosphorus. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54:4773-4779.
- Cakmak, I. 2015. Zinc para la Producción Global Sustentable de Cultivos y mejores Dietas Nutricionales. Conferencia del Curso Internacional de Nutrición de Cultivos. Intagri <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/la-importancia-del-zinc-en-las-plantas-y-su-dinamica-en-el-suelo> consultado 14 agosto 2016.
- Cioffi, N., Torsi, L., Ditaranto, N., Tantillo, G., Ghibelli, L., Sabbatini, L., D'Alessio, M., Zambonin, P., Traversa, E. 2005. Copper nanoparticle/polymer composites with antifungal and bacteriostatic properties. *Chemistry of Materials*. 17: 5255-5262.
- Cruz, C., Arévalo, G., Cano, M., Gaytán, A. 2006. Soluciones pulso en la calidad postcosecha de lisianthus (*Eustoma grandiflorum Raf.*) cv.'echo blue'. *Agricultura Técnica en México*. 32(2): 191-200.
- Chang, Y., Zhang, M., Xia, L., Zhang, J., Xing, G. 2012. Los efectos tóxicos y Mecanismos de CuO y ZnO nanopartículas. *Materiales*. 5: 2850-2871.
- Chinnamuthu, C., Boopathi, P. 2009. Nanotechnology and Agoecosystem. *Madras Agriculture Journal*. 96: 17-31.

- Cueto, A. 2012. Fertilizantes de lenta liberación. Infoagro.com. <http://infoagro.com/mexico/fertilizantes-de-liberacion-lenta/> 17 agosto de 2016.
- Del Bosque, G. 2012. Introducción al Uso y Manejo de los Biofertilizantes en la Agricultura. INIFAP/SAGARPA. México.
- Decara, L., Sandoval, G., Funes, C. 2004. El uso de biodigestores en sistemas caprinos de la provincia de Córdoba. Tecnologías que mejoren la actividad granadera, favoreciendo el cuidado ambiental, 27 Congreso Argentino de Producción Animal, 2004.
- Díaz, T., Sánchez, F., Llerena, L., Vásconez, G. 2009. Empleo de zeolitas naturales en la fertilización y producción del fréjol (*Phaseolus vulgaris*) en la zona de Quevedo. Ciencia y Tecnología, 3: 1-6.
- Dimkpa, C., McLean, J., Britt, D., Anderson, A. 2014. Nano CuO and interaction with nano-ZnO or soil bacterium provide evidence for the interference of nanoparticles in metal nutrition of plants. Ecotoxicology. 24(1): 119-129.
- Domínguez, R. 2008. Lisianthus: una especie con alto potencial. Ornamentales. Primera parte: Marzo-abril.
- Esparza, E., Lira, R., Hernández, M., Betancourt, R., García, L., Puente, B. 2014. Actividad antimicrobial de nanopartículas de cobre y óxido de zinc contra bacterias y hongos fitopatógenos. 36 Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales. Noviembre 5-7, Saltillo, Coah., Mexico. ISSN 2007-9540. 10-21.
- FAO 2015 Contribución del agua a la seguridad alimentaria y la nutrición, Un informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición Julio 2015, www.fao.org/3/a-av045s.pdf
- Fang, T., Watson, J., Goodman, J., Dimkpa, C., Martineau, N., Das, S., McLean, J., Britt, D., Anderson, A. 2013. Does doping with aluminum alter the effects of ZnO nanoparticles on the metabolism of soil pseudomonas. Microbiological Research. 168(2): 91-98.
- Foltete, A., Masfaraud, J., Bigorgne, E., Nahmani, J., Chaurand, P., Botta, C., Labille, J., Rose, J., Féraud, J., Cotellet, S. 2011. Environmental impact of sunscreen nanomaterials: ecotoxicity and genotoxicity of altered TiO₂ nanocomposites on *Vicia faba*. Environmental Pollution. 159(10): 2515-2522.
- Fotidis, I., Kougiassa, P., Zagrana, I., Kotsopoulos, T., Martzopoulos, G. 2014. Inoculum and zeolite synergistic effect on anaerobic digestion of poultry manure. Environmental Technology. 35(10): 1219-1225.

