

Proyecto de Integración en Ingeniería Ambiental

Proyecto de Investigación

**Evaluación de la toxicidad de dos redes metalorgánicas de
cobre $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2]$ y $[\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})]$ en especies vegetales
comestibles y ornamentales**

Presenta:

Mariana Mendoza Sánchez

Matrícula: 2123032728

Asesores:

Mtro. Juan Carlos Alvarez Zeferino

Asesor externo

zeferino_juan@hotmail.com

Dra. Sandra Loera Serna

Profesor- Investigador

Departamento de Ciencias Básicas

sls@correo.azc.uam.mx

Trimestre 16O

Ciudad de México

Enero de 2017

Declaratoria

Yo Sandra Loera Serna, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



Yo Juan Carlos Álvarez Zeferino, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



Yo Mariana Mendoza Sánchez, doy mi autorización a la Coordinación de Servicios de Información de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, para publicar el presente documento en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



Agradecimientos

Al cuerpo docente de la Universidad Autónoma Metropolitana que me permitió desarrollarme en el ámbito profesional.

A mis asesores: M. en C. Juan Carlos Alvarez Zeferino y Dra. Sandra Loera Serna, por su apoyo, motivación, compromiso y dedicación.

A la M. en C. Laura Medina Tovar y al técnico Adán Oswaldo Pérez Alva, encargados de la Planta Piloto de Aguas Residuales por su conocimiento y apoyo.

A mis colegas: Norma Cristina Rangel Alvarez, María Elena Sánchez García y Carlos Martín Hernández Robledo, por su ayuda, comprensión, compañía y amistad.

Dedicatoria

El presente proyecto está dedicado a mi madre María del Carmen Sánchez Olguín, a mi hermana Nayely Itzel Mendoza Sánchez y a mis abuelos Ángela Carmen Olguín Reyes y Domingo Sánchez Angeles, quienes me han apoyado incondicionalmente, gracias por sus consejos, comprensión y cariño.

Resumen

La continua innovación de la tecnología implica el surgimiento de nuevos nanomateriales, los cuales cada día encuentran mayores y versátiles aplicaciones en la vida diaria, dentro de estos nanomateriales se encuentran las redes metal-orgánicas (MOF por sus siglas en inglés), sin embargo, ante tal auge no se han previstos las posibles afectaciones toxicológicas que pudieran ocasionar en los seres vivos.

En el presente proyecto se evaluaron los efectos tóxicos de dos redes metal-orgánicas de cobre ($\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ y $\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})$) sobre siete especies vegetales: maíz, frijol, lechuga, jitomate, cempaxóchitl, celosía y nube, las cuales tienen una importancia alimentaria y ornamental en México.

Se inició con la síntesis de ambas redes metalorgánicas, las cuales posteriormente se caracterizaron mediante las técnicas de difracción de rayos X (DRX) y el método BET, se eligieron estos materiales debido a que no existen estudios que evalúen su posible toxicidad en especies vegetales.

Para evaluar la toxicidad en las especies vegetales se emplearon dos pruebas, la primera consistió en establecer un contacto directo de las MOF's con las semillas y la segunda prueba tuvo la finalidad de visualizar los efectos en la raíz y parte aérea de las plántulas.

Los resultados demostraron que la prueba de germinación presenta mayores afectaciones en las especies ensayadas, siendo las más afectadas en el índice de germinación a 500 y 1000 ppm de la MOF $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ la nube y el cempaxóchitl, mientras que para la MOF $\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})$ fue el cempaxóchitl y el maíz.

Por otra parte, en la prueba sobre plántulas, se tiene que las especies con mayor afectación en el crecimiento radicular fueron el jitomate, cempaxóchitl y lechuga, las primeras dos expuestas a la MOF $\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})$ y la última a la MOF $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$. Mientras que, en la parte aérea la especie más afectada fue el frijol regado con la MOF $\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})$.

Sin embargo se presentaron especies beneficiadas, lo cual significa que las afectaciones varían de acuerdo a la dosis, especie vegetal y red metalorgánica.

La importancia de este estudio radica en proporcionar resultados sobre las afectaciones que generan este tipo de nanomateriales en especies vegetales, para evaluar sus posibles riesgos y repercusiones en los ecosistemas, y así establecer una pauta sobre el control que deben tener este tipo de nanomateriales al término de su vida útil.

Tabla de contenido

Declaratoria.....	I
Agradecimientos	II
Dedicatoria	III
Resumen	IV
Lista de Figuras	VII
Lista de Tablas	IX
Lista de Ecuaciones	X
1. Introducción.....	1
2. Antecedentes.....	3
3. Justificación	5
4. Objetivos	5
5. Marco teórico.....	6
5.1. Nanotecnología y nanomateriales	6
5.1.1. Clasificación.....	6
5.1.2. Aplicación	7
5.2. Redes metalorgánicas (MOF's)	8
5.2.1. Estructura.....	8
5.2.2. Síntesis y caracterización	9
5.2.3. Aplicaciones.....	12
5.3. La importancia de las especies vegetales en el mundo	14
5.3.1. Especies vegetales comestibles	15
5.3.2. Plantas ornamentales	22
5.4. Toxicidad.....	27
5.4.1. Pruebas de toxicidad en semillas	28
5.4.2. Pruebas de toxicidad en plantas.....	29
5.4.3. Estudios de caso (toxicidad de nanomateriales en las plantas) ..	30
6. Metodología	32
6.1. Síntesis de la MOF $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$	33
6.2. Síntesis de la MOF $\text{Cu}_2[(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})]$	33
6.3. Caracterización de la MOF's	33
6.4. Caracterización del suelo de jardín.....	34
6.5. Determinación de materia orgánica	34
6.6. Análisis de viabilidad de las semillas	35
6.7. Desinfección de semillas	35
6.8. Prueba de germinación	36
6.9. Prueba del crecimiento de las especies vegetales en primer estadio	37

6.10. Análisis estadístico	39
7. Resultados y discusión	40
7.1 Caracterización de las redes metalorgánicas sintetizadas	40
7.2 Condiciones en el invernadero	40
7.3 Caracterización del suelo de jardín.....	42
7.4 Materia Orgánica	43
7.5 Análisis de viabilidad de las semillas	43
7.6 Prueba de germinación	44
7.7 Prueba de crecimiento de las especies vegetales en primer estadio .	50
7.8 Necrosis y protuberancia	60
7.9 ANOVA multifactorial	63
8. Conclusiones.....	65
9. Referencias	68
ANEXO A	77
Análisis estadístico de la prueba de germinación	77
ANEXO B	84
Análisis estadístico de la prueba de primer estadio (longitud)	84
ANEXO C	98
Análisis estadístico de la prueba de primer estadio (masa seca)	98

Lista de Figuras

Figura 5.1. Estructura de 6 tipos de MOF's, en la segunda posición se encuentra la MOF $[\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})]$ y en la cuarta posición la MOF $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2]$, tomado de Chen <i>et al.</i> , 2015.....	8
Figura 5.2. Modelo de Bragg que representa la difracción de rayos X producida por un cristal, tomado de Skoog D. <i>et al</i> , 1992.....	10
Figura 5.3. Esquema de las fuerzas de cohesión que intervienen en un sólido y en un sólido con un gas adsorbido, tomado de Kenneth S. <i>et al.</i> , 2010	11
Figura 5.4. Central de Abastos de la Ciudad de México principal comercio de frutas, verduras, legumbres, hortalizas, flores, semillas, cárnicos y abarrotes, tomado del Diario Hoy Estado de México, 2015	14
Figura 5.5. Plato del bien comer tomado de Yakult, n.d	16
Figura 5.6. Partes del maíz, tomado de Imagui, n.d	17
Figura 5.7. Plantaciones de frijol en Zacatecas, tomado de NTR, 2013	18
Figura 5.8. Mostrador que oferta alimentos de la cuarta gama, tomado de Sociedade Nacional de Agricultura, 2015.....	19
Figura 5.9. Etapas de crecimiento de la lechuga, tomado de SQM, n.d	20
Figura 5.10. Fisiología de la planta de jitomate, tomado de Flores <i>et al.</i> , 2012	22
Figura 5.11. Jardín botánico del parque Xochitla, el cual cuenta con una colección de plantas silvestres con potencial ornamental, tomado de Fundación Xochitla, n.d	23
Figura 5.12. Altar de día de muertos, tomado de Famososexpress, n.d	24
Figura 5.13. Camionetas cargadas con cempaxóchitl y celosía, las cuales se ofertarán en los mercados o florerías para la festividad de día de muertos, tomado de Poblanerías.com, 2015.....	25
Figura 5.14. Arreglo floral complementado con nube, tomado de Pinterest, n.d	26
Figura 5.15. Curva del comportamiento dosis-efecto, tomado de Parada R., 2016.....	28
Figura 5.16. Morfología de la semilla y plántula de la lechuga, tomado de Sobrero M. y Ronco A., 2004	29
Figura 6.1. Diseño de experimentos	32

Figura 6.2. Diagrama de proceso	32
Figura 6.3. Prueba de germinación para la lechuga a 1000 ppm para ambos nanomateriales	36
Figura 6.4. Prueba de crecimiento en primer estadio para las siete especies ensayadas	37
Figura 6.5. Parte aérea y raíz para el cempaxóchitl a 500 ppm de la MOF 1D	38
Figura 8.1. Patrones de difracción de las MOF's: $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ y $[\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})]$	40
Figura 8.2. Condiciones de temperatura en el invernadero	41
Figura 8.3. Condiciones de humedad en el invernadero	41
Figura 8.4. Crecimiento radicular para maíz	46
Figura 8.5. Crecimiento radicular frijol	47
Figura 8.6. Crecimiento radicular para jitomate	47
Figura 8.7. Crecimiento radicular para lechuga	48
Figura 8.8. Crecimiento radicular para celosía	49
Figura 8.9. Crecimiento radicular en cempaxóchitl	49
Figura 8.10. Crecimiento radicular nube	50
Figura 8.11. Crecimiento de raíz y parte aérea en maíz	51
Figura 8.12. Crecimiento de raíz y parte aérea en frijol	51
Figura 8.13. Crecimiento de raíz y parte aérea en jitomate	52
Figura 8.14. Crecimiento de raíz y parte aérea en lechuga	53
Figura 8.15. Crecimiento de raíz y parte aérea en celosía	54
Figura 8.16. Crecimiento de raíz y parte aérea en cempaxóchitl	54
Figura 8.17. Crecimiento de raíz y parte aérea en nube	55
Figura 8.18. Generación de biomasa en maíz	56
Figura 8.19. Generación de biomasa en frijol	56
Figura 8.20. Generación de biomasa en jitomate	57
Figura 8.21. Generación de biomasa en lechuga	58

Figura 8.22. Generación de biomasa en celosía.....	58
Figura 8.23. Generación de biomasa en cempaxóchitl	59
Figura 8.24. Generación de biomasa en nube	60
Figura 8.25. Crecimiento radicular en el testigo	60
Figura 8.26. Crecimiento radicular en 1000 ppm en MOF 3D.....	61
Figura 8.27. Crecimiento radicular en 1000 ppm en MOF 1D.....	61
Figura 8.28. Crecimiento radicular en el testigo	62
Figura 8.29. Crecimiento radicular en 1000 ppm para la MOF 3D.....	62
Figura 8.30. Crecimiento radicular en 1000 ppm en MOF 1D.....	63

Lista de Tablas

Tabla 2.1. Pruebas de fitotoxicidad de nanopartículas realizadas a especies vegetales	3
Tabla 2.2 Pruebas de fitotoxicidad de nanopartículas realizadas a especies vegetales. Continuación	4
Tabla 5.1. Aplicaciones y riesgos de los nanomateriales.....	7
Tabla 5.2. Descripción de las partes del maíz (Argüello, n.d).....	17
Tabla 5.3. Características del frijol (Isely, 1990, citado por Vibrans <i>et al.</i> , 2009a)	18
Tabla 5.4. Descripción de las partes de la lechuga (InfoAgro, n.d1).....	20
Tabla 5.5. Descripción de las partes del jitomate (FloresyPlantas.net, n.d)	21
Tabla 5.6. Descripción de las partes de la flor de cempaxóchitl (Vibrans y Mondragón, 2009b)	24
Tabla 5.7. Partes y descripción de la fisiología de la flor de celosía (Botanic Serrat, 2016).....	26
Tabla 5.8. Descripción de las partes de la flor de nube (InfoAgro, n.d2)	27
Tabla 5.9. Efectos tóxicos de nanomateriales en diversas especies vegetales (Siddiqui <i>et al.</i> , 2015).....	30
Tabla 5.10 (Continuación). Efectos tóxicos de nanomateriales en diversas especies vegetales (Manzer H., <i>et al.</i> , 2015)	31

Tabla 8.1. Resultados de nutrientes del suelo del municipio de Tepetzotlán ...	42
Tabla 8.2. Prueba de viabilidad para la prueba de germinación	44
Tabla 8.3. Prueba de viabilidad para la prueba de primer estadio	44
Tabla 8.4. Índice de germinación para la especies ensayadas con MOF Cu ₃ (BTC) ₂	45
Tabla 8.5. Índice de germinación para la especies ensayadas con MOF Cu ₂ (BTC)(OH)(H ₂ O)	45
Tabla 8.6. Valores <i>P</i> para la prueba de germinación	63
Tabla 8.7. Valores <i>P</i> para la parte aérea de la prueba de primer estadio (longitud)	64
Tabla 8.8. Valores <i>P</i> para la raíz de la prueba de primer estadio (longitud)	64
Tabla 8.9. Valores <i>P</i> para la parte aérea de la prueba de primer estadio (biomasa)	65
Tabla 8.10. Valores <i>P</i> para la raíz de la prueba de primer estadio (biomasa) ..	65

Lista de Ecuaciones

Ecuación 6.1	35
Ecuación 6.2	35
Ecuación 6.3	37
Ecuación 6.4	37
Ecuación 6.5	37

1. Introducción

Las especies vegetales son un componente esencial para la biodiversidad y supervivencia de diversas especies animales, ya que éstos las emplean como hogar y sobretodo como alimento. Se estima que cerca de 7000 especies se utilizan como alimentos (Wilson, 1992, citado por la Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica 2009).

Las plantas proporcionan diversos servicios ambientales, entre los cuales se encuentran, absorción de CO₂, generación de oxígeno, captación de micropartículas, regulación de la temperatura, equilibrio de los ciclos biogeoquímicos; generación y conservación de suelos fértiles (CONABIO, 2009).

Las especies vegetales comestibles han acompañado al hombre en su evolución, ya que éstas fueron su primera fuente alimenticia y hasta la fecha siguen siendo un elemento importante en su alimentación. La biodiversidad de las plantas comestibles favorece a la alimentación humana debido a que cada especie posee diversos nutrientes. Su preservación es de gran importancia ya que de ellas depende la seguridad alimenticia (Collette *et al.*, 2007). Otro tipo de especies vegetales son las plantas ornamentales, cuya producción va en aumento ya que se ha demostrado que benefician el entorno del lugar. Algunos de estos beneficios radican en la humidificación y purificación del aire, captación de polvo, reducción del estrés y causan efectos anímicos y de salud positivos (El comercio, 2016).

Por otra parte, actualmente se están diseñando e innovando diversas tecnologías para mejorar la calidad de vida, para que esto sea posible se están creando nanomateriales con características únicas, los cuales permiten obtener aparatos y sistemas novedosos.

Es así que surgen los nanomateriales, éstos son materiales con estructuras muy diminutas (1 a 100 nm) y con propiedades particulares. La Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) los ha clasificado en cuatro tipos: basados en carbono (nanotubos), basados en metales (nanopartículas de oro, plata y óxidos metálicos), dendrímero (polímeros de tamaño nanométrico) y los compuestos (combinación de nanopartículas) (EPA, citado por Díaz del Castillo 2012).

Dentro de estos últimos materiales se encuentran las redes metalorgánicas, o MOF's (por sus siglas en inglés metal organic frameworks) las cuales son materiales cristalinos formados por la unión de átomos metálicos a través de enlaces orgánicos (Gándara, 2012).

Las redes metalorgánicas tienen varias aplicaciones, entre las cuales se destacan:

- ✓ Almacenamiento de gases, debido a su alto grado de porosidad, en la actualidad se está estudiando la viabilidad de su implementación para el almacenamiento de H_2 y CH_4 con fines energéticos (Gándara, 2012).
- ✓ Separación de gases ya que se pueden diseñar para una adsorción selectiva, las MOF's de este tipo se pueden emplear para la selección de gases contaminantes o nocivos (MacGillivray, 2010).
- ✓ Catalizador heterogéneo (González, 2016).
- ✓ Encapsulador de fármacos, debido a que se pueden sintetizar de acuerdo con las características de la molécula activa (Loera *et al.*, 2012a).

Sin embargo, la importancia de estos materiales y su creciente generación ha provocado dudas sobre la posible toxicidad en el ambiente, ya que carecen de regulación. Una manera común de determinar si un compuesto puede ser dañino son las pruebas de fitotoxicidad.

El presente proyecto tuvo como finalidad evaluar la posible fitotoxicidad de una de las MOF's más estudiada en la actualidad, la HKUST-1 (MOF con centros metálicos de cobre) en dos estructuras diferentes (tridimensional y unidimensional), sobre especies vegetales comestibles y ornamentales de mayor producción en México, entre las comestibles se tienen al maíz (22 069 254 ton), el jitomate (2 838 370 ton), el frijol (1 080 857 ton) y la lechuga (17 094 ton); mientras que en las ornamentales que se reproducen por semilla son el cempaxóchitl (810 ha), la nube (593 ha) y la celosía (500 ha) (INEGI, 2013., SAGARPA, 2009).

2. Antecedentes

Diversos trabajos han evaluado la toxicidad principalmente de nanopartículas sobre especies vegetales, sin embargo, no se han reportado trabajos en donde se evalúe la toxicidad de las MOF's. En la

Tabla 2.1 y Tabla 2.2 se presentan investigaciones realizadas con diferentes especies vegetales y nanopartículas.

Tabla 2.1. Pruebas de fitotoxicidad de nanopartículas realizadas a especies vegetales

Tipo de Nanopartícula	Especie vegetal ensayada	Concentraciones empleadas	Resultados	Referencia
TiO ₂ CeO ₂ Cu (OH) ₂	<i>Clarkia unguiculata</i> (Clarkia elegante)	1, 10 y 100 mgL ⁻¹ (regando con un volumen de 50 ml/semana)	Ce y Ti se encuentran en mayor concentración en las raíces, mientras que el Cu se halla principalmente en las hojas. También se localizaron concentraciones relativamente altas de Ti en los tallos.	(Conway, et al., 2015)
MWCNT* Al ₂ O ₃ (MC2R)** ZnO (MN6Z)*** Al Zn	* <i>Brassica napus</i> (Colza) * <i>Raphanus sativus</i> (Rábano) * <i>Lolium perenne</i> (Ballico) * <i>Lactuca sativa</i> (Lechuga) * <i>Zea mays</i> (Maíz) * <i>Cucumis sativus</i> (Pepino)	2000 mgL ⁻¹ se empleó para todas las especies y materiales. Posteriormente al observar que las nanopartículas de Zn y ZnO causaban mayor daño emplearon 1, 10, 100 y 1000 mgL ⁻¹ de Zn y ZnO en <i>Brassica napus</i> , <i>Raphanus sativus</i> y <i>Lolium perenne</i>	La nanopartícula MWCNT no mostró ninguna diferencia significativa (P<0.05) en comparación al testigo (agua desionizada). La germinación de <i>Zea mays</i> fue inhibida por las nanopartículas de Zn y ZnO a 2000 mgL ⁻¹ . Además, terminó con el desarrollo de las raíces de las otras especies. La nanopartícula Al ₂ O ₃ afectó a <i>Zea mays</i> debido a que redujo en un 35% la elongación de la raíz (p=0.009). La nanopartícula de Al promovió el crecimiento de las raíces de <i>Raphanus sativus</i> (p=0.079) y de <i>Brassica napus</i> (p = 0.036), y significativamente retardo la elongación de las raíces de <i>Lolium perenne</i> (p= 0.026) y <i>Lactuca sativa</i> (p = 0.041).	(Lin & Xing, 2007)

*MWCNT: nanotubos de carbón con multicapas del inglés multi-wall carbon nanotubes. **MC2R abreviatura de nanopartículas de óxido de aluminio <60 nm. ***MN6Z: nombre comercial de nanopartículas de óxido de zinc, con tamaño de partícula y área superficial de 25 ± 5 nm and 50 ± 10 m²/g.

Tabla 2.2 Pruebas de fitotoxicidad de nanopartículas realizadas a especies vegetales. Continuación

Tipo de Nanopartícula	Especie vegetal ensayada	Concentraciones empleadas	Resultados	Referencia
Al₂O₃ SiO₂ Fe₃O₄ ZnO Partículas mayores de ZnO	<i>Arabidopsis thaliana</i> (Arabidopsis)	400, 2000 y 4000 mgL ⁻¹ Posteriormente se emplearon las concentraciones de 50, 100, 150, 200, 250, 500 mgL ⁻¹ de Zn disuelto para un estudio más detallado de su toxicidad.	Las partículas de nZnO inhibieron la germinación de las semillas. El alargamiento de la raíz se vio favorecido por nAl₂O₃ (todas las concentraciones) y nSiO₂ (400 mgL⁻¹). Por otra parte, las partículas de nFe₃O₄ y nZnO ejercieron efectos inhibidores en todas las concentraciones, mientras que en el caso de nSiO₂ fue a 2000 mgL⁻¹ y 4000 mgL⁻¹. En el caso del Zn disuelto se inhibieron el 100% las semillas a la concentración de 500 mgL⁻¹ y la elongación de la raíz se vio afectada por todas las concentraciones.	(Lee <i>et al.</i> , 2010)
AgNPS*	<i>Phaseolus radiatus</i> (Frijol mungo) y <i>Sorghum Bicolor</i> (Sorgo)	Se emplearon 5, 10, 20 y 40 mgL ⁻¹ para la prueba en agar y 200, 400, 600, 800, 1000 y 2000 mgkg ⁻¹ en la prueba de suelo.	Ambas especies se vieron afectadas en el porcentaje de crecimiento conforme aumentaban las concentraciones. En general ambas especies presentaron disminución en el tamaño y cantidad de raíz en comparación con el testigo. El crecimiento de <i>P. radiatus</i> y <i>S. bicolor</i> mostró inhibirse aproximadamente un 20% bajo la exposición de la concentración máxima de 2000 mg kg⁻¹.	(Lee, <i>et al.</i> , 2012)

*AgNPS: nanopartículas de plata, del inglés silver nanoparticles.

3. Justificación

Debido a la creciente producción de las redes metalorgánicas, es importante evaluar sus efectos en el ambiente, ya que estos nuevos materiales no están regulados, por lo que al término de su vida útil pueden representar un potencial riesgo.

El presente proyecto pretendió establecer la pauta para determinar si este tipo de nanomaterial presenta efectos adversos en el crecimiento de especies vegetales destinadas a la producción de alimentos y ornamentales. La importancia de los resultados radica en que la cadena alimenticia inicia en las plantas y éstas tienen diversas funciones que parten desde la producción de oxígeno, asimilación de CO_2 , protección y proporción de nutrientes al suelo, y son la fuente principal de alimentación de los seres vivos.

4. Objetivos

Objetivo general

Evaluar los posibles efectos tóxicos producidos por dos redes metalorgánicas de cobre $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2]$ y $[\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})]$ en especies vegetales.

Objetivos específicos

- Evaluar el crecimiento de las especies vegetales para visualizar las afectaciones generadas por las redes metalorgánicas de Cu.
- Analizar la cantidad de MOF localizada en raíces, tallo y hojas de las especies vegetales cultivadas.
- Comparar estadísticamente las diferencias entre las distintas especies vegetales.

5. Marco teórico

En el presente capítulo se presenta una revisión bibliográfica de los temas asociados a este proyecto. Para comenzar se aborda la temática de la nanotecnología y nanomateriales, la cual abarca información de su clasificación y aplicación. Posteriormente se describe las redes metalorgánicas, en donde se describe su estructura, síntesis, caracterización y aplicaciones. Por último, se explica la importancia de las especies vegetales comestibles y ornamentales, con un énfasis en las especies vegetales ensayadas.

5.1. Nanotecnología y nanomateriales

El término nanotecnología se refiere al estudio, síntesis, desarrollo y aplicación de nuevos materiales y estructuras a nivel nanoescala, éstos reciben el nombre de nanomateriales debido a su diminuto tamaño, el cual puede estar en un intervalo de 1 y 100 nm. Los nanomateriales al estar en nanoescala, presentan propiedades únicas, las cuales proporcionan diversas ventajas, ya que son más ligeros, resistentes y duraderos (Díaz del Castillo, 2012).

5.1.1. Clasificación

La clasificación más utilizada es aquella que hace referencia a su composición, la cual los agrupa en cuatro tipos (Díaz del Castillo, 2012; Sánchez, n.d):

- Basados en carbono: Estos nanomateriales se componen principalmente de carbono y usualmente adaptan formas de esferas huecas, elipsoides y tubos. Estas partículas presentan propiedades importantes en relación a la conductividad eléctrica, dureza y propiedades térmicas. Ejemplo de estos nanomateriales son: fullerenos, nanotubos y grafeno.
- Basados en metales: Este grupo incluye nanopartículas de oro y plata, óxidos metálicos (dióxido de titanio) y puntos cuánticos (sulfuro de cadmio y seleniuro de cadmio).
- Dendrímeros: Estos nanomateriales son polímeros tridimensionales de tamaño nanoscópico contruidos a partir de unidades ramificadas. Debido a su estructura tridimensional, se pueden introducir otras moléculas, lo cual los hace candidatos para ser empleados en catálisis a nanoescala, sensores químicos, encapsulamiento de moléculas y como medios de transporte para fármacos.

- **Compuestos:** Son combinaciones entre diferentes nanopartículas o materiales de mayor tamaño con nanopartículas. Esta combinación tiene la finalidad de crear un material con mejores propiedades.

5.1.2. Aplicación

La aplicación de los nanomateriales varía de acuerdo con el tipo de nanomaterial, ya que cada uno posee propiedades únicas. Además, el empleo de estos implica un riesgo, debido a que se han realizado estudios de las posibles afectaciones de algunos de ellos, en el caso de los nanomateriales de más reciente creación aún no se cuentan con estudios de su posible toxicidad.

Es por ello que en la Tabla 5.1 se muestran las aplicaciones y riesgos de algunos nanomateriales.

Tabla 5.1. Aplicaciones y riesgos de los nanomateriales

Nanomaterial	Aplicación	Riesgos	Referencia
Fullerenos	Lubricantes, superconductores y catalizadores químicos	Son potencialmente tóxicos, ya que estos se adhieren a los tejidos grasos. En el 2004, se demostró que el C ₆₀ induce un estrés oxidante en el cerebro y branquias del pez róbalo.	(Vasilievna y Ortiz, 2002); (Sánchez, n.d)
Nanotubos	Nanocircuitos (interconectores, diodos y transistores), Filtros RF y dispositivos optoelectrónicos	Se ha mostrado que la inhalación de NTC puede causar inflamación pulmonar y fibrosis. Además, en el 2006, se probó que los MWCNT causan inhibición de la proliferación celular y en algunos casos la muerte.	(Díaz del Castillo 2012); (Sánchez, n.d) y (Magrez <i>et al.</i> , 2006)
Grafeno	Transistores, procesadores, pantallas táctiles flexibles, baterías y materiales compuestos.	Las nanoplaquetas de óxido de grafito (GO), presentan acción bactericida. Se concluye que la toxicidad del GO se atribuye al daño mecánico generado en la membrana celular.	(SOPT, 2013); (Sánchez, n.d)
Partículas metálicas (Nanopartículas de plata)	Fabricación de cremas, cosméticos, vendajes e implantes.	Provocan estrés oxidativo y especies reactivas de oxígeno (RES), lo cual posteriormente genera genotoxicidad y citotoxicidad.	(Sánchez, n.d); (Ávalos <i>et al.</i> , 2013)

5.2. Redes metalorgánicas (MOF's)

Las redes metalorgánicas o también conocidas como polímeros de coordinación porosos (PCP's) son un nuevo tipo de material, el cual está constituido por nodos que contienen un elemento metálico y enlaces orgánicos. Lo novedoso de este nanomaterial es que se puede sintetizar con diversas variaciones en su composición, lo cual da como resultado la obtención de diferentes MOF's con distintas aplicaciones y propiedades (Hong-Cai y Kitagawa, 2014).

5.2.1. Estructura

Las MOF's, usualmente presentan estructuras tridimensionales, Figura 5.1. Estos sistemas cristalinos se basan en cavidades, las cuales pueden tener dimensiones moleculares. Comúnmente, estas cavidades tienen dimensiones que se clasifican como microporos (porosidad menor a 2 nm) y mesoporos (porosidad entre 2-50 nm) (González, 2016).

En este proyecto se emplearon las redes metalorgánicas $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2]$ y $[\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})]$, la primera presenta una estructura tridimensional y la segunda una estructura unidimensional.

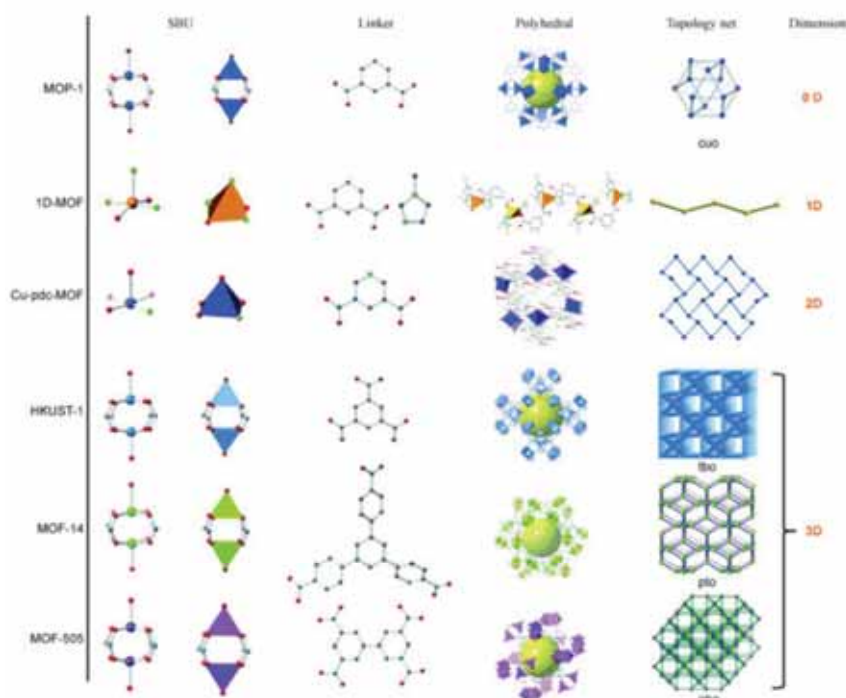


Figura 5.1. Estructura de 6 tipos de MOF's, en la segunda posición se encuentra la MOF $[\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})]$ y en la cuarta posición la MOF $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2]$, tomado de Chen *et al.*, 2015

5.2.2. Síntesis y caracterización

En la actualidad existen siete métodos para la síntesis de las MOF's, los cuales son: mecanoquímica, solvotérmica, difusión en condiciones ambientales, asistido por microondas, empleando ultrasonido y el más reciente secado por atomización (Radha *et al.*, 2014).

En el caso de este proyecto se empleó el método de agitación a presión y temperatura en condiciones ambientales, este método consiste en la disolución de los reactivos empleando agitación, para así, después realizar la precipitación de la red agregando la solución metálica mediante goteo a la disolución que contiene en ligando orgánico (Loera *et al.*, 2012b).

Para conocer las propiedades de los materiales es necesario realizar una caracterización para así determinar su estructura, porosidad, superficie, tamaño y a su vez confirmar la eficiencia de la síntesis. Es por ello que se procedió a realizar la caracterización de las MOF's sintetizadas, la caracterización se realizó mediante difracción de rayos X (DRX) y adsorción de nitrógeno. La técnica de DRX se realizó para determinar la estructura cristalina de las MOF's, mientras que la adsorción de nitrógeno permitió la determinación de las características de porosidad mediante el método BET.

A continuación, se describe el fundamento de las técnicas de caracterización:

- Difracción de rayos X

La difracción de rayos X se presenta cuando un haz de rayos X choca contra la superficie de un cristal formando un ángulo θ y una porción del haz es dispersada por la capa de átomos de la superficie. La porción no dispersada y la que queda pasa a la tercera capa, como se muestra en la Figura 5.2.

El efecto acumulativo de esta dispersión, es producida por los centros, regularmente espaciados por efecto del cristal, y se produce la difracción del haz. De la misma forma que la radiación visible se difracta en una red de reflexión.

Los condiciones para la difracción de rayos X son:

- 1) que el espaciado entre las capas de átomos sea aproximadamente el mismo que la longitud de onda de la radiación y,
- 2) que los centros de dispersión estén distribuidos en el espacio de una manera muy regular (Skoog D. *et al.*, 1992).