- Foyer C., Noctor, G. 2005. Redox homeostasis and antioxidant signaling: a metabolic interface between stress perception and physiological responses. *The Plant Cell*. 17(7): 1866–1875.
- Gill, S., Tuteja, N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 48(12): 909-930.
- Gómez, M. 2015. Sustratos funcionalizados con zeolita más nanopartículas metálicas y su efecto promotor de crecimiento en plantas de chile y tomate. Tesis licenciatura México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Haro M. 2011. Zeolita natural: triple impacto para el sector agropecuario ecuatoriano. (en línea). Consultado 21 febrero, 2015. Disponible en: <http://www.engormix.com/MA-agricultura/cultivos-tropicales/articulos/>.
- Horlingsa, L., Marsden, T. 2011. Towards the real green revolution? Exploring the conceptual dimensions of a new ecological modernization of agriculture that could ‘feed the world’ *Global Environmental Change*. 21(2): 441–452.
- Ippolito, J., Tarkalson, D., Lehrsch, G. 2011. Zeolite soil application method affects inorganic nitrogen, moisture, and corn growth. *Soil Science*. 176: 136-142.
- Israr, M., Jewell, A., Kumar, D., Sahi, S. 2011. Interactive effects of lead, copper, nickel and zinc on growth, metal uptake and antioxidative metabolism of *Sesbania drummondii*. *Journal of Hazardous Materials*. 186(2-3):15201526.
- Jayasinghe, G., Tokashiki, Y., Kitou, M., Kinjo, K. 2008. Oil palm waste and synthetic zeolite: An alternative soil-less growth substrate for lettuce production as a waste management practice. *Waste Management & Research*. 26: 559-565.
- Jo, Y., Kim, B., Jung, G. 2009. Antifungal Activity of Silver Ions and Nanoparticles on Phytopathogenic Fungi. *Plant Disease*, 93(10): 1037-1043.
- Kasraian, A. 2013 Fertilizers and their use, food and agriculture organization of the united nations. <http://www.fao.org/publications/sofa/2013/en/>
- Kesraqui, S., Cheeseman C., Perry, R. 1994. Natural zeolite utilisation in pollution control: a review of applications to metals’ effluents. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 59: 121-126.
- Kyung, K., Kong, C. 2014. Toxic effects of nanoparticles on bioluminescence activity, seed germination, and gene mutation. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 98(7): 3295-3303.

- Lawere, S. 2014 Influence of zinc oxide nanoparticles on growth, flowering and seed productivity in onion. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 3(7): 874-881
- Leggo, P. 2013. Enhancing the growth of plants on coal waste using a biological fertilizer. *International Journal of Environment and Resource (IJER)*, 2: Issue 3.
- Leggo, P., Ledesert, B. 2009. Orgrano-zeolitic soilsystem: a new approach to plant nutrition. *Journal of Nova Science Publisher, Inc.*
- Lei, Z., Mingyu, S., Xiao, W., Chao, L., Chunxiang, Q., Liang, C., Hao, H., Xiaoging, L., Fashui, H. 2008. Antioxidant stress is promoted by nano-anatase in spinach chloroplasts under UV-B radiation. *Biological Trace Element Research*. 121(1): 69-79.
- Li, Z. 2003. Use of surfactant-modified zeolite as fertilizer carriers to control nitrate release. *Microporous and Mesoporous Materials* 61: 181–188.
- Li, Z., Zhang, Y., Li, Y. 2013. Zeolite as slow release fertilizer on spinach yields and quality in a geenhouse test. *Journal of Plant Nutrition*, 36: 1496–1505.
- Lin, D., Xing, B. 2008. Root uptake and phytotoxicity of ZnO nanoparticles. *Environmental Science and Technology*, 42: 5580-5585.
- Lira, R., Hernández, M., Carrasco, E. 2014. *Nanotecnología en agricultura y alimentos. Agronotecnología*. Editorial Académica Española. ISBN 978-3-659-08491-1. 97.
- Lira, R., Corrales, J., Hernández, M., Betancourt, R., García, L., Puente, B. 2014. Nanopartículas de cobre y óxido de zinc contra hongos y bacterias causantes de enfermedades en cultivos agrícolas y humanos. VII Congreso Internacional Interdisciplinario en Nanociencia y Nanotecnología 2014. 11-12 de Junio. Pachuca, Hidalgo.
- Liu, X., Feng, Z., Zhang, F., Zhang, S., He, X. 2006. Preparation and testing of cementing and coating nano-subnanocomposites of slow/controlled-release fertilizer. *Agriculture Science China*. 5: 700–706.
- López, D. 2013. Biofertilización y dosis de fertilización tradicional con y sin acolchado plástico en la producción de chile habanero (*Capsicum chinense Jacq.*) bajo condiciones de campo abierto y casa sombra. Tesis M.C., MAP-CIQA. Saltillo, Coah., México.
- Maine, S., Garnsey, E. 2012. Process-Based vs. Product-Based Innovation: Value Creation by Nanotech Ventures. *Technovation* 32(2)