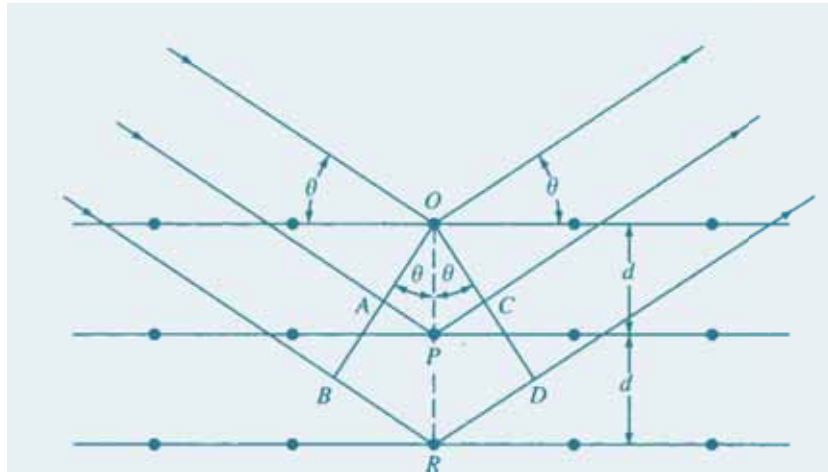


Figura 5.2. Modelo de Bragg que representa la difracción de rayos X producida por un cristal, tomado de Skoog D. *et al*, 1992

Esta técnica ha proporcionado una gran cantidad de importante información a el ámbito de la ciencia y la industria. En la actualidad es de suma importancia en la identificación de estructuras de productos naturales complejos tales como esteroides, vitaminas, antibióticos y materiales porosos como zeolitas, hidrotalcitas, redes metalorgánicas, entre otros. Además, nos da información para la identificación cualitativa de compuestos cristalinos (Skoog D. *et al*, 1992 y Bosch G., *et al.*, 2015).

- Fisisorción de nitrógeno

La adsorción se define como la acumulación de material (denominado adsorbáto) en una superficie, es muy diferente de la absorción, que es un fenómeno de volumen. También se le conoce como la condensación de gases en superficies libres (UCO, n.d).

El fenómeno de la adsorción se presenta en dos diferentes tipos (UCO, n.d):

- Fisisorción: La cual consiste en que la especie adsorbida (fisisorbida) conserva su naturaleza química, no presenta modificaciones en su composición química y estructural. Interactúan las fuerzas de Van der Waals entre las moléculas del adsorbáto y del material adsorbente.
- Quimisorción: Consiste en que la especie adsorbida (quimisorbida) sufre una modificación en su estructura, teniendo una transformación más o menos intensa, para poder dar lugar a una especie distinta.

La adsorción, así como el intercambio iónico, son parte fundamental de numerosas técnicas de caracterización para materiales porosos. La superficie de estos sólidos es considerada una región singular, ya que es la responsable de condicionar muchas de sus propiedades, en la Figura 5.3 se muestra la superficie de un sólido y un sólido con un gas adsorbido donde intervienen las fuerzas de cohesión, que es factor importante en el fenómeno de la adsorción (Kenneth S. *et al.*, 2010).

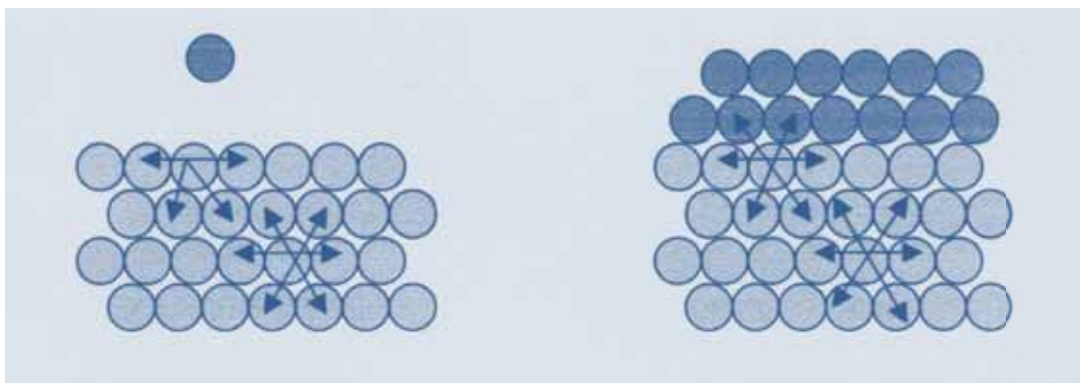


Figura 5.3. Esquema de las fuerzas de cohesión que intervienen en un sólido y en un sólido con un gas adsorbido, tomado de Kenneth S. *et al.*, 2010

- Método BET

El método BET (desarrollado por Brunauer, Emmett y Teller) se utiliza ampliamente para la determinación del área superficial y del volumen de poro de un material con superficie porosa. Se basa en la formación de monocapas (llenado de los primeros sitios activos), terminando de llenar la monocapa, se procede a la formación de multicapas (Kenneth S. *et al.*, 2010).

Existe una gran variedad de adsorbátos, que se utilizan para el fenómeno de la adsorción, entre los más utilizados están el N_2 , O_2 , Ar, Kr, CO_2 y algunos hidrocarburos como el benceno, alcanos y alcoholes de cadena corta.

En este caso, la adsorción de N_2 es la que más se utiliza ampliamente, una de sus características principales es que cubre todo el rango de porosidad y que el N_2 interacciona débilmente con la mayoría de los sólidos. Se ha convertido en el método estándar y de uso general para el análisis de tamaño de poros en materiales microporosos y mesoporosos. En la actualidad, es cada vez más habitual el uso de otro adsorbtivo complementario al N_2 para una mejor caracterización del material (Fairén J., 2010).

5.2.3. Aplicaciones

Debido a sus diversas variantes, las redes metalorgánicas son candidatas para varios procesos, entre los cuales se tienen (Radha *et al.*, 2014):

Aplicaciones de sorción:

- Almacenamiento y separación de gases: Debido a su alta porosidad y área superficial son considerados como los nuevos adsorbentes, además se cuenta con la ventaja de que se puede designar el tamaño de poro.
- Almacenamiento y separación de hidrógeno: La importancia de esta aplicación radica en que el hidrógeno es uno de los más importantes combustibles alternos, ya que cuenta con una alta densidad de energía, no produce contaminantes y se encuentra en abundancia. Considerando lo anterior se experimentó con la MOF-5, donde se logró adsorber 10% en peso a 10 bar, es decir, 66 g/L.
- Almacenamiento de metano: Actualmente el metano se almacena como gas comprimido, lo cual genera altos costos, debido a la presión que se tiene que mantener y el tipo de contenedor que se emplea. El Departamento de Energía de los Estados Unidos ha fijado la meta de buscar nuevos materiales que almacenen el metano a $180 \text{ v/v}_{(\text{stp})}^1$ por debajo de 35 bar y a una temperatura ambiente, esto es con el objetivo de emplearse en vehículos.
La MOF-PCN-14, se sintetizó para la captación de CH_4 , la cual tiene diversos nanoporos, se estima que tiene un área superficial de Langmuir de $2176 \text{ m}^2/\text{g}$ y un volumen de poro de $0.87 \text{ cm}^3/\text{g}$. Además, tiene una capacidad absoluta de metanoadsorción de $230 \text{ v/v}_{(\text{stp})}$, lo cual significa un 28% más de lo que establece el Departamento de Energía de los Estados Unidos.
- Captura de dióxido de carbono a partir del gas: Esta aplicación radica en la separación del CO_2 de los gases de combustión, esto es con la finalidad de mitigar el calentamiento global. Yazaydin y colegas experimentaron con diversos tipos de MOF's y obtuvieron que las MOF's Mg-MOF-74 y Ni-MOF-74, tienen las mayores capacidades de adsorción de CO_2 a 0.1 atm y 298 K, ya que para M-MOF-74 se tuvo 5.95 mol/kg y para Ni-MOF-74 4.07 mol/kg.

¹ Condiciones estándar de temperatura y presión (STP por sus siglas en inglés), las cuales son 273.15 K y 1 bar.

- Remoción de gases dañinos: La creciente emisión de gases dañinos ha despertado una preocupación, por lo que se está buscando la implementación de nuevas tecnologías para el control de estos gases y así disminuir sus afectaciones en la salud y el ambiente. En el 2008, Tranchemontagne y colegas experimentaron con 6 MOF's (MOF-5, IRMOF-3, MOF-74, MOF-177, IRMOF-62 y MOF-199) para evaluar su rendimiento de adsorción de 8 gases dañinos (dióxido de azufre, amoníaco, cloro, tetrahidrotiofeno, benceno, diclorometano, óxido de etileno y monóxido de carbono), como comparativo se empleó carbono BPL. Para el caso de la MOF-199 supera al carbono BPL en todos los gases, con excepción del cloro. Mientras que la MOF-74 y el IRMOF-3, superan la remoción del dióxido de azufre y amoníaco respectivamente.

Catálisis heterogénea:

- Encapsulamiento de especies activas: La encapsulación de especies activas como los complejos metálicos o nanopartículas de metal en los poros de las MOF's, generan un mayor volumen de poro, los cuales sirven para acomodar moléculas huésped de las especies catalíticas. Ejemplo de esto es a MOF-5, la cual se sintetiza para encapsular platino, nanopartículas de paladio, cobre y oro, con fines de catálisis.

Aplicaciones de sensores:

- Sensores MOF basados en la piezo-resistividad: Los sensores basados en MOF's piezo-resistivos son dispositivos de detección para moléculas de gas y moléculas orgánicas diminutas. Esta propiedad es posible gracias al efecto de respiración, es decir, el material se contrae y expande al incorporarse moléculas en los poros. De este modo las MOF pueden emplearse para la identificación y cuantificación de algunos elementos.

5.3. La importancia de las especies vegetales en el mundo

Las especies vegetales son un componente esencial de la red trófica, ya que la mayoría de las cadenas alimenticias tienen como punto de origen a las plantas.

Asimismo diversos tipos de plantas tienen una gran importancia económica, debido a que son empleadas como alimento, medicina, combustible y materias primas para producir telas. Además, consumen CO₂ y producen oxígeno, mantienen los suelos fértiles, regulan la temperatura y proporcionan un hábitat para coexistir con los animales (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2009).

Se estima que aproximadamente 7,000 especies vegetales han sido empleadas como alimento, pero sólo 200 han sido domesticadas y 12 de estas son indispensables para la alimentación del hombre: maíz, arroz, trigo, camote, caña de azúcar, haba, mijo, yuca, papa, plátano, sorgo y soya, ya que de ellas depende el 75% de la humanidad (Universidad Veracruzana, n.d).

En la Figura 5.4 se muestra un puesto de la central de abastos de la Ciudad de México, el cual es considerado el principal abastecedor de frutas, verduras, legumbres y hortalizas.



Figura 5.4. Central de Abastos de la Ciudad de México principal comercio de frutas, verduras, legumbres, hortalizas, flores, semillas, cárnicos y abarrotes, tomado del Diario Hoy Estado de México, 2015

También se considera que la mitad de los alimentos ingeridos por el hombre son generados principalmente del arroz, trigo y maíz. Asimismo más del 40% de las medicinas son derivados de las plantas, en algunos casos estas se emplean

directamente, como lo son las plantas medicinales (remedios caseros) y otras sufren transformaciones mediante procesos fisicoquímicos (FAO, 1996).

5.3.1. Especies vegetales comestibles

Las especies vegetales comestibles o plantas alimenticias son aquellas que son cultivadas por el hombre con la finalidad de ser ingeridas en forma de condimentos, cereales, legumbres, frutas y verduras.

Estas se clasifican en plantas alimenticias primarias y complementarias, las primeras están conformadas por legumbres (garbanzos, frijol, lentejas, por mencionar algunas) y gramíneas (arroz, avena y trigo) las cuales son de consumo indispensable, mientras que las complementarias se producen acorde a la estación del año y estas varían de acuerdo con la zona (Barrera, 2014).

La importancia de estas especies radica en su aportación nutrimental, ya que se encuentran ubicadas en los 3 grupos de alimentos que clasifica la NOM-043-SSA2-2005 (SSA, 2006):

- Verduras y frutas: Son fuente de carotenos, vitaminas (A y C), minerales (hierro y zinc), ácido fólico y fibra dietética, los cuales ayudan al correcto funcionamiento, crecimiento y desarrollo del cuerpo humano.
- Cereales y tubérculos: Son principales aportadores de energía y fibra dietética.
- Leguminosas y alimentos de origen animal: Proporcionan proteínas, las cuales son indispensables para la formación y recuperación de tejidos.

En la Figura 5.5 se muestra el plato del bien comer, el cual es una representación gráfica de los 3 grupos de alimentos y tiene como objetivo facilitar la elección y consumo de los alimentos (Yakult, n.d).



Figura 5.5. Plato del bien comer tomado de Yakult, n.d

5.3.1.1. Característica del maíz

El maíz es una planta de gran importancia económica, debido a que se emplea como alimento, forraje y como materia prima de productos industriales. Aproximadamente el 40% del maíz generado en las zonas tropicales serán destinadas para el consumo de ganado y granjas avícolas (Paliwal, 2001, citado por Sánchez I. 2014).

El maíz (*Zea mays* L.) pertenece a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu *Maydeay*, es la única especie cultivada de este género. El teocintle y las especies del género *Tripsacum*, conocidas como arrocillos o maicillo, son parientes salvajes de *Zea mays*. El teocintle se emplea como forraje, pero en el caso del *Tripsacum* no tiene valor económico (Acosta, 2009).

En la Tabla 5.2 se describen las partes que conforman la planta de maíz.

Tabla 5.2. Descripción de las partes del maíz (Argüello, n.d)

Parte	Descripción
Raíces	Es de color blanca y brota con fuerza, penetra fibrosa en el suelo y absorbe los nutrientes.
Tallo	Presenta coloración verde, de forma cilíndrica y cuenta con una médula esponjosa por donde transita la savia.
Hojas	Crece en cada nodo de manera alternada, son de color verde y forma lanceolada.
Floración	Las flores son de color rojizo y se dividen en dos: espiga (parte femenina) y panículo (parte masculina), en las cuales se realiza la fecundación.
Semilla	Se obtiene de la mazorca y son de color amarillo.

En la Figura 5.6 se muestra la fisiología del maíz (*Zea mays*), en la cual se puede visualizar la distribución de su raíz, el acomodo de las hojas y la forma de la espiga masculina y femenina.

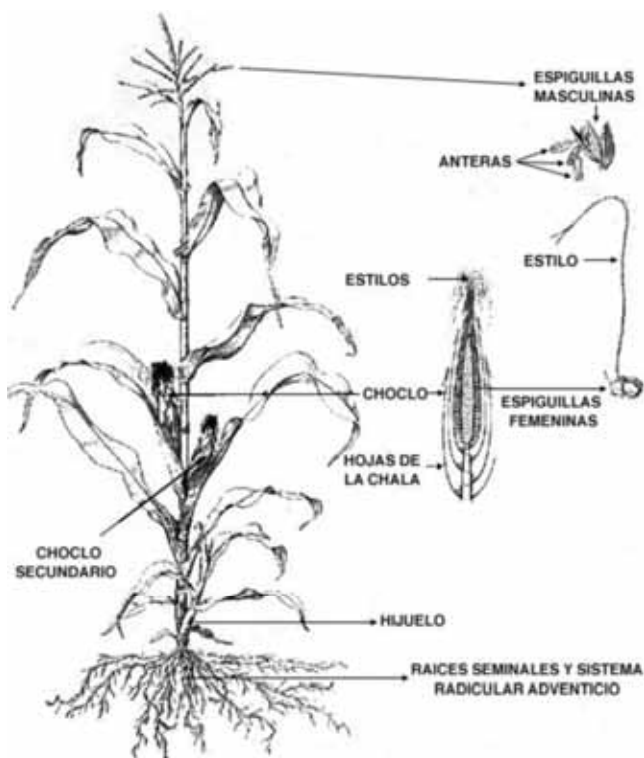


Figura 5.6. Partes del maíz, tomado de Imagui, n.d

5.3.1.2. Característica del frijol

Los frijoles (*Phaseolus sp.*) pertenecen a la familia de las leguminosas (*Leguminosae* o *Fabaceae*). También se les conoce como poroto, alubia, fréjol, caraota y judía. Actualmente se conocen cerca de 150 tipos de frijoles, de los cuales 50 se producen en México (CONABIO, 2012a). En la Figura 5.7 se observan sembradíos de frijol ubicados en el estado de Zacatecas.



Figura 5.7. Plantaciones de frijol en Zacatecas, tomado de NTR, 2013

El frijol ocupa el segundo lugar en importancia nacional, debido a su alto aporte de proteínas es un elemento básico para la alimentación de los mexicanos. Además, el frijol es rico en vitaminas del complejo B (niacina, ácido fólico, tiamina y riboflavina), minerales (hierro y calcio) y fibra (Sangerman *et al.*, 2010).

En la Tabla 5.3 se presentan algunas características del frijol.

Tabla 5.3. Características del frijol (Isely, 1990, citado por Vibrans *et al.*, 2009a)

Característica	Descripción
Forma de vida	Planta de vida corta, enredadera que puede crecer en espiral (para ello requiere de un soporte), o erecta en forma de arbusto.
Tamaño	En forma de enredadera logra alcanzar 3 m de altura, mientras que en arbusto llega hasta 40 cm.
Hojas	Crecen alternadas, son pecioladas (compuestas con 3 hojas) y de forma ovada y rómbica.
Flores	Favorecen el mecanismo de autopolinización, pueden ser de color blanco, rosa y amarillo (dependiendo la especie).
Semillas	Globosas y variables.
Fenología	Florece de octubre a noviembre y fructifica de diciembre a mayo.

5.3.1.3. Característica de la lechuga

La lechuga es una especie anual y autógama (autofecundación), la cual pertenece a la familia *Asteraceae* y su nombre científico es *Lactuca sativa* L. En la actualidad ha ido incrementando el cultivo de esta especie, debido a su gran variedad y al creciente interés en los alimentos de la cuarta gama (hortalizas, verduras y fruta empaquetadas), ya que es un elemento primordial de este grupo (AgroEs, n.d).

Se observa en la Figura 5.8 una variedad de productos de la cuarta gama, su consumo ha ido en crecimiento debido a su fácil preparación.



Figura 5.8. Mostrador que oferta alimentos de la cuarta gama, tomado de Sociedade Nacional de Agricultura, 2015

La lechuga aporta pocas calorías, debido a su alto contenido de agua (90-95%) y su baja cantidad de hidratos de carbono. Con respecto a su contenido en vitaminas se tiene ácido fólico, vitamina E, tiamina, vitamina C y provitamina A (β -carotenos), éstas dos últimas con la función de antioxidantes, las cuales favorecen la prevención de enfermedades cardiovasculares. Mientras que en minerales proporciona potasio, magnesio, fósforo, hierro y calcio (EROSKI, 2005).

A continuación en Tabla 5.4 se muestran las características de las partes de la lechuga.

Tabla 5.4. Descripción de las partes de la lechuga (InfoAgro, n.d1)

Partes	Descripción
Semillas	Dotadas de un vilano plumoso (cuando comienzan a germinar se presentan pelitos en la radícula).
Raíz	Raíz axonomorfa, corta y con ramificaciones.
Tallo	Cilíndrico y ramificado.
Hojas	Hojas basales rosetadas desplegadas (situadas en la base de la planta con disposición circular), en algunos casos estas se acogollan (cubren).
Inflorescencia	Son capítulos florales amarillos organizados en racimos o corimbos.

En la Figura 5.9 se presentan las cinco etapas que se consideran en el crecimiento de la lechuga.

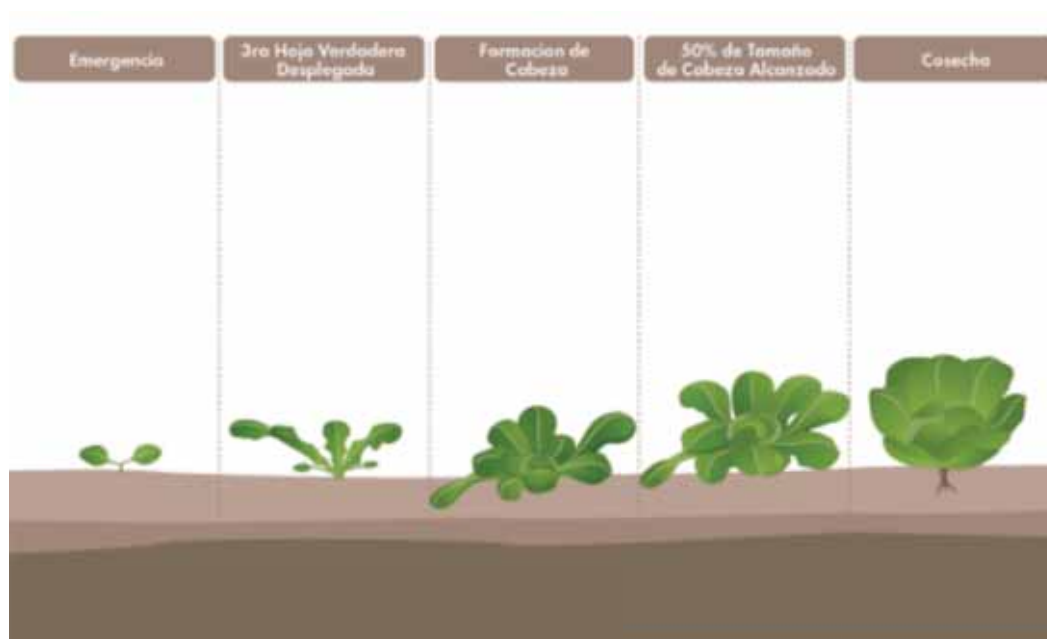


Figura 5.9. Etapas de crecimiento de la lechuga, tomado de SQM, n.d

5.3.1.4. Característica del jitomate

El jitomate (*Solanum lycopersicum*) también conocido como tomate rojo, es una especie perenne (perdurable), la cual pertenece a la familia *Solanaceae*. Esta planta es originaria de América del Sur (Ecuador, Bolivia, Perú y Chile), su domesticación se realizó en México (CONABIO, 2012b).

Cabe destacar que el jitomate mexicano, es una de las hortalizas de mayor demanda a nivel nacional e internacional, debido a esto se ha incrementado un 50% su producción, ocupando el segundo lugar en producción de hortalizas (Hidroponia.mx, 2015).

En cuanto a su aporte nutrimental, se tienen vitaminas (A, B1, B2, C y E), minerales (potasio, calcio, fósforo, hierro y magnesio) y sales orgánicas (malatos y citratos), los cuales contribuyen a una buena digestión. Además tiene un alto contenido de licopeno, un antioxidante que ayuda a prevenir el cáncer de próstata (NCAGR, n.d).

En la Tabla 5.5 se describen las partes del jitomate.

Tabla 5.5. Descripción de las partes del jitomate (FloresyPlantas.net, n.d)

Partes	Descripción
Raíz	La raíz principal es corta y débil, mientras que las raíces secundarias son más resistentes.
Tallo	Cuenta con un tallo principal, el cual tiene un grosor entre 2-4 cm, sobre este se desarrollan las hojas, inflorescencia y tallos secundarios.
Hojas	Son alternadas, están compuestas por folíolos peciolados, lobulados y con borde dentado.
Flores	Consta de 5 o más sépalos, con pétalos de color amarillo, colocados de forma espiralada y con mecanismo de autofecundación.

En la Figura 5.10 se muestra la fisiología de la planta de jitomate, la cual esta descrita en cuatro niveles.

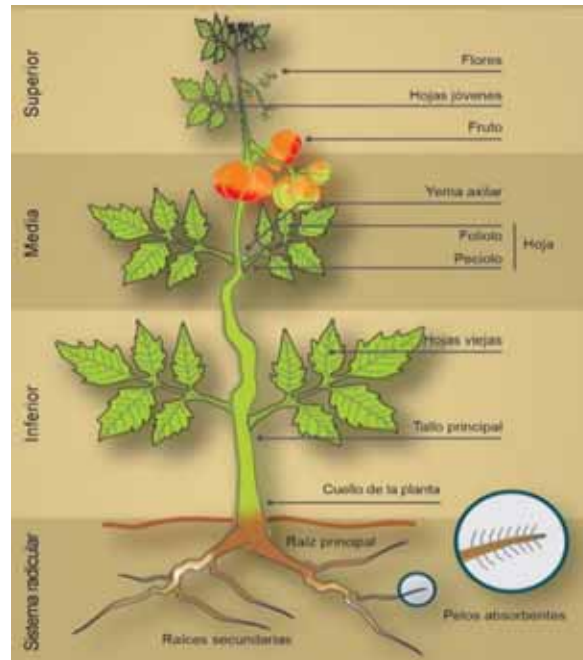


Figura 5.10. Fisiología de la planta de jitomate, tomado de Flores *et al.*, 2012

5.3.2. Plantas ornamentales

Las plantas ornamentales son aquellas que tienen la finalidad de adornar los entornos (hogares, oficinas, escuelas, hospitales, jardines, parques, entre otros) y así causar una satisfacción visual. Estas especies son importantes para mejorar la calidad de vida y a su vez favorecer el ambiente, ya que absorben CO₂, producen oxígeno, mantienen húmedo el aire, captan polvo y compuestos volátiles (Diario Digital RD, 2007).

Estas funciones benefician la salud de las personas, dado que reducen los niveles de estrés, incrementan la concentración, mejoran la memoria, aumentan la autoestima y la sensación de bienestar (Rossi, n.d).

En la Figura 5.11 se muestra el jardín botánico del parque Xochitla, el cual en el 2003 se ha dado a la tarea de identificar la flora nativa de los alrededores con potencial ornamental y promover su propagación (Fundación Xochitla, n.d).



Figura 5.11. Jardín botánico del parque Xochitla, el cual cuenta con una colección de plantas silvestres con potencial ornamental, tomado de Fundación Xochitla, n.d

En la actualidad se están empleando las plantas ornamentales para rescatar los espacios públicos, tales como parques y jardines, esto es con la finalidad de que la población los encuentre atractivos y confortables. Ejemplo de esto es el Camellón del Río Mixcoac, Parque del Mestizaje, Paseo de los Compositores y el Parque Bicentenario.

5.3.2.1. Característica del Cempaxóchitl

La flor de cempaxóchitl o también llamada flor de muertos, pertenece al género *Tagetes erecta*, es una especie de la familia *Asteraceae*, la cual es endémica de América. En México se encuentran 35 especies de las 58 existentes (Hidroponia.mx, 2014).

Actualmente, la flor de cempaxóchitl es el principal elemento en la decoración de la festividad de día de muertos, ya que se cree que guarda los rayos del sol y sirve para guiar a los difuntos. Es por esto que se emplea para adornar las tumbas y ofrendas, un ejemplo de lo anterior se puede visualizar en la Figura 5.12.



Figura 5.12. Altar de día de muertos, tomado de Famososexpress, n.d

Sin embargo, debido a sus características también se emplea en los sectores de la agricultura (repele los nematodos), avícola (se emplea como pigmento natural en el alimento de las gallinas) y salud (se usa contra padecimientos digestivos) (Significados.com, n.d).

A continuación en la Tabla 5.6 se muestra la descripción de los componentes del cempaxóchitl.

Tabla 5.6. Descripción de las partes de la flor de cempaxóchitl (Vibrans y Mondragón, 2009b)

Parte	Descripción
Semillas	Aquenios lineares (7-10 cm de largo)
Raíz	Fibrosa
Tallo	Estriado, en ocasiones puede ser liso (glabro) o con vello (pubescente).
Hojas	Opuesta en la parte inferior, alternadas en la parte superior, pinnadas (foliolos numerosos), pueden medir hasta 20 cm de largo.
Flores	Cabezuela con forma campanulada de coloración naranja y amarilla.

5.3.2.2. Característica de la celosía

La celosía (*Celosía argentea* var. *cristata*), es una planta anual, la cual pertenece a la familia de las *Amaranthaceae*, también es llamada cresta de gallo, abanico y penacho en España, mientras que en México se conoce como flor de terciopelo (Elicrisol n.d).

Es una planta originaria de Asia y África ecuatorial, esta especie se utiliza principalmente con fines ornamentales debido a su atractiva inflorescencia. Sin embargo en África y Asia se emplea como un alimento tradicional, ya que se comen las hojas y flores (Yarger, 2007).

En México esta especie se emplea con el propósito ornamental, debido a que tiene una alta durabilidad una vez cortada, es utilizada en las florerías para realizar arreglos y su mayor consumo se refleja en la festividad de día de muertos, ya que es un complemento decorativo.

En la Figura 5.13 se observa un cargamento de celosía y cempaxóchitl, el cual se dispone a distribuir las flores en los mercados o florerías.



Figura 5.13. Camionetas cargadas con cempaxóchitl y celosía, las cuales se ofertarán en los mercados o florerías para la festividad de día de muertos, tomado de Poblanerías.com, 2015

La fisiología de la celosía de muestra en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7. Partes y descripción de la fisiología de la flor de celosía (Botanic Serrat, 2016)

Partes	Descripción
Raíz	Raíz pivotante y sensible a daños.
Tallo	Erecto, crece entre 40-60 cm.
Hojas	Crecen alternadamente, de forma lanceolada y coloración verde, la cual tiende a enrojecer en otoño.
Inflorescencia	Densa, con aspecto plumoso, la cual puede ser de coloración amarilla, naranja, roja y rosa.
Semillas	Son de coloración negra y de tamaño diminuto

5.3.2.3. Característica de la nube

La nube (*Gypsophila paniculata*) es una especie perenne, originaria de Europa y el centro de Asia, la cual se produce con fines ornamentales debido a su valor decorativo, siendo cultivada como flor de corte. Se conoce comúnmente como paniculata, velo de novia o gipsófila, pertenece a la familia *Cariophyllaceae* (Infojardín, n.d).

La nube se utiliza tradicionalmente como complemento de arreglos y ramos de flores, principalmente de las rosas, esto es debido a que la mayor parte del año esta especie florece y se encuentra disponible, en la Figura 5.14 se muestra un arreglo floral.



Figura 5.14. Arreglo floral complementado con nube, tomado de Pinterest, n.d

A continuación, en la Tabla 5.8 se detalla la fisiología de la flor de nube.

Tabla 5.8. Descripción de las partes de la flor de nube (InfoAgro, n.d2)

Parte	Descripción
Semilla	Son de tamaño diminuto y tonalidad negra.
Raíz	Su sistema radicular crece verticalmente y tienden a ser robustas.
Tallo	Son erectos, los cuales pueden alcanzar una altura de 1 m.
Hojas	Son opuestas, lanceoladas y crecen aproximadamente 7 cm.
Flor	Pueden ser de color blanco o rosa de acuerdo con la especie y se disponen en panícula amplia.

5.4. Toxicidad

La toxicología es aquella ciencia que se encarga del estudio de los mecanismos de absorción, identificación y cuantificación de los efectos adversos relacionados a la exposición a sustancias químicas y agentes físicos, lo anterior sirve para determinar la toxicidad de las sustancias evaluadas (Peña *et al.*, 2001).

Además, se entiende por efecto tóxico a aquellas fallas en el funcionamiento habitual del organismo producido por la exposición a sustancias y agentes tóxicos (Peña *et al.*, 2001).

Para determinar el grado de toxicidad de un elemento es necesario realizar pruebas en seres vivos, para ello se emplean animales, microorganismos y especies vegetales, la finalidad de estas pruebas es determinar las posibles afectaciones, el tipo y la dosis de exposición.

En estas pruebas, un principio fundamental es la relación entre de la dosis y la reacción de los organismos ensayados, ya que existirá una concentración en la cual no habrá respuesta alguna, debido a que en dosis menores puede presentarse inocuidad e inclusive favorecer el crecimiento o desarrollo de la especie expuesta, mientras que las dosis elevadas pueden ser tóxicas (Parada R., 2016).

En la Figura 5.15 se muestra la relación dosis-efecto anteriormente descrita en una gráfica.

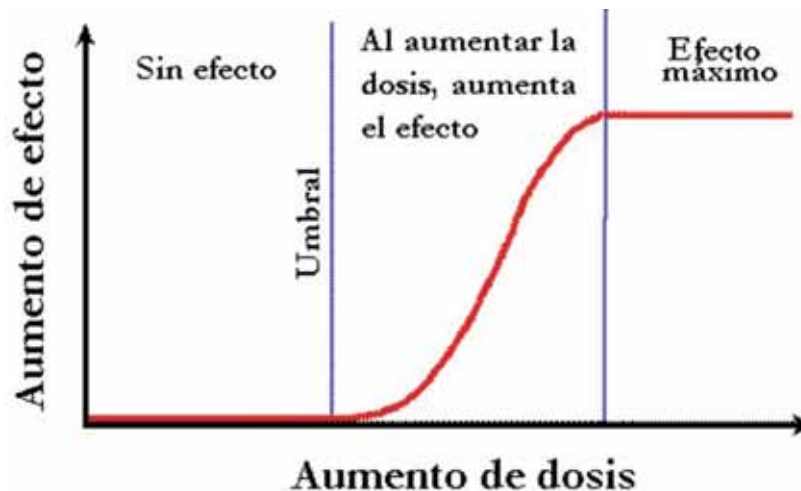


Figura 5.15. Curva del comportamiento dosis-efecto, tomado de Parada R., 2016

De allí la frase celebre del suizo Theophrastus Phillippus Aureolus Bombastus von Hohenheim o mejor conocido como Paracelso *“Todas las sustancias son venenos; no existe ninguna que no lo sea. La dosis diferencia a un veneno de una medicina.”*

5.4.1. Pruebas de toxicidad en semillas

La toxicidad en especies vegetales, se denomina fitotoxicidad, la cual se define como la presencia de sustancias o agentes, los cuales perjudican el crecimiento y desarrollo vegetal.

La importancia de estas pruebas radica en la determinación de los efectos letales de los contaminantes en las especies vegetales, debido a que esto afecta significativamente la producción de alimentos y la interacción de los ecosistemas (Cuevas *et al.*, n.d).

En los bioensayos de toxicidad en semillas se evalúan los efectos adversos de las sustancias o agentes químicos en la etapa de germinación (crecimiento de la radícula e índice de germinación), durante los primeros días de crecimiento. Esto es con el objetivo de determinar la inhibición en la germinación y en la elongación del hipocótilo y la radícula (Sobrero M. y Ronco A., 2004).