- Manikandan, A., Subramanian, K. 2014. Fabrication and characterisation of nanoporous zeolite based N fertilizer. *African Journal of Agricultural Research*, 9(2): 276-284.
- Marambio, C., Hoek, M. 2010. A review of the antibacterial effects of silver nanomaterials and potential implications for human health and the environment. *Journal of Nanoparticle*. 12 (5): 1531 – 1551.
- Méndez, B. 2015, Congreso Nacional de biotecnología y bioingeniería, Guadalajara Jalisco, Influencia de nanopartículas de óxido de zinc puras y dopadas con plata en el crecimiento y producción de biomasa en plántulas de Chile.
- Millan, G., Agosto, M., Botto, L. 2008. Use of clinoptilolite as a carrier for nitrogen fertilizers in soils of the pampean regions of Argentina. *Journal of Ciencia e Investigación AGARIA*, 35(3): 245-254.
- Molina, M., Medina, M., Restrepo, L. 2006. Evaluación de sustratos y cultivos trampa bajo condiciones controladas para la obtención de hongos micorrízogenos de Aliso (*Alnus acuminata H.B.K.*).
- Mohammad A., Foroozan S., Mesbah B., Mohsen K., Ahmad A., Rooh-Angiz N. 2009. Evaluation of Rose (Rosa L. Hybrids Var. Black Magic) Phosphorus Feeding from Different Sources of Iranian Apatites in Long Periods in Zeoponic Culture. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(4): 4392-4396.
- Mura S., Seddaiu G., Bacchini F., Roggero P., Geppi G. 2013. Advances of nanotechnology in agro-environmental studies. *Italian Journal Agon*. 8: 127–140. doi:10.4081/ija.2013.e18, eISSN 2039-6805.
- Mumpton, F. 1999. La roca mágica: uses of natural previous zeolites in agricultura and industry. *Natlural. Acadademy of Sciences USA*. 96: 3463–3470.
- Naderi, M., Danesh, A. 2013. Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture. *International Journal of Agriculture and Crops Sciences*. 5(19): 2229-2232.
- Olejnik, M., Krajnik, B., Kowalska, D., Twardowska, M., Czechowski, N., Hofmann, E., Mackowski, S. 2013. Imaging of fluorescence enhancement in photosynthetic complexes coupled to silver nanowires. *Applied Physics Letters*. 102(8): 83703-83707.
- OMS. 2016. 10 datos sobre el cambio climático y la salud http://www.who.int/features/factfiles/climate_change/facts/es/ Consultado el 3 de septiembre de 2016.

- Pandey, A., Sanjay, S., Yadav, R. 2010. Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum*. *Journal of Experimental Nanoscience*. 5(6): 488-497.
- Paredes, R. 2013. Zeolita natural: Alternativa ecológica y económica para la agricultura de temporal en México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico Núm. 19 Primera edición Mayo 2013 ISBN: 978-607-37-0014-6.
- Peña, J., Grageda, O., Vera, J. 2002. Manejo de los fertilizantes nitrogenados en México: uso de las técnicas isotópicas (15n). *Terra Latinoamericana*. 20(1): 51-56.
- Pérez, V. 2014. Extracción de macronutrientes en lisianthus (*Eustoma grandiflorum (Raf.) Shinn.*) cv. Mariachi blue cultivado en invernadero. Tesis de licenciatura. México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Pire, R., Pereira, A. 2003. Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del Estado de Lara Venezuela. Propuesta metodológica. *Bioagro*. 15: 53-6.
- Prasad, T., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Reddy, K., Sreeprasad, T., Sajanal, P., Pradeep, T. 2012. Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut, *Journal of Plant Nutrition*. 35(6): 905-927
- Ramesh, K., Biswas, A., Somasundaram, J., Subbarao, A. 2010. Nanoporous zeolites in farming: Current status and issues ahead. *Current Sciences*. 99: 760-764.
- Ramyadevi, J., Jeyasubramanian, K., Marikani, A., Rajakumar, G., Rahuman, A. 2012. Synthesis and antimicrobial activity of copper nanoparticles. *Materials Letters*. 71: 114-116.
- Raskar, S., Laware, S. 2014. Effect of zinc oxide nanoparticles on cytology and seed germination in onion. *International Journal of Current Microbiology Applied Sciences*. 3(2): 467-473.
- Reyes, P. 1981. Historia de la agricultura. Información y síntesis. AGT. México, DF.
- Ribeiro, A., 2015 Índice SPAD en el crecimiento y desarrollo de plantas de lisianthus en función de diferentes dosis de nitrógeno en ambiente protegido. *IDESIA*. 33(2): 97-105.
- Romero, A., Pereda, I. 2014. Biofertilizantes a partir de residuos agrícolas. *Ecosolar*. 49(6): 36-40.
- Sabir, S., Arshad, M., Chaudhari, S. 2014. Zinc oxide nanoparticles for revolutionizing agriculture: Synthesis and applications. *The Scientific World Journal*. 1: 1-8.