La Figura 5.16 muestra un esquema de la morfología de la semilla y plántula de la lechuga, en el caso de la plántula se divide en dos partes: el hipocotilo y la radícula.

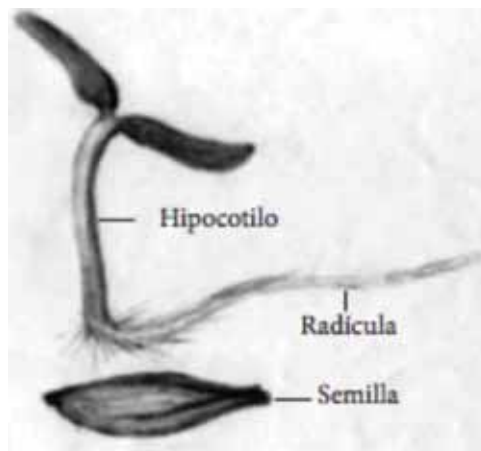


Figura 5.16. Morfología de la semilla y plántula de la lechuga, tomado de Sobrero M. y Ronco A., 2004

5.4.2. Pruebas de toxicidad en plantas

Estas pruebas tienen la finalidad de determinar los efectos potenciales de las sustancias químicas sobre el crecimiento y desarrollo de las plántulas, a diferencia de la prueba en semillas, este estudio proporciona un análisis más detallado, ya que se monitorean las especies vegetales durante 14 a 21 días, lo cual permite obtener una evaluación visual (clorosis, necrosis, marchites y deformaciones) de las afectaciones, así como un mayor número de resultados (elongación de la raíz, altura de los brotes, generación de biomasa seca y húmeda, entre otros) (OECD, 2006).

Actualmente se emplea la Guía 208, publicada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, por sus siglas en inglés), en la cual se describen los pasos que se deben cumplir para la realización de estas pruebas.

5.4.3. Estudios de caso (toxicidad de nanomateriales en las plantas)

En la Tabla 5.9 y Tabla 5.10 se presentan los resultados de la fitotoxicidad de algunos nanomateriales, cabe destacar que hasta el momento no se ha reportado la fitotoxicidad de las MOF's.

Tabla 5.9. Efectos tóxicos de nanomateriales en diversas especies vegetales (Siddiqui *et al.*, 2015)

Nanomaterial	Tamaño [nm]	Especie vegetal ensayada	Concentraciones empleadas [mg/L]	Resultados
SWCNT	1.19	Arroz	400	Floración tardía
MWCNT	-	Calabacita	1000	Reducción de la biomasa (38%)
C ₆₀ (OH) ₂₀	1.12-1.74 15.69-24.36	Allium (cepa de la célula)	10 100	Daño en las células vegetales
C ₇₀ (C(COOH) ₂) ₄	-	Arabidopsis	100	Raíces retrasadas, con longitud acortada y pérdida del gravitropismo radicular
Ag _(citrate-coated)	11±0.7	Maíz	73.4	Inhibición en la germinación
CuNPS	50	Calabacita	1000	Reducción en el crecimiento de las raíces
CuO	<100	Rábano	10, 100, 500 y 1000	Daño oxidativo al ADN y se generó inhibición en el crecimiento de las raíces

Tabla 5.10 (Continuación). Efectos tóxicos de nanomateriales en diversas especies vegetales (Manzer H., *et al.*, 2015)

Nanomaterial	Tamaño [nm]	Especie vegetal ensayada	Concentraciones empleadas [mg/L]	Resultados
SiNPS	50	Arabidopsis	250 y 1000	Reducción en el diámetro de la roseta, biomasa y longitud del vástago
Fe ₃ O ₄ NPS	<50	Arabidopsis	400, 2000 y 4000	Reducción en el crecimiento de la raíz
AuNPS (-)	3.3	Planta de tabaco	48	Lesiones necróticas observadas a los 14 días
NiO	23.34	Jitomate	25, 50, 100, 200, 500, 1000, 1500 y 2000	Reducción de la longitud de la raíz
CeO ₂	7	Maíz	500, 1000, 2000 y 4000	Reducción del crecimiento de los brotes (30%) en las primeras tres concentraciones, mientras que para 4000 mg/L se presenta una reducción del crecimiento de las raíces
		Jitomate	2000	Reducción del crecimiento de los brotes (30%)
		Alfalfa	1000 y 2000	Crecimiento de brotes ligeramente reducido
		Pepino	2000	Reducción del crecimiento de los brotes (20%)

6. Metodología

La síntesis de las MOF's se realizó en el Laboratorio del Área de Química de Materiales y las pruebas de fitotoxicidad se efectuaron en el invernadero II del Área de Tecnologías Sustentables, ubicados en el edificio W, de la UAM-A. En la Figura 6.1 se muestran los factores que fueron evaluados, así como las variables de respuesta.

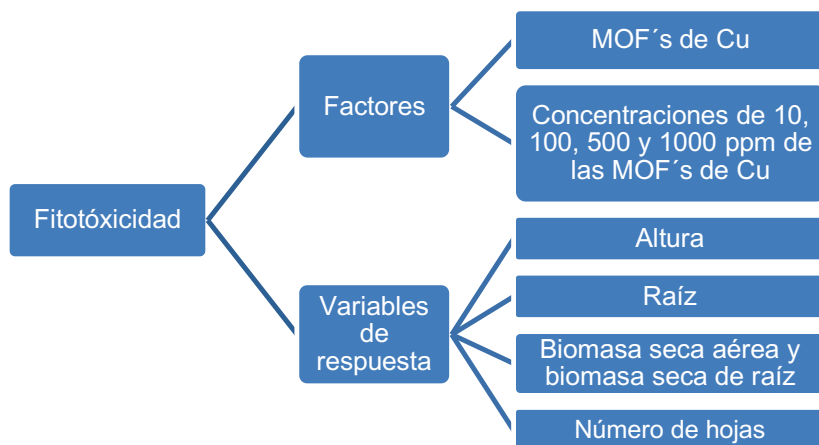


Figura 6.1. Diseño de experimentos

Además, se registró la presencia de: clorosis, marchitamiento, deformaciones, necrosis y supervivencia de las especies vegetales.

En la Figura 6.2 se presenta el diagrama de proceso de la metodología que fue aplicada.

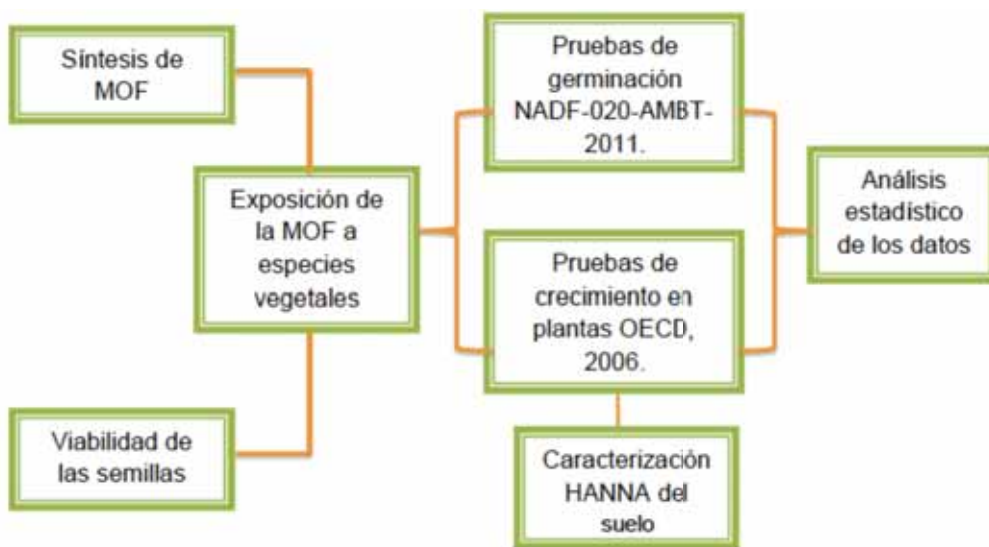


Figura 6.2. Diagrama de proceso

6.1. Síntesis de la MOF $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$

Se pesó 0.5 g del ligante orgánico ácido 1, 3, 5 bifenil tricarboxilato (BTC) y se agregó a 100 mL de agua desionizada donde se agitó hasta su completa disolución. Se pesó 0.8622 g de nitrato de cobre ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$) y se disolvió en 50 mL de etanol, una vez disuelta la solución se adicionó gota a gota al ligante dejando en agitación durante 12 horas para la formación de la MOF.

Posteriormente la solución se colocó en tubos para centrifugar en el equipo Hettich a 55 rpm durante 30 minutos. Una vez separado el líquido del sólido, éste se dejó secar en la estufa a 50°C durante 12 horas (Loera *et al.*, 2013).

6.2. Síntesis de la MOF $\text{Cu}_2[(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})]$

La síntesis de esta MOF se realizó de la misma forma que la MOF 3D, pero cambiando la forma de secado. Se pesó 0.5 g del ligante orgánico BTC y se agregó a 100 mL de agua desionizada donde se agitó hasta su completa disolución. Se pesó 0.8622 g de nitrato de cobre ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$) y se disolvió en 50 mL de etanol, una vez disuelta la solución se adicionó gota a gota al ligante dejando en agitación durante 12 horas para la formación de la MOF.

Posteriormente la solución se colocó en tubos para centrifugar en el equipo Hettich a 55 rpm durante 30 minutos. Una vez separado el líquido del sólido, éste se dejó secar en la estufa a 100°C durante 2 horas (Loera *et al.*, 2013).

6.3. Caracterización de la MOF's

Mediante DRX se confirmó la formación de las estructuras de $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ y $[\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})]$. Los difractogramas se obtuvieron con un difractómetro Philips X'PERT PRO acoplado a un tubo con ánodo de cobre. Se seleccionó la radiación K_α con un monocromador de haz incidente ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$), con un tamaño de paso de 0.01° . El voltaje de operación del tubo fue de 45 kV y la intensidad de corriente fue de 40 mA.

El área superficial de las MOF's fue determinada utilizando el método BET, con N_2 líquido a 77 K y un rango P/Po de 0.05 - 0.3, utilizando un equipo BELSORP-MAX (BEL JAPAN). Las muestras fueron pre-tratadas a 100 °C durante 12 h, en flujo de nitrógeno, previamente a los estudios de adsorción.

6.4. Caracterización del suelo de jardín

Para las pruebas se empleó un suelo de jardín proveniente del municipio de Tepotzotlán ubicado en el Estado de México (19°43'11" N, 99°13'25" O). Este suelo se caracterizó empleando el Kit HANNA®, el cual consistió en una prueba colorimétrica cualitativa de macronutrientes (nitrógeno, potasio y fósforo) que contiene el suelo.

El suelo se tamizó con un tamiz del número 10 (2 mm de poro) y se dejó secar por 8 días. Posteriormente se realizó una solución patrón, para esto se agregaron 6 cucharaditas del suelo y 7.5 ml de la solución extractora a un tubo de ensayo. Se agitó durante 1 minuto y se dejó reposando 5 minutos.

Para la prueba de nitrógeno y fósforo, se agregó a cada tubo de ensayo 2.5 ml de la solución patrón y su respectivo sobre (nitrógeno y fósforo). Enseguida se agitó por 30 segundos y se dejó reposar 30 segundos. Después se efectuó la lectura de color.

Finalmente, para la prueba de potasio se vertió 0.5 ml de solución patrón, 2.5 ml de solución extractora y el sobre de potasio (K), después de mantuvo en agitación por 30 segundos y se dejó reposar 30 segundos, transcurrido este tiempo se efectuó la lectura de color (HANNA instruments, n.d).

6.5. Determinación de materia orgánica

Se empleó el método de Walkley y Black, el cual consiste en una oxidación húmeda del carbono orgánico contenido en el suelo. Esta prueba se efectuó por triplicado (SEMARNAT, 2002).

Se pesó 0.25 g del suelo previamente tamizado y seco, posteriormente se adicionó 10 mL de dicromato de potasio 1N ($K_2Cr_2O_7$), procurando que hubiese contacto con el suelo. Después se agregó 20 mL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y se dejó reposar por 30 minutos.

Posteriormente se añadió cuidadosamente 200 mL de agua desionizada, 5mL de ácido fosfórico concentrado (H_3PO_4) y 10 gotas del indicador de difenilamina.

Finalmente se tituló con sulfato ferroso 1M ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) hasta obtener un vire a color verde claro.

Para la determinación de materia orgánica se emplearon las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{C orgánico} = \frac{B-T}{g} (N)(0.39)(mcf) \dots \dots \dots \text{Ecuación 6.1}$$

Donde:

B= Volumen del sulfato ferroso gastado en la valoración del testigo (mL)

T= Volumen del sulfato ferroso gastado en la valoración de la muestra (mL)

N= Normalidad exacta del sulfato ferroso

g= Masa de la muestra empleada (g)

mcf= Factor de corrección de humedad

Con lo anterior se puede determinar el porcentaje de Materia Orgánica:

$$\% \text{Materia orgánica} = \% \text{C orgánico} \times 1.724 \dots \dots \text{Ecuación 6.2}$$

6.6. Análisis de viabilidad de las semillas

Para las siguientes pruebas, se emplearon semillas de maíz, frijol, jitomate, lechuga, cempaxóchitl, nube y celosía. Las cuales fueron obtenidas de la línea comercial Rancho los Molinos, en sus dos presentaciones Vita y Hortaflor.

Se colocaron 10 semillas de cada especie vegetal en un papel filtro humedecido con agua potable (4mL) en una caja Petri, la caja se selló con papel Parafilm. Para el caso del maíz la prueba se realizó con 5 semillas.

Se registró la temperatura y humedad del invernadero cada 3 h, mediante una USB Data loggers (RTH10) (OECD, 2006).

La importancia de esta prueba radica en comprobar la funcionalidad de las semillas, es decir, que éstas vayan a germinar y en qué proporción.

6.7. Desinfección de semillas

Debido a que en la prueba de viabilidad hubo presencia de crecimiento microbiano (hongos) en las semillas de maíz y frijol, se decidió desinfectarlas.

Para ello se sumergieron las semillas durante 15 minutos en solución de hipoclorito de sodio al 5% (cloro comercial), pasado este tiempo se enjuagaron con suficiente agua desionizada y después se sumergieron en agua desionizada por 15 minutos, esto es con la finalidad de eliminar residuos de cloro. Finalmente se volvieron a enjuagar con agua desionizada (Cuevas *et al.*, 2012).

6.8. Prueba de germinación

Las pruebas se efectuaron en cajas Petri de plástico con un diámetro de 9 cm. Cada caja contuvo un papel filtro en su interior con la finalidad de mantener el interior de la caja húmedo.

Esta prueba se realizó por triplicado para cada concentración de las MOF's de Cu (10, 100, 500 y 1000 ppm) y cada especie vegetal tuvo su respectivo testigo. Posteriormente se agregaron 10 semillas de cada especie vegetal distribuidas homogéneamente. Para el maíz, la prueba se efectuó con 5 semillas.

Se adicionó 4 mL de la solución de MOF de Cu ($\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ y $[\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})]$) con su respectiva concentración. En el caso del testigo se agregaron 4 mL de agua potable. Finalmente, las muestras se dejaron en el área de germinación del invernadero durante 6 días, transcurrido este tiempo se contaron las semillas germinadas y se midió el largo de las radículas (SMDF, 2012).

En la Figura 6.3, se muestra la prueba de germinación para la lechuga a 1000 ppm con sus respectivas réplicas, del lado izquierdo contienen MOF 3D y del derecho MOF 1D.



Figura 6.3. Prueba de germinación para la lechuga a 1000 ppm para ambos nanomateriales

Con los datos obtenidos en esta prueba se procedió a calcular el índice de germinación (IG).

El IG se determina de la relación entre el porcentaje de germinación relativa (PGR) y el crecimiento de radícula relativo (CRR), para ello se aplicaron las siguientes ecuaciones:

$$PGR = \frac{\text{No. de semillas germinadas en el extracto}}{\text{No. de semillas germinadas en el testigo}} * 100 \quad \text{.....Ecuación 6.3}$$

$$CRR = \frac{\text{elongación de radículas en el extracto}}{\text{elongación de radículas en el testigo}} * 100 \quad \text{.....Ecuación 6.4}$$

$$IG = \frac{PGR * CRR}{100} \quad \text{.....Ecuación 6.5}$$

6.9. Prueba del crecimiento de las especies vegetales en primer estadio

La evaluación del crecimiento se realizó en bolsas de polietileno, las cuales se llenaron con suelo de jardín. Las bolsas se colocaron en peceras de cristal con dimensiones de 30x15x10 cm, esto es con la finalidad de agruparlas por especie.

En la Figura 6.4, se muestra el acomodo de las plantas en la pecera, la cual se dividió en 2 partes en el interior, del lado izquierdo se colocaron las especies que contienen MOF 3D y del otro extremo MOF 1D. Así mismo, las bolsas se identificaron con etiquetas de colores, las cuales indicaban las concentraciones que le correspondía a cada bolsa.



Figura 6.4. Prueba de crecimiento en primer estadio para las siete especies ensayadas

La temperatura y humedad fueron medidas y registradas diariamente con una USB Data loggers (RTH10).

Por cada especie, se pesaron 100 g de suelo de jardín y se vertió en la bolsa de polietileno. Se sembraron 2 semillas por cada bolsa y para cada concentración de MOF (10, 100, 500 y 1000 ppm) con 5 repeticiones y un testigo.

Se realizaron soluciones de 200 mL de cada concentración (10, 100, 500 y 1000 ppm) de las MOF's de Cu, empleando como solvente agua. Se evaluó durante 21 días los parámetros cualitativos de: clorosis, marchitamiento, deformaciones y necrosis de las especies vegetales. Al finalizar se extrajeron las especies vegetales para medir el largo de las raíces y la parte aérea con una regla (precisión de ± 0.1 cm) y el número de hojas.

En la Figura 6.5, se muestra la parte aérea (tallo y hojas) y raíz de la flor de cempaxóchitl, regadas con 500 ppm de la MOF 1D.



Figura 6.5. Parte aérea y raíz para el cempaxóchitl a 500 ppm de la MOF 1D

Además, se cuantificó la biomasa seca obtenida, la cual se divide en biomasa de la parte aérea (hojas y tallo) y biomasa de las raíces, para esto se cortaron las especies vegetales y se enjuagaron con agua desionizada para eliminar residuos de suelo.

Posteriormente las raíces se colocaron en bolsas de papel y se metieron en una estufa a 55°C durante 48 h, lo mismo se realizó para el tallo y hojas (parte aérea).

Finalmente se pesaron las muestras en una balanza analítica (modelo OHUS con una precisión de 0.0001 g), lo cual representa la biomasa seca de las raíces y la aérea (OECD, 2006).

Finalmente, se efectuó un análisis de varianza (ANOVA) de los resultados obtenidos en las pruebas anteriores, este análisis permite relacionar la interacción entre los factores (Tipo de MOF, concentración de MOF de Cu y especies vegetales) y las variables de respuesta (altura, raíces y biomasa) de todas las poblaciones ensayadas y ver cómo influyeron en los resultados (Boqué y Maroto, 2004).

6.10. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos en las pruebas fueron sometidos a un análisis estadístico, para ello se empleó el software Statgraphics Centurion XV.

Se efectuó un análisis de varianza multifactorial (ANOVA multifactorial), el cual tiene como objetivo realizar una comparación de los efectos de dos o más factores X_j (nanomateriales y concentraciones) de una variable dependiente (biomasa o crecimiento de especies vegetales) Y . Así mismo se analizaron las diferencias estadísticas de la interacción de los factores (StatPoint, Inc., 2006).

Finalmente se realizaron pruebas múltiples de rangos para visualizar los comportamientos de ambos nanomateriales y las cuatro concentraciones.

7. Resultados y discusión

En el presente capítulo se reportan los resultados obtenidos, los cuales a su vez muestran una concisa discusión de estos.

Los análisis estadísticos efectuados, incluyen tablas de análisis de varianza y pruebas múltiples de rangos, los cuales se encuentran en los anexos A, B y C.

7.1 Caracterización de las redes metalorgánicas sintetizadas

En la Figura 7.1 se comparan los difractogramas de las muestras sintetizadas, se observa que ambas tienen picos definidos característicos de compuestos cristalinos. Comparando los patrones de difracción con las referencias se determinó la formación de $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ y $[\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})]$ (Chui *et al.*, 1999 y Chen *et al.*, 2003). Las áreas superficiales obtenidas mediante el método de BET, fueron de 1643 y 45 $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$, para $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ y $[\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})]$, respectivamente, lo que corrobora la formación de las estructuras 3D y 1D, para cada compuesto sintetizado.

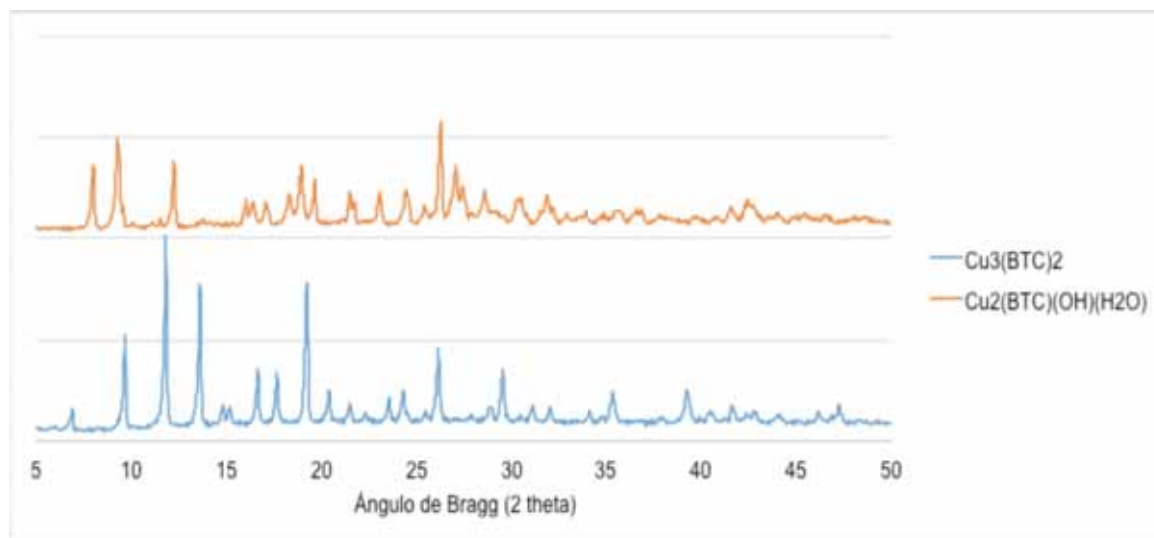


Figura 7.1. Patrones de difracción de las MOF's: $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ y $[\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})]$

7.2 Condiciones en el invernadero

Durante la experimentación se monitorearon las condiciones del invernadero (temperatura y humedad), esto es con la finalidad de apegarse a las recomendaciones de la OECD, la cual establece los siguientes intervalos $T = 22 \pm 10^\circ\text{C}$ y $H = 70 \pm 25\%$ (OECD, 2006).

En la Figura 7.2 y Figura 7.3 se presentan las gráficas de los comportamientos de temperatura y humedad durante las pruebas realizadas.

Para el caso de la temperatura se presentó un valor máximo de 28.1°C, mientras que el mínimo fue de 15.7°C y una temperatura promedio de 22.1°C.

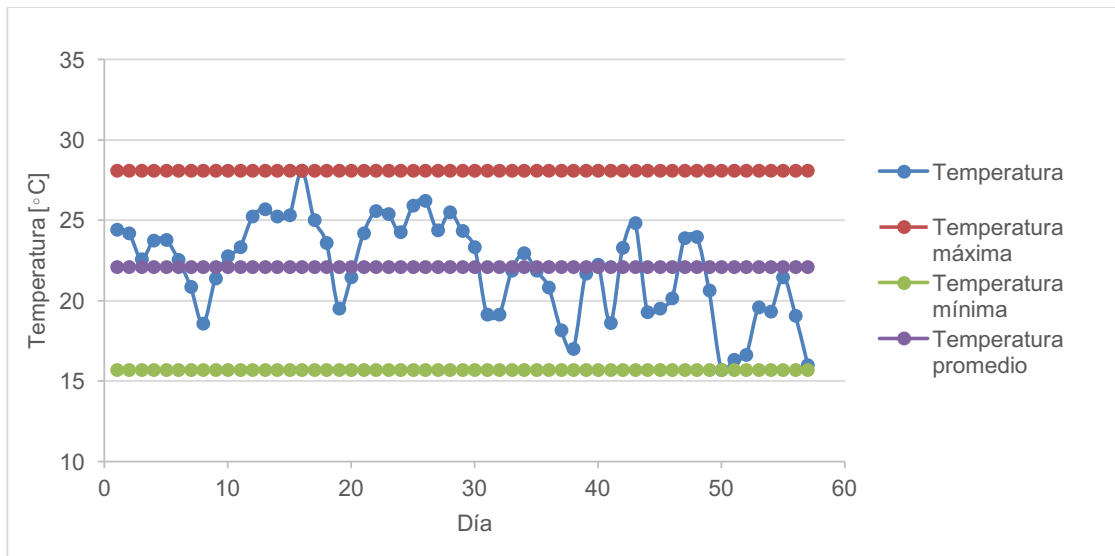


Figura 7.2. Condiciones de temperatura en el invernadero

En la Figura 7.3, se muestra el valor promedio para la humedad relativa, el cual fue de 54.02%, y los valores máximo y mínimo fueron de 76.87% y 38.87% respectivamente.

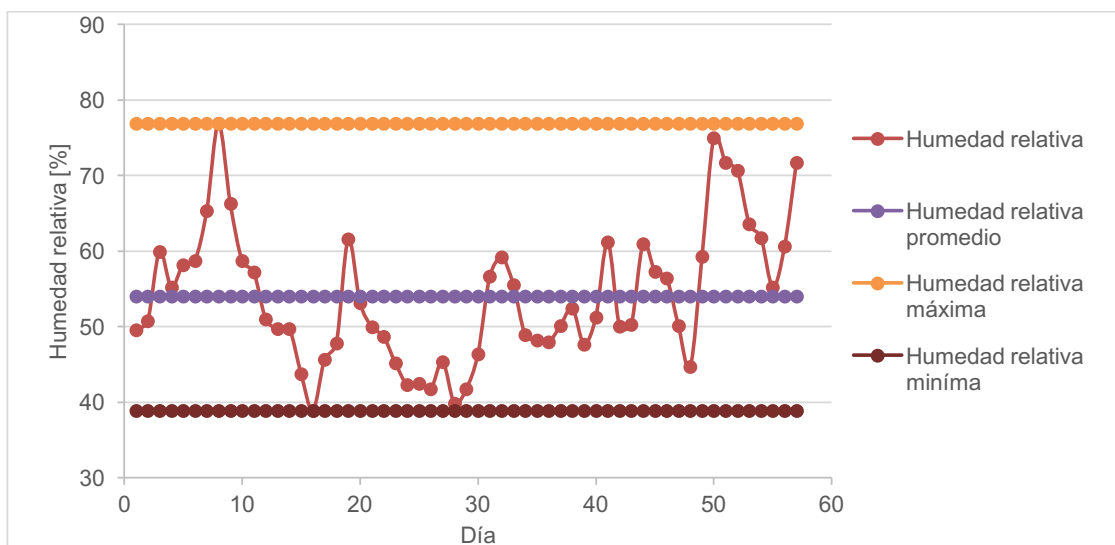


Figura 7.3. Condiciones de humedad en el invernadero

Con base en los gráficos anteriores, se demuestra que ambos parámetros se adecuan a las recomendaciones de la OECD.

7.3 Caracterización del suelo de jardín

En la Tabla 7.1 se muestran los resultados de la caracterización de macronutrientes, empleando el Kit HANNA®. Se observa que el suelo caracterizado contiene los tres elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales, ya que el nitrógeno permite el desarrollo de las plantas (tallo, follaje y brotes), el fósforo contribuye a la formación de las raíces, yemas y la floración, mientras que, el potasio favorece su resistencia a enfermedades (HANNA instruments, n.d).

Tabla 7.1. Resultados de nutrientes del suelo del municipio de Tepotzotlán

Nutriente	Contenido	Imagen
Nitrógeno	Bajo	
Fósforo	Alto	
Potasio	Medio	

7.4 Materia Orgánica

Para el suelo de jardín se tiene un $23.28 \pm 0.52\%$ de materia orgánica, lo cual significa que tiene un contenido muy alto, esto es de acuerdo con la clasificación de la NOM-021-SEMARNAT-2002.

Este alto contenido de materia orgánica, se puede atribuir a la continua descomposición de la materia orgánica y material muerto (de origen animal o vegetal), lo cual trae como consecuencia la formación de humus.

El humus está constituido por sustancia húmicas (ácido húmico, huminas y ácido fúlvico) que permanecen en el suelo, después de la descomposición de los residuos. Por otra parte, el suelo analizado tenía alta actividad de organismos (lombrices, arácnidos y nematodos), los cuales favorecen la distribución de los nutrientes y microorganismos (hongos y bacterias) en el suelo (FAO, n.d).

Además, se ha reportado en la literatura que el alto contenido de materia orgánica presenta efectos benéficos, entre los cuales destacan (Meléndez y Soto, 2003):

- 8 Fuente de macro y micronutrientes, en especial N, P y S.
- 9 Actúa como agente quelante de micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Mo), es decir, forma complejos químicos que retienen metales
- 10 Incrementa la capacidad del suelo para retener agua
- 11 Favorece la retención de cationes debido a su alta capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Ahora bien, cabe mencionar que los requerimientos de nutrientes, agua y energía solar varían de acuerdo con tipo de especie vegetal, por lo que en muchas ocasiones los agricultores buscan restituir, mantener y aumentar la fertilidad de los suelos, y brindar las condiciones adecuadas al cultivo (FAO, 1999).

7.5 Análisis de viabilidad de las semillas

En la Tabla 7.2 se muestran los porcentajes de viabilidad para los lotes empleados en la prueba de germinación, mientras que en la Tabla 7.3 se presenta la viabilidad para la prueba de primer estadio.

Se observa en la Tabla 7.2, que las especies de maíz y lechuga presentaron un 80% de germinación, mientras que las especies restantes el porcentaje fue del 90%.

Tabla 7.2. Prueba de viabilidad para la prueba de germinación

Especie	Núm. de semillas germinadas	Porcentaje de germinación
Maíz	4	80
Frijol	9	90
Jitomate	9	90
Lechuga	8	80
Cempaxóchitl	9	90
Celosía	9	90
Nube	9	90

En la Tabla 8.3 se presentan los datos de viabilidad para la prueba de primer estadio. Para el cempaxóchitl se obtuvo 100 % de germinación, sin embargo, el frijol, lechuga y nube consiguieron el 90% y el resto de las especies un 80%.

Tabla 7.3. Prueba de viabilidad para la prueba de primer estadio

Especie	Núm. de semillas germinadas	Porcentaje de germinación
Maíz	4	80
Frijol	9	90
Jitomate	8	80
Lechuga	9	90
Cempaxóchitl	10	100
Celosía	8	80
Nube	9	90

7.6 Prueba de germinación

Cabe mencionar que cada especie vegetal tiene su peculiaridad, por lo que el efecto que se tuvo para cada una fue diferente.

A continuación, se presentan los resultados del crecimiento radicular para cada concentración (10, 100, 500 y 1000 ppm) de ambos nanomateriales (MOF de $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ y $[\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})]$) y especie vegetal.

En la Tabla 7.4 se observa la MOF $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ provoca en general una disminución de índice de germinación, con excepción de frijol a 10, 100 y 500 ppm. Mientras que a 1000 ppm todas las especies se mostraron afectadas, teniendo mayor repercusión en el cempaxóchitl y nube, debido que hubo una baja del 86.05 y 90.71% respectivamente.

Tabla 7.4. Índice de germinación para la especies ensayadas con MOF $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$

IG [%]				
Concentración [ppm]				
Especie	10	100	500	1000
Maíz	93.58	60.30	74.40	16.69
Frijol	224.93	132.80	235.05	99.08
Jitomate	73.97	69.67	28.44	25.52
Lechuga	85.12	64.46	27.00	21.56
Celosía	54.31	26.15	30.80	24.83
Cempaxóchitl	46.63	16.79	19.21	13.95
Nube	97.88	75.91	18.56	9.29

En la Tabla 7.5, se puede visualizar que el frijol se benefició en las cuatro concentraciones empleadas, lo cual se puede atribuir a que la MOF pudo favorecer la disponibilidad de nutrientes del agua (Fe, Na, Mn y Zn).

Tabla 7.5. Índice de germinación para la especies ensayadas con MOF $\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})$

IG [%]				
Concentración [ppm]				
Especie	10	100	500	1000
Maíz	67.45	24.98	25.63	10.73
Frijol	128.39	291.88	160.32	101.15
Jitomate	108.72	59.86	26.15	27.87
Lechuga	107.24	85.40	34.16	25.64
Celosía	65.57	31.90	28.05	19.31
Cempaxóchitl	34.11	25.47	14.21	1.79
Nube	145.23	81.04	40.37	20.33

Ahora bien, se muestran las representaciones graficas del crecimiento radicular de cada especie.

Maíz

En la Figura 7.4 se observa que las concentraciones de 500 y 1000 ppm de la MOF 1D ($[\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})]$) tuvo mayor afectación en el crecimiento radicular, mientras que a 1000 ppm de la MOF 3D ($\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$) se presentó el mayor daño.