- SAGARPA, 2016. Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <http://www.sagarpa.gob.mx> (última revisión 5 mayo 2017).
- Scharf, P., Kitchen, N., Sudduth, K., Davis, J., Hubbard, C., Lory, A. 2005. Variabilidad a escala de campo en la tasa óptima de fertilizante de nitrógeno para el maíz. *Agon Journal*. 97: 452-461.
- Sedghi, M., Hadi, M., Toluie, S. 2013. Effect of nano zinc oxide on the germination parameters of soybean seeds under drought stress. *Annals of West University of Timișoara, Biology*. 16: 73-78.
- Shameli, K., Ahmad, M., Zargar, M., Yunus, W., Ibrahim, A. 2011. Fabrication of silver nanoparticles doped in the zeolite framework and antibacterial activity. *International Journal of Nanomedicine*, 6: 331-341.
- Shyla, K., Natarajan, N. 2014. Customizing zinc oxide, silver and titanium dioxide nanoparticles for enhancing groundnut seed quality. *Indian Journal of Science and Technology*. 7: 1376-1381.
- SNIIM, 2016. Sistema Nacional de Información e Integación de Mercados. <http://www.economia-sniim.gob.mx> (última revisión: 2 Feb. 2016).
- Snyder, C., Bruulsema, T., Jensen, T. 2007. Geenhouse gas emissions from cropping systems and the influence of fertilizer management -A Literature Review, International Plant Nutrition Institute, Norcross, Georgia, E.U.
- Song, G., Gao, Y., Wu, H., Hou, W., Zhang, C., Ma, H. 2012. Physiological effect of anatase TiO₂ nanoparticles on *Lemna minor*. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 31(9): 2147-2152.
- Srilatha, B. 2011. Nanotechnology in Agriculture. *Journal of Nanomedic Nanotechnol*. 2: 123. doi:10.4172/2157-7439.1000123.
- Tarafdar J.C., 2014. Biosynthesis of nanoparticles and its application in agricultura. 2nd International conference on agricultural & hoticultural sciences. 25(6): 905-929
- Turhan, E., Atilla, E. 2004. Effect of chloride application and different growth media on Ionic composition in strawberry plant. *Journal of Plant Nutrition*. 27: 1653-65
- Vásquez A. 2006. Uso de zeolita para reducir costos de fertilización química en agricultura. biblioteca.inifap.gob.mx:8080/.../010209211500063356_USO_DE_ZEOLITA.pdf?
- Vera, I., Mendez, B., Mendoza, E., Garcia, L., Puente, B., Lira, R., 2016. Promoción del crecimiento en plantas de *Capsicum annum* por nanopartículas de óxido de zinc. *Nova Scientia*. 8(17): 140-156.

- Williams, K., Nelson, P. 1997. Using precharged zeolite as a source of potassium and phosphate in a soilless container medium during potted chrysanthemum production. *Journal of American Society for Horticultural Science*. 122(5): 703–708.
- Xia, T., Kovochich, M., Liong, M., Mädler, L., Gilbert, B., Shi, H., Yeh, J., Zink, J., Nel, A. 2008. Comparison of the mechanism of toxicity of zinc oxide and cerium oxide nanoparticles based on dissolution and oxidative stress properties. *Nano Antimicrobials*. 2(10): 2121-2134.
- Xingmao, M., Geiser, Y., Deng, A. 2010 Las interacciones entre las nanopartículas artificiales (ENPS) y plantas: fitotoxicidad, la absorción y la acumulación. *Science of the Total Environment*. 408(16): 3053–3061.
- Yolcu, H., Seker, H., Gullap, M., Lithourgidis, A. 2011. A. Application of cattle manure, zeolite and leonardite improves hay yield and quality of annual ryegrass (*Lolium multiflorum Lam.*) under semiarid conditions. *Australian Journal of Crop Science*. 5(8): 926-931.
- Zhang, D., Hua, T., Xiao, F., Chen, C., Gersberg, R., Liu, Y., Stuckey, D., Tan, S. 2015. Phytotoxicity and bioaccumulation of ZnO nanoparticles in *Schoenoplectus tabernaemontani*. *Chemosphere*. 120(1): 211-219.

XII. ANEXOS

Cuadro 33. Concentrado de datos 30 DDT del bioensayo 2 Aplicación de zeolita y NPs ZnO en plantas de tomate.

DESCRIPCION DEL TRATAMIENTO	T1 control	T2 50 NPs ZnO/10 ton	T3 100 NPs ZnO/20 ton	T4 200 NPs ZnO/30 ton	T5 20 ton	P ≤ 0.05
Altura (cm)	40.65 ± (0.62)	44.25 ± (4.18)	46.75 ± (2.78)	49.50 ± (2.59)	43.50 ± (3.06)	0.3
Diámetro tallo (mm)	19.51 ± (0.50)a	16.51 ± (1.09)ab	14.90 ± (0.40)b	15.28 ± (0.90)b	16.01 ± (1.90)ab	0.01
IR- Clorofila (Uspad)	45.67 ± (1.23)	45.67 ± (0.55)	45.37 ± (3.16)	44.80 ± (2.60)	45.85 ± (2.04)	0.99
Numero de flores	12.50 ± (2.90)	6.75 ± (1.70)	9.25 ± (3.42)	10.75 ± (0.85)	8.5 ± (1.93)	0.5
Numero de frutos	1.25 ± (0.75)	1.50 ± (0.86)	0 ± (0)	0 ± (0)	0.25 ± (.25)	0.16
Area Foliar (cm ²)	5033.81 ± (868.26)	4252.43 ± (348.73)	3844.17 ± (793.84)	3069.26 ± (638.86)	2798.71 ± (382.07)	0.157
Peso fresco de la planta (g)	412.81 ± (34.16)	368.82 ± (27.47)	317.00 ± (51.14)	322.45 ± (50.73)	300.08 ± (26.70)	0.29
Peso seco planta(g)	62.81 ± (3.04)	59.57 ± (3.79)	53.41 ± (5.47)	52.89 ± (5.58)	52.08 ± (3.37)	0.36

Cuadro 34. Concentrado de datos 30 DDT del bioensayo 3 Aplicación de zeolita y NPs ZnO+CuO en plantas de tomate.