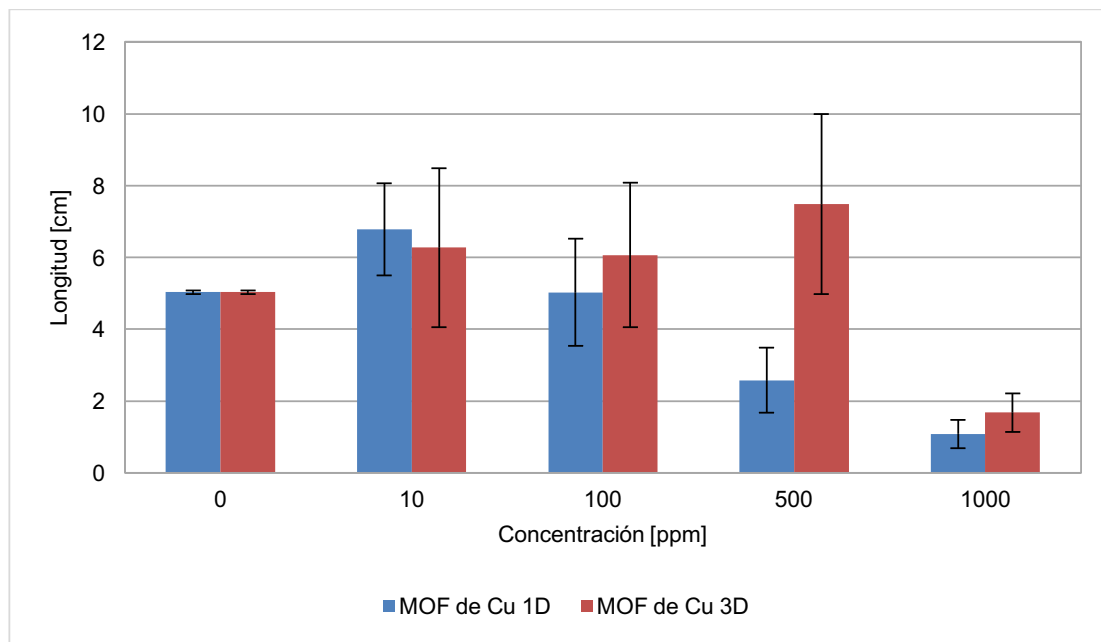


Figura 7.4. Crecimiento radicular para maíz

Frijol

En la Figura 7.5 se observa que la mayor afectación al crecimiento radicular fue a la concentración de 1000 ppm de ambos nanomateriales en comparación con el testigo. Es interesante resaltar que en las concentraciones restantes 10, 100 y 500 ppm para ambos materiales, las radículas crecieron inclusive más que el testigo. Esto se podría deber a que en ocasiones ciertos elementos estimulan el crecimiento, en este caso es importante destacar que el cobre es considerado un micronutriente (5-30 ppm) (Kabata-Pendias, 2011).

Sin embargo, se atribuye que las concentraciones de 100 y 500 ppm causaron beneficio, debido a que el papel filtro adsorbió en ciertas zonas las MOF's y en algunos casos las mantuvo alejadas de las semillas.

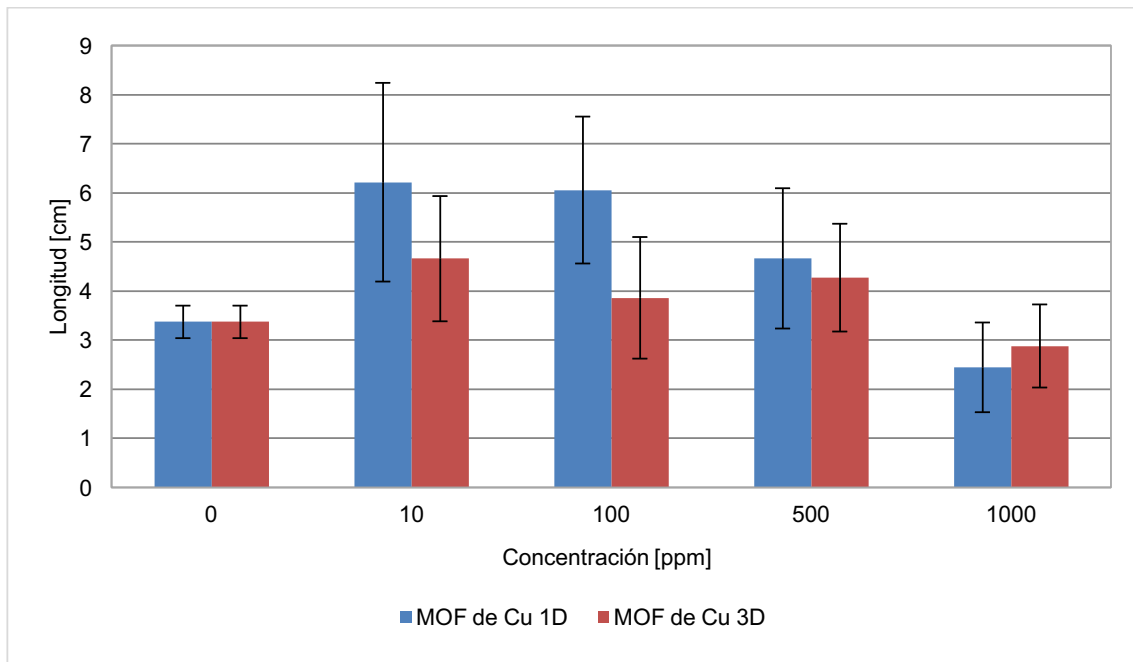


Figura 7.5. Crecimiento radicular frijol

Jitomate

En la Figura 7.6 se puede analizar que las concentraciones de 500 y 1000 ppm de ambos nanomateriales generaron menor crecimiento radicular en comparación con el testigo, por otra parte las concentraciones de 10 y 100 ppm de la MOF 3D tienen un comportamiento similar al testigo.

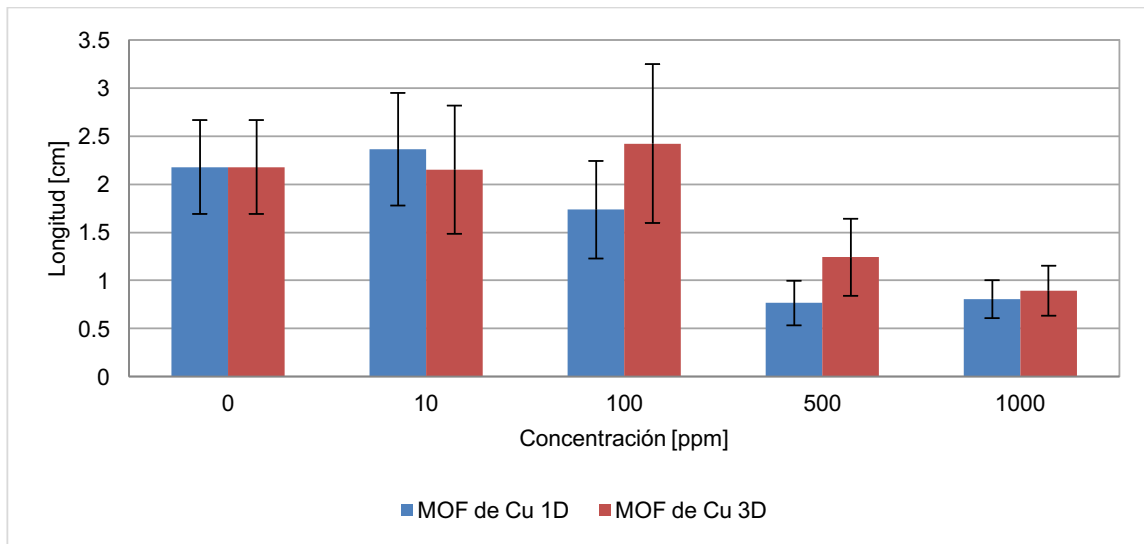


Figura 7.6. Crecimiento radicular para jitomate

Lechuga

En la Figura 7.7 se puede determinar que las concentraciones de 10 y 100 ppm presentaron un crecimiento similar al testigo, mientras que 500 y 1000 ppm generaron mayores estragos.

Para ambos materiales se observó que a mayor concentración menor crecimiento radicular.

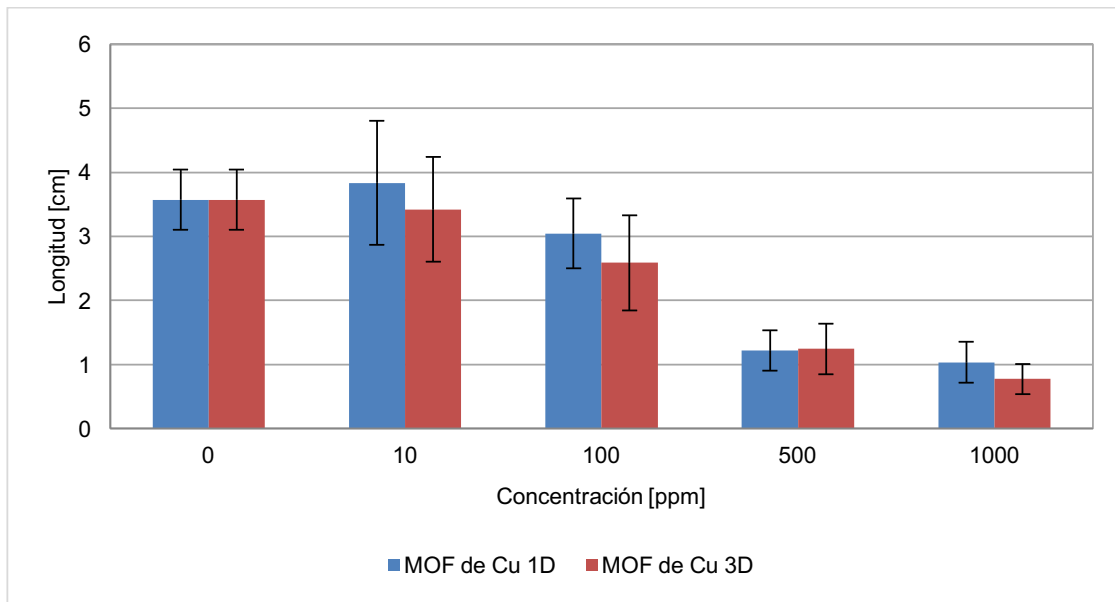


Figura 7.7. Crecimiento radicular para lechuga

Celosía

Se puede observar en la Figura 7.8 que a partir de 10 ppm se presenta una disminución del crecimiento radicular en ambos materiales y la tendencia es que conforme aumenta la concentración en consecuencia el crecimiento radicular disminuye.

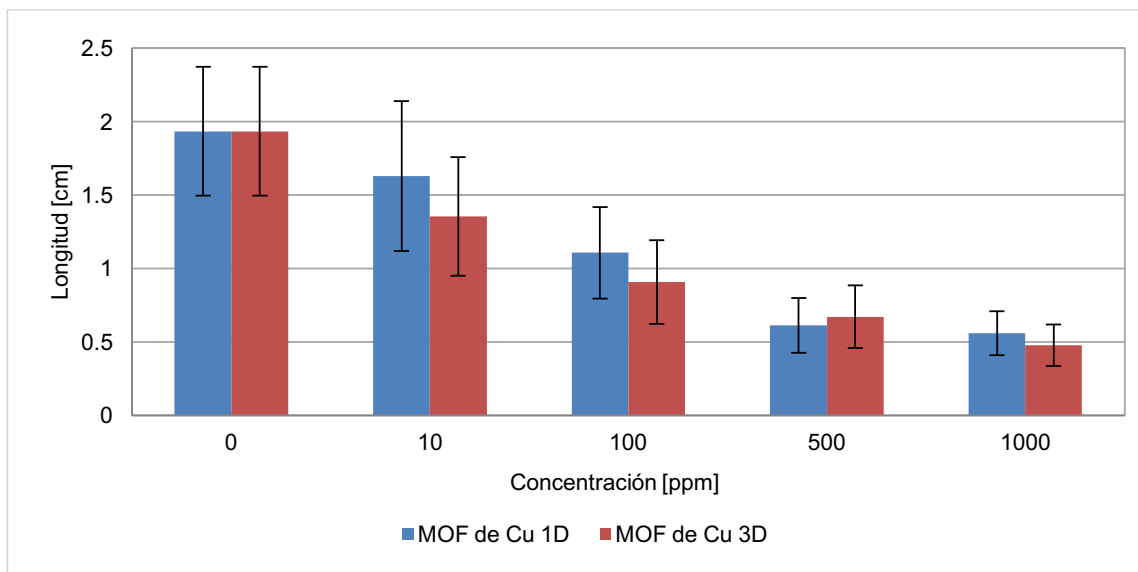


Figura 7.8. Crecimiento radicular para celosía

Cempaxóchitl

En la Figura 7.9 se muestra que ambos materiales presentaron afectación en el crecimiento radicular, se encontró que conforme aumenta la dosis también aumentan los daños, es decir, a mayor concentración hay un menor crecimiento de la radícula. La mayor afectación se presentó para 1000 ppm de la MOF 1D, debido a que hubo una disminución del 95.2% de la radícula.

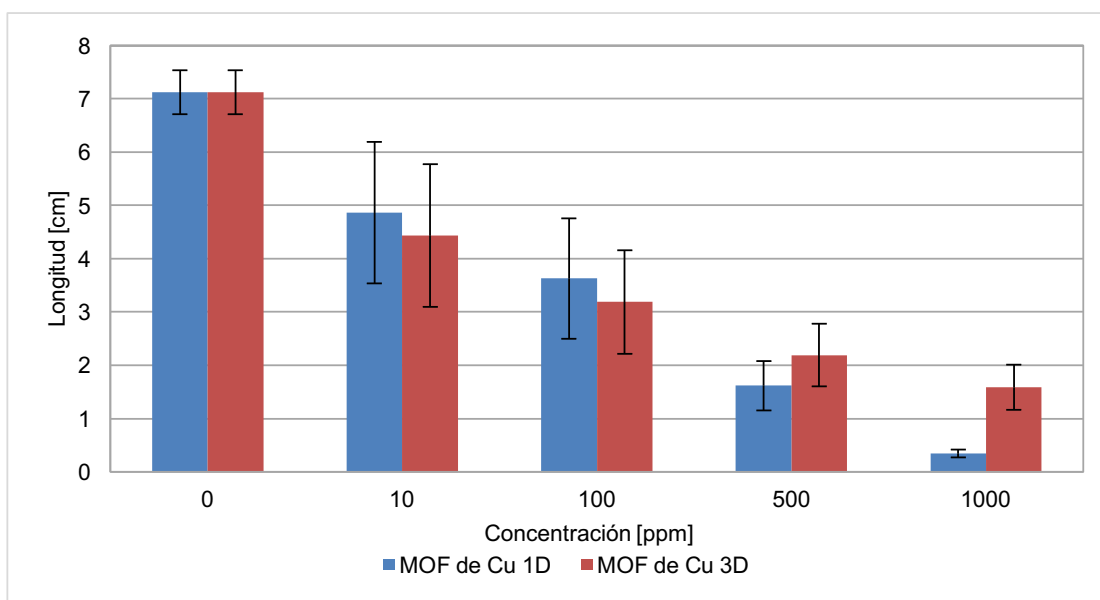


Figura 7.9. Crecimiento radicular en cempaxóchitl

Nube

En la Figura 7.10 se puede notar que a partir de 10 ppm de ambas MOF's generan una disminución del crecimiento radicular en contraste con el testigo, siendo las concentraciones de mayor afectación 500 y 1000 ppm.

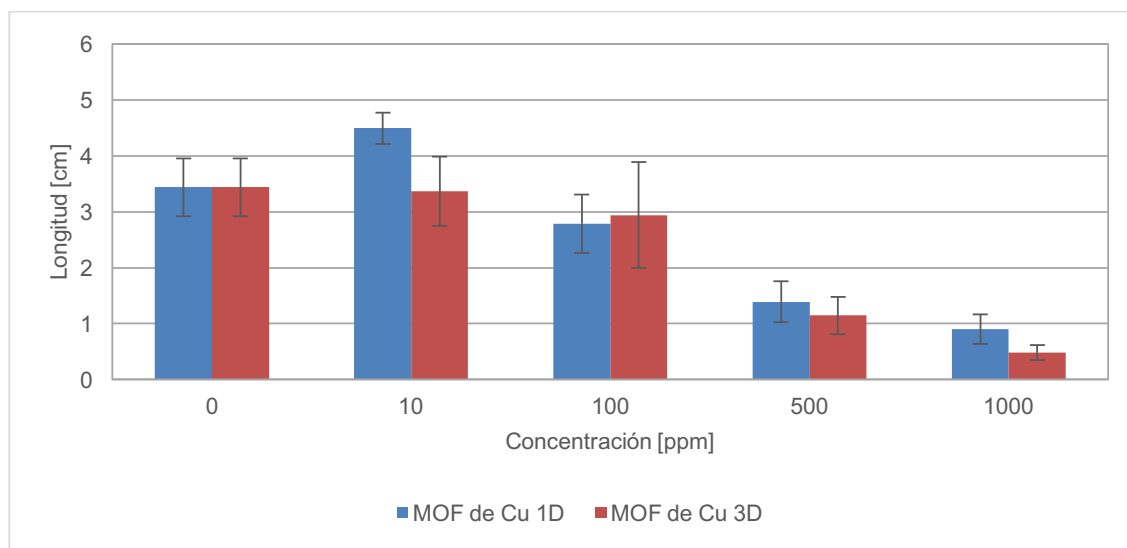


Figura 7.10. Crecimiento radicular nube

En esta prueba se obtuvo como resultado que a 1000 ppm de ambas MOF's se presenta una disminución del tamaño de la radícula en todas las especies.