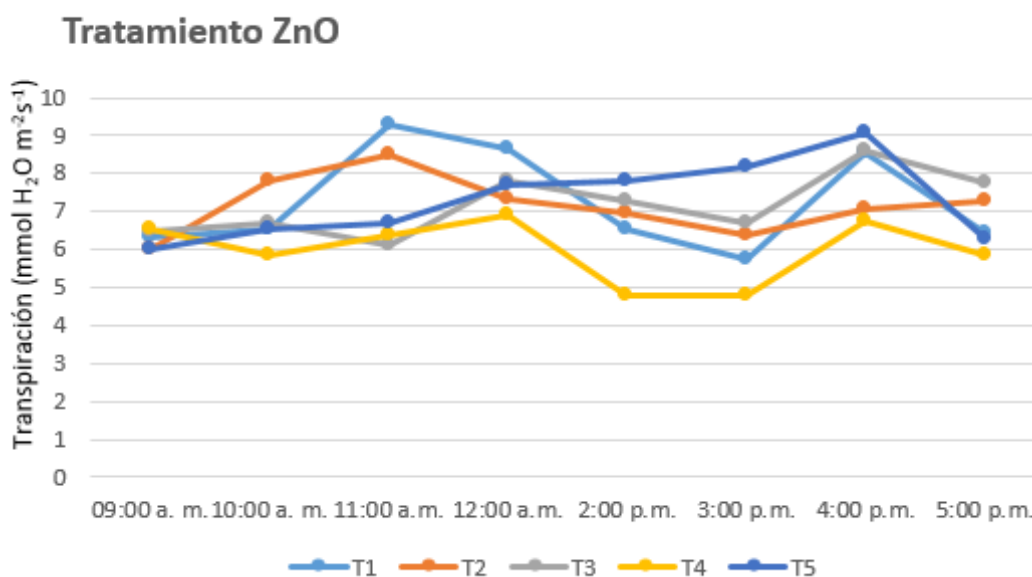
DESCRIPCION DEL TRATAMIENTO	T1 control	T2 50 NPs ZnO+Cu/10 ton	T3 100 NPs ZnO+Cu/20 ton	T4 200 NPs ZnO+Cu/30 ton	T5 20 ton	P ≤ 0.05
Altura (cm)	46.50 ± (3.30)	50.75 ± (5.49)	55.75 ± (4.58)	51.25 ± (2.28)	55.25 ± (2.25)	0.44
Diámetro tallo (mm)	15.09 ± (1.01)	15.23 ± (.49)	12.95 ± (.55)	15.97 ± (.92)	15.56 ± (.71)	0.1
IR- Clorofila (Uspad)	43.62 ± (1.66)	47.07 ± (1.31)	43.80 ± (0.96)	45.15 ± (0.53)	45.57 ± (2.78)	0.57
Numero de flores	18.75 ± (8.12)	9.75 ± (.75)	10.00 ± (2.48)	12.00 ± (2.48)	13.75 ± (2.56)	0.54
Numero de frutos	0 ± (0)	.25 ± (0.25)	0 ± (0)	0 ± (0)	2.25 ± (1.31)	0.07
Area Foliar (cm ²)	3406.32 ± (828.6)	3539.44 ± (369.8)	4376.90 ± (1176.0)	5341.32 ± (670.5)	3531.67 ± (362.5)	0.34
Peso fresco de la planta (g)	313.17 ± (82.11)	298.79 ± (37.61)	351.46 ± (78.76)	405.27 ± (53.57)	331.45 ± (22.78)	0.74
Peso seco planta(g)	50.64 ± (7.85)	56.33 ± (4.68)	53.46 ± (8.71)	61.93 ± (5.08)	53.86 ± (2.81)	0.77

Cuadro 35. Concentrado de datos 60 DDT del bioensayo 2 Aplicación de zeolita y NPs ZnO en plantas de tomate.

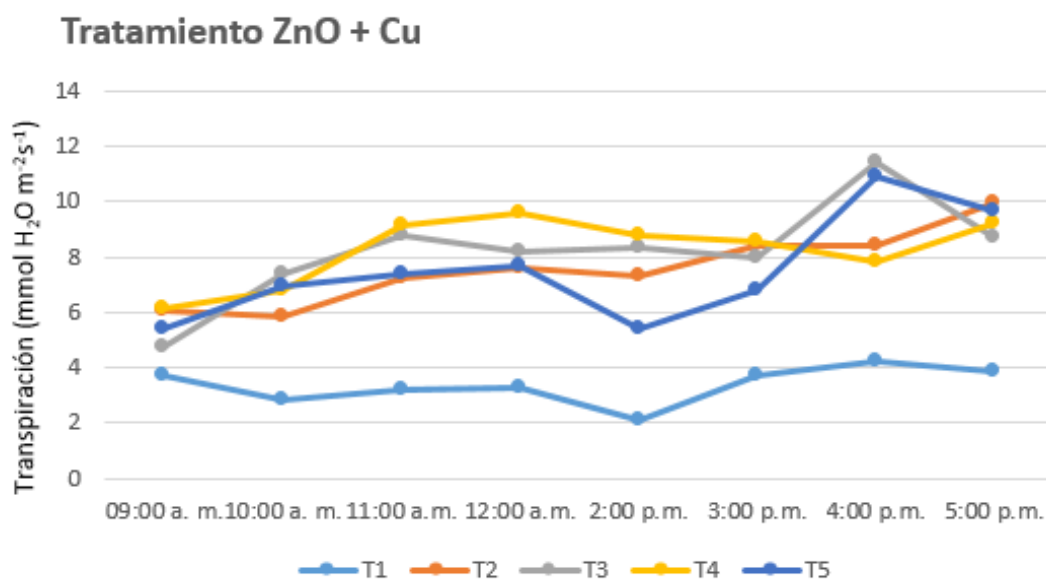
DESCRIPCION DEL TRATAMIENTO	T1 control	T2 50 NPs ZnO/10 ton	T3 100 NPs ZnO/20 ton	T4 200 NPs ZnO/30 ton	T5 20 ton	P ≤ 0.05
Altura (cm)	91.50 ± (15.67)	110.25 ± (13.02)	89.50 ± (6.69)	99.00 ± (13.63)	94.50 ± (15.97)	0.82
Diámetro tallo (mm)	18.94 ± (1.32)	19.17 ± (2.02)	17.67 ± (1.47)	18.90 ± (0.78)	19.78 ± (1.84)	0.9
Numero de flores	9.25 ± (3.96)	18.25 ± (10.54)	14.00 ± (5.05)	8.00 ± (3.24)	12.50 ± (4.78)	0.77
Numero de frutos	6.75 ± (2.39)	12.25 ± (4.60)	9.00 ± (1.41)	8.5 ± (0.95)	11.50 ± (2.90)	0.62
Area Foliar (cm ²)	5672.16 ± (1262.4)	7571.24 ± (1290.4)	6426.78 ± (2361.3)	5690.29 ± (873.5)	6562.93 ± (1580.1)	0.9
Peso fresco de la planta (g)	696.25 ± (137.59)	806.25 ± (165.00)	700 ± (169.56)	862.50 ± (119.68)	887.50 ± (198.30)	0.86
Peso seco planta (g)	125.63 ± (20.07)	139.91 ± (19.44)	125.61 ± (13.52)	132.03 ± (8.93)	156.00 ± (20.22)	0.69
Peso fresco de fruto (g)	400.00 ± (186.25)	531.25 ± (161.17)	400.00 ± (122.47)	437.50 ± (121.41)	450.00 ± (150.35)	0.97
Peso seco de fruto (g)	28.00 ± (9.69)	30.25 ± (6.15)	24.50 ± (4.73)	26.75 ± (3.19)	37.75 ± (2.13)	0.56
Rendimiento final del cultivo (g)	2937.50 ± (289.11)ab	3414.58 ± (354.39)ab	3627.08 ± (360.15)ab	3715.83 ± (372.08)a	2369.17 ± (154.71)b	0.02

Cuadro 36. Concentrado de datos 60 DDT del bioensayo 3 Aplicación de zeolita y NPs ZnO+CuO en plantas de tomate.

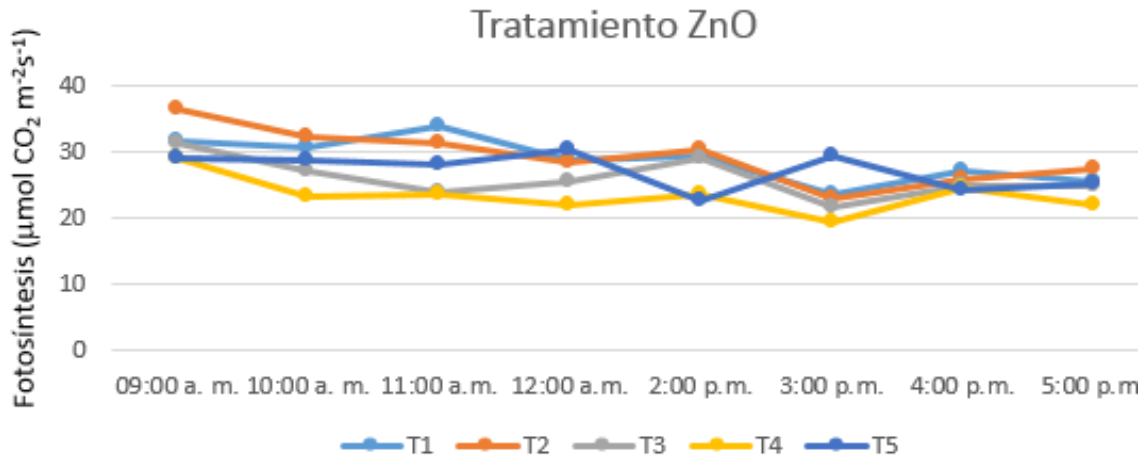
DESCRIPCION DEL TRATAMIENTO	T1 control	T2 50 NPs ZnO+Cu/10 ton	T3 100 NPs ZnO+Cu/20 ton	T4 200 NPs ZnO+Cu/30 ton	T5 20 ton	P ≤ 0.05
Altura (cm)	98.00 ± (14.49)	107.25 ± (16.68)	78.50 ± (16.72)	107.75 ± (15.37)	97.50 ± (13.25)	0.67
Diámetro tallo (mm)	17.54 ± (0.88)	16.31 ± (0.84)	19.07 ± (1.06)	17.43 ± (1.39)	17.78 ± (1.57)	0.61
Numero de flores	9.25 ± (3.70)	7.25 ± (3.09)	4.25 ± (2.52)	5.00 ± (1.87)	8.5 ± (4.17)	0.76
Numero de frutos	16.25 ± (2.46)	11.50 ± (1.55)	10.50 ± (0.86)	17.00 ± (4.62)	16.75 ± (3.06)	0.28
Area Foliar (cm ²)	7552.26 ± (2007.1)	4830.90 ± (784.9)	5301.22 ± (9706.5)	5978.00 ± (1420.4)	6617.02 ± (542.2)	0.58
Peso fresco de la planta (g)	850.00 ± (144.34)	605.00 ± (74.89)	675.00 ± (125.00)	831.25 ± (211.49)	807.50 ± (74.54)	0.64
Peso seco planta (g)	147.88 ± (59.77)	91.23 ± (10.57)	101.78 ± (18.05)	108.45 ± (25.97)	131.24 ± (17.55)	0.71
Peso fresco de fruto (g)	700.00 ± (130.70)	850.00 ± (50.00)	855.00 ± (228.09)	862.50 ± (47.32)	1100.00 ± (188.19)	0.46
Peso seco de fruto (g)	36.00 ± (4.91)	46.25 ± (6.61)	41.50 ± (6.25)	42.00 ± (5.04)	53.25 ± (6.04)	0.34
Rendimiento final del cultivo (g)	2762.50 ± (224.82)	2995.83 ± (271.83)	2722.92 ± (203.58)	3475.00 ± (320.58)	3595.93 ± (359.76)	0.1



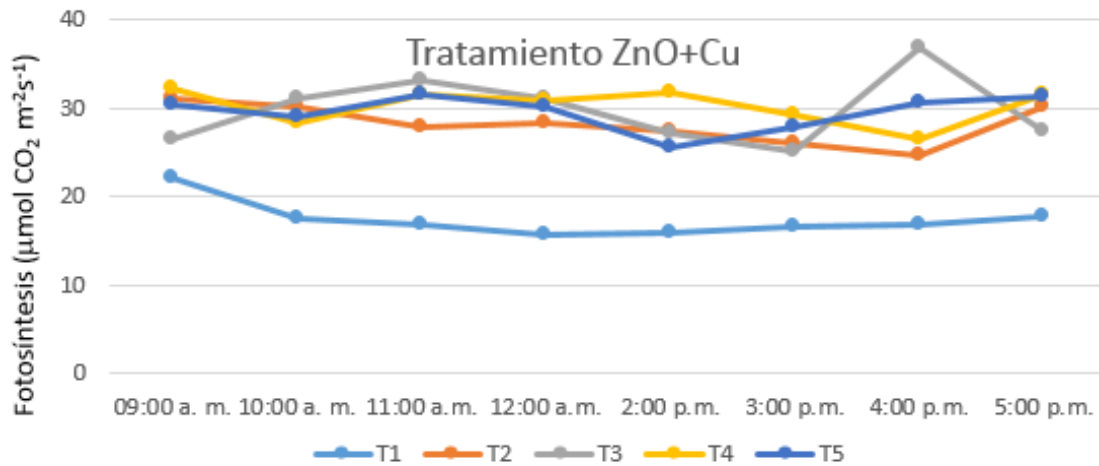
Gráfica 1. Gráfica de transpiración de cultivo de tomate en el bioensayo 2 Aplicación de zeolita y NPs ZnO en plantas de tomate, dónde: T1 (control); T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo); T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo); T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo); T5 (20 t ha⁻¹ zeo).



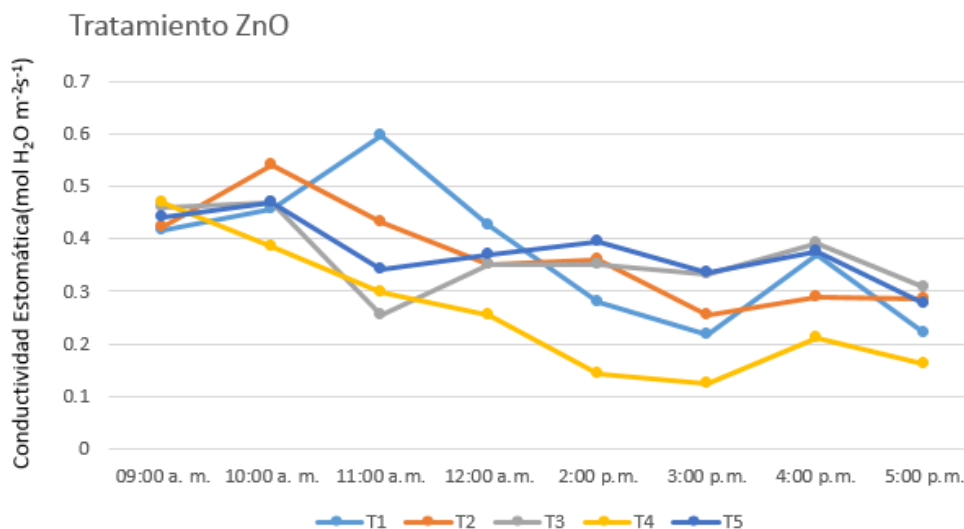
Gráfica 2. Gráfica de transpiración de cultivo de tomate en el bioensayo 3 Aplicación de zeolita y NPs ZnO+CuO en plantas de tomate, dónde: T1 (control); T2 (50 ppm ZnO+Cu/10 t ha⁻¹ zeo); T3 (100 ppm ZnO+Cu/20 t ha⁻¹ zeo); T4 (200 ppm ZnO+Cu/30 t ha⁻¹ zeo); T5 (20 t ha⁻¹ zeo).



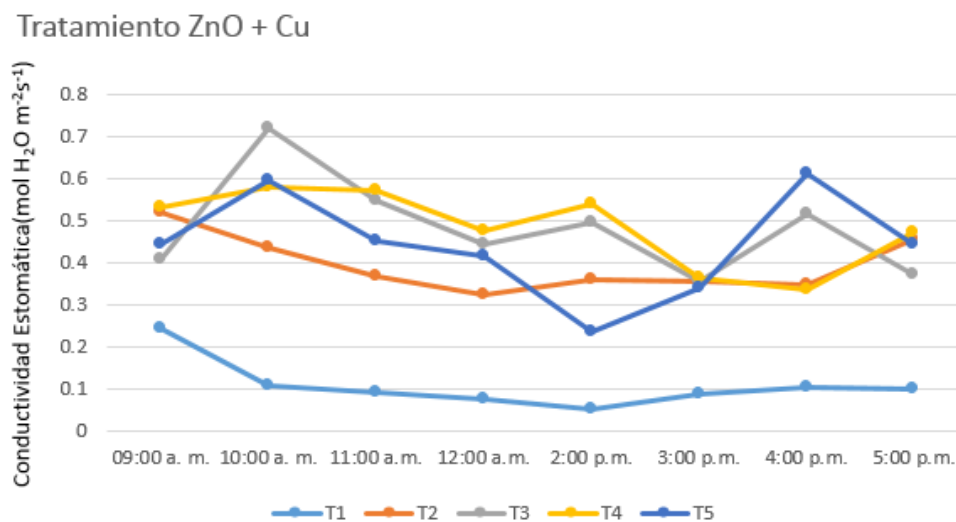
Gráfica 3. Gráfica de fotosíntesis de cultivo de tomate en el bioensayo 2 Aplicación de zeolita y NPs ZnO en plantas de tomate, dónde: T1 (control); T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo); T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo); T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo); T5 (20 t ha⁻¹ zeo).



Gráfica 4. Gráfica de fotosíntesis de cultivo de tomate en el bioensayo 3 Aplicación de zeolita y NPs ZnO+CuO en plantas de tomate, dónde: T1 (control); T2 (50 ppm ZnO+Cu/10 t ha⁻¹ zeo); T3 (100 ppm ZnO+Cu/20 t ha⁻¹ zeo); T4 (200 ppm ZnO+Cu/30 t ha⁻¹ zeo); T5 (20 t ha⁻¹ zeo).



Gráfica 5. Gráfica de conductividad estomática de cultivo de tomate en el bioensayo 2 Aplicación de zeolita y NPs ZnO en plantas de tomate, dónde: T1 (control); T2 (50 ppm ZnO/10 t ha⁻¹ zeo); T3 (100 ppm ZnO/20 t ha⁻¹ zeo); T4 (200 ppm ZnO/30 t ha⁻¹ zeo); T5 (20 t ha⁻¹ zeo).



Gráfica 6. Gráfica de conductividad estomática de cultivo de tomate en el bioensayo 3 Aplicación de zeolita y NPs ZnO+CuO en plantas de tomate, dónde: T1 (control); T2 (50 ppm ZnO+Cu/10 t ha⁻¹ zeo); T3 (100 ppm ZnO+Cu/20 t ha⁻¹ zeo); T4 (200 ppm ZnO+Cu/30 t ha⁻¹ zeo); T5 (20 t ha⁻¹ zeo).