7.7 Prueba de crecimiento de las especies vegetales en primer estadio

Los resultados de esta prueba se dividen en dos fases, las cuales son el crecimiento y la generación de biomasa de la raíz y parte aérea (tallo y hojas) de cada especie.

- Longitud de raíz y parte aérea

Maíz

En la Figura 7.11 se puede visualizar que la mayoría de las concentraciones favoreció el crecimiento radicular y de la parte aérea.

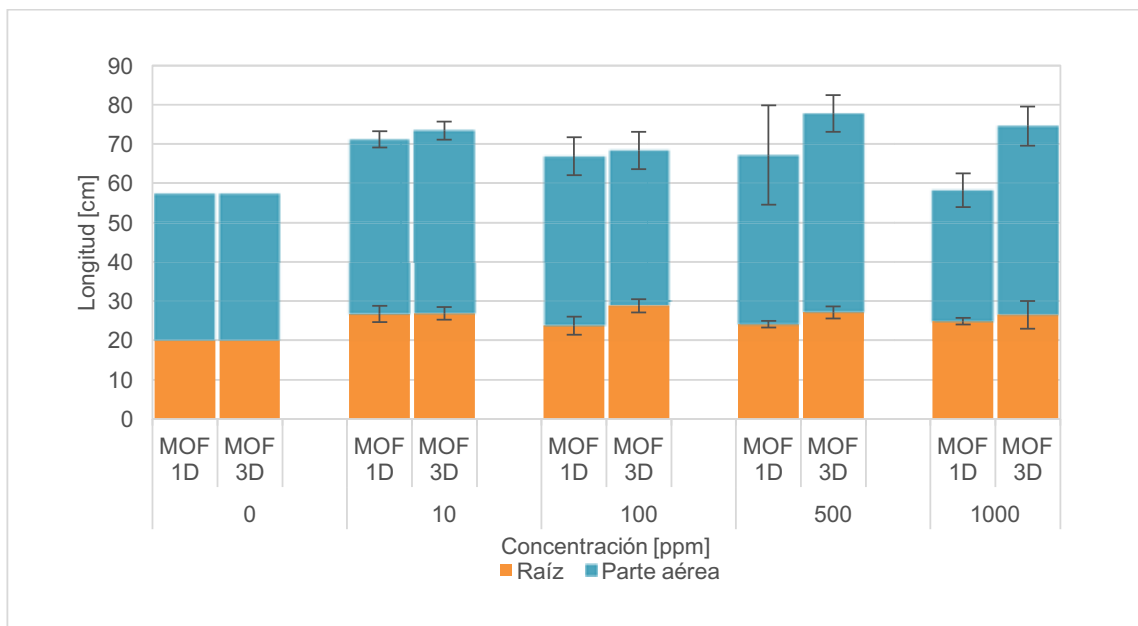


Figura 7.11. Crecimiento de raíz y parte aérea en maíz

Frijol

Se puede observar en la Figura 7.12 que ambos nanomateriales disminuyeron el crecimiento de la parte aérea, siendo la de mayor afectación 1000 ppm. No obstante, en todos los casos, se percibe en la raíz un crecimiento similar al testigo.

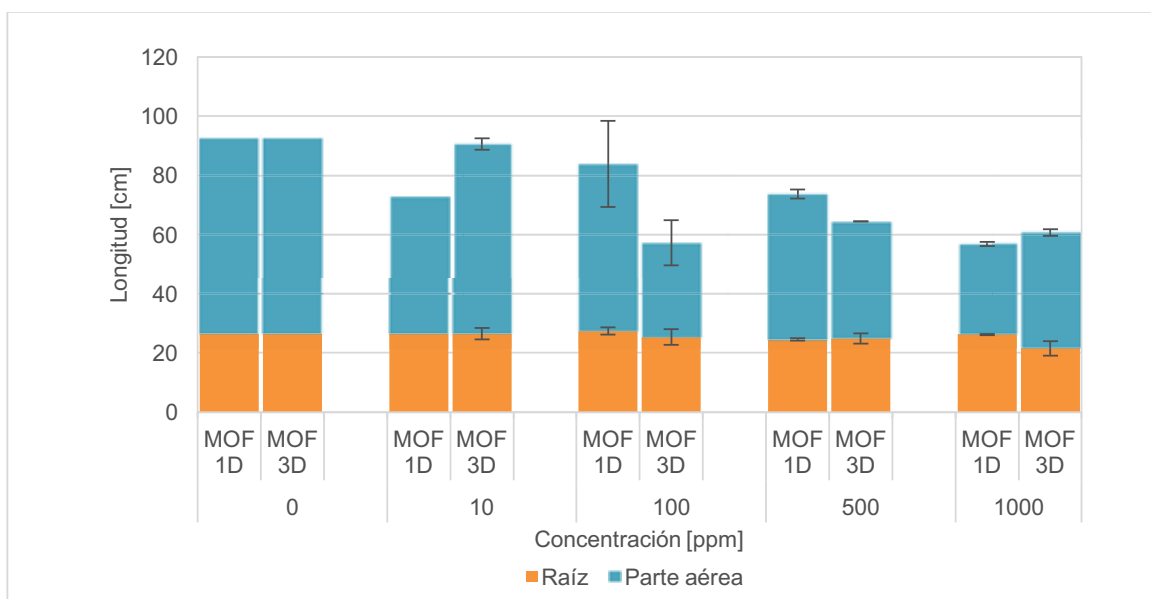


Figura 7.12. Crecimiento de raíz y parte aérea en frijol

Jitomate

En la Figura 7.13 se muestra que la MOF 1D afectó el desarrollo de la raíz y parte aérea a partir de 10 ppm, siendo la de mayor daño 1000 ppm, ya que tuvo una afectación en el crecimiento de la raíz y parte aérea del 47% y 21% respectivamente. Mientras que la MOF 3D estimuló la parte aérea a 500 y 1000 ppm.

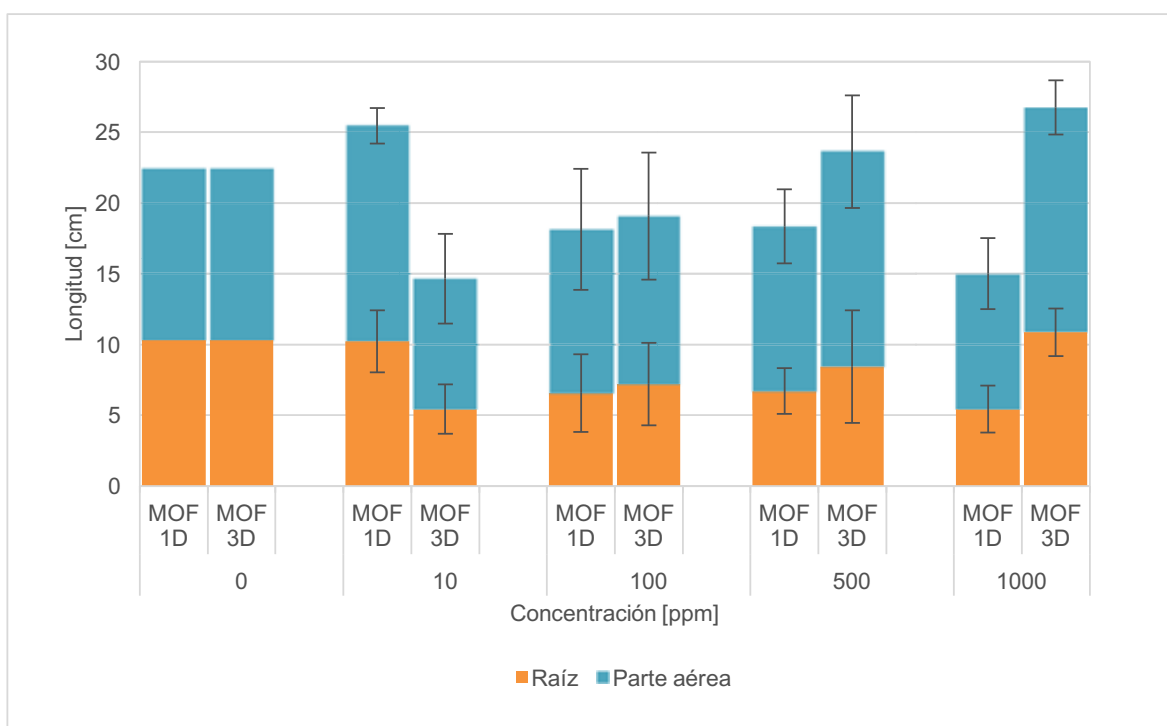


Figura 7.13. Crecimiento de raíz y parte aérea en jitomate

Lechuga

En la Figura 7.14 se puede observar que para la raíz ambos nanomateriales afectaron su crecimiento a partir de 100 ppm, mientras que la parte aérea se vio beneficiada, ya que se estimuló su crecimiento.

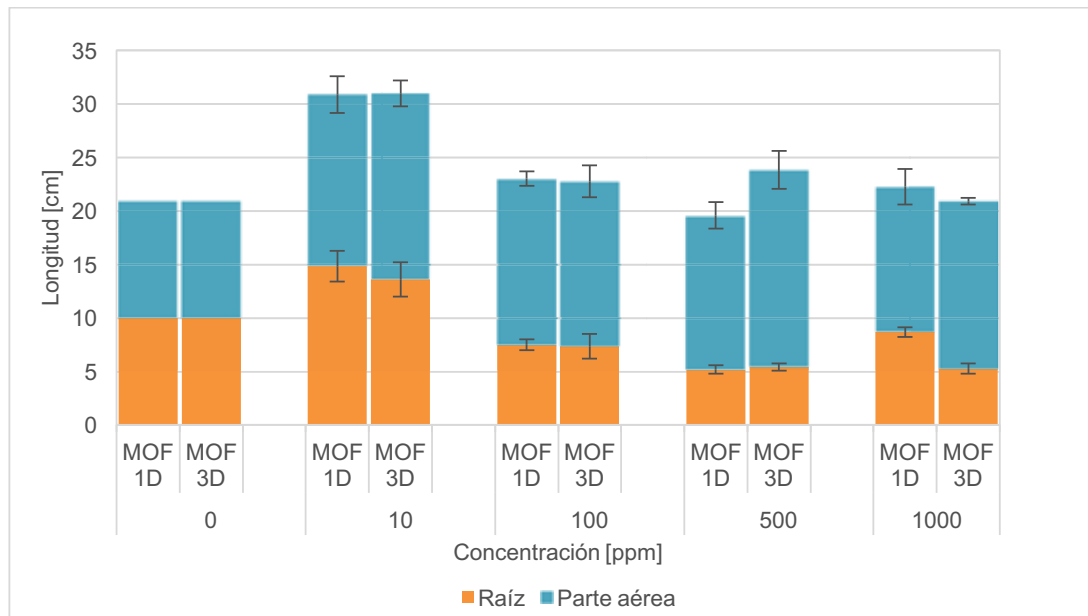


Figura 7.14. Crecimiento de raíz y parte aérea en lechuga

Celosía

En la Figura 7.15 se observa que ambas MOF's estimularon el crecimiento de la parte aérea y la raíz, pero a 500 y 1000 ppm se ve una disminución en la parte aérea de este estímulo (MOF 1D), por lo cual se puede deducir que para este caso las concentraciones que más estímulo generaron son 10 y 100 ppm.

Por el contrario, las concentraciones de 500 y 1000 ppm de la MOF 3D fueron las de mayor estímulo para la parte aérea.

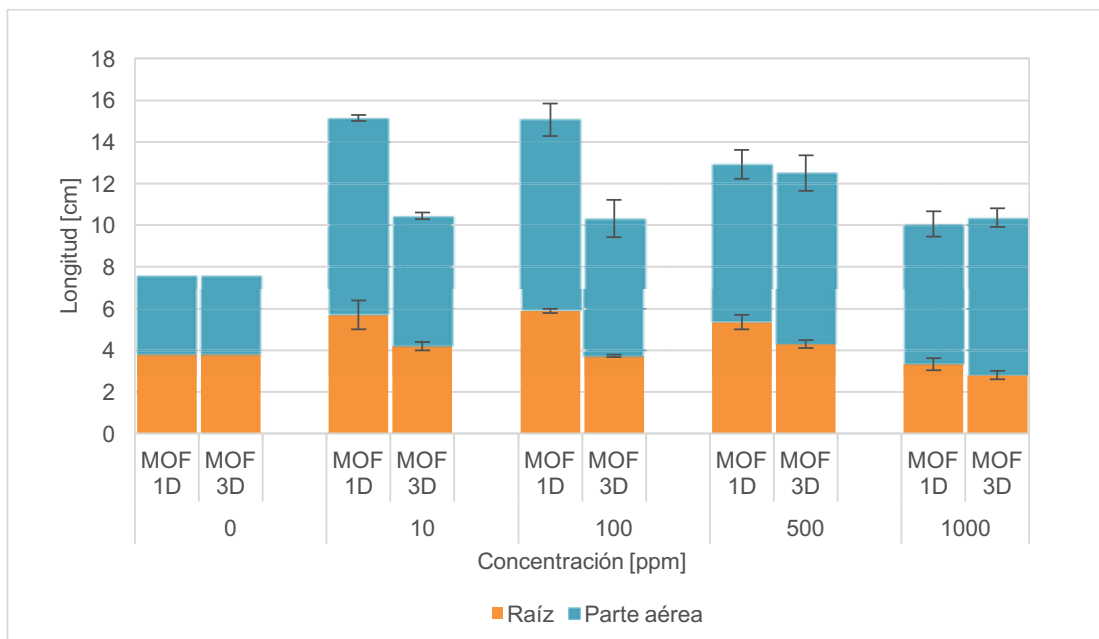


Figura 7.15. Crecimiento de raíz y parte aérea en celosía

Cempaxóchitl

En la Figura 7.16 se puede analizar que para el caso de la parte aérea las MOF's estimularon el crecimiento. Sin embargo, para la raíz las concentraciones de 100, 500 y 1000 ppm de la MOF 1D; y 500 y 1000 ppm de la MOF 3D redujeron el crecimiento.

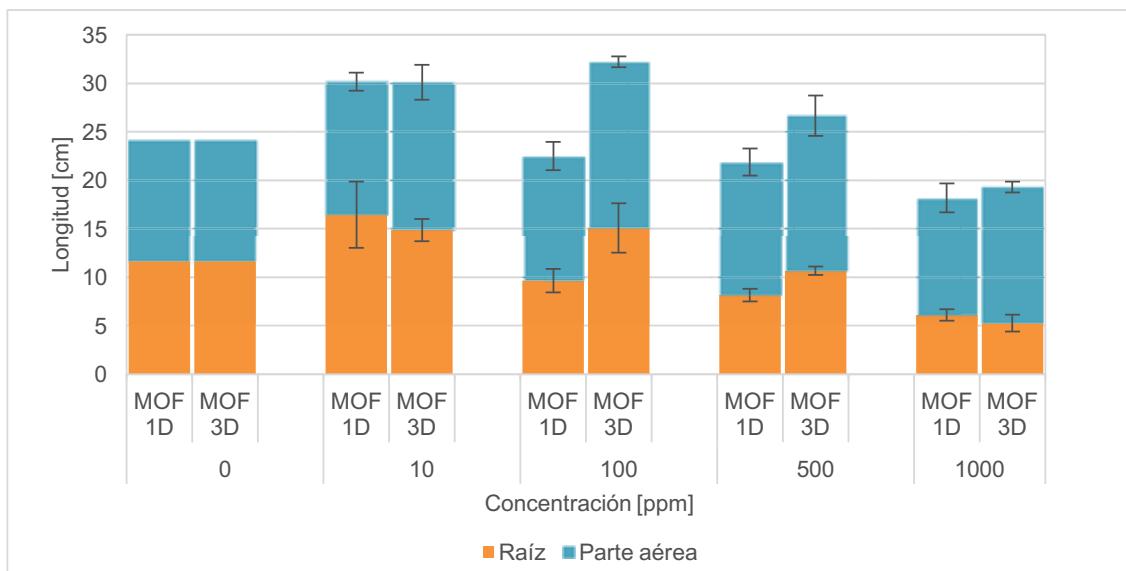


Figura 7.16. Crecimiento de raíz y parte aérea en cempaxóchitl

Nube

En la Figura 7.17 se puede analizar que ambos nanomateriales aminoraron el crecimiento de la raíz en las 4 concentraciones, siendo las de mayor afectación 500 y 1000 ppm.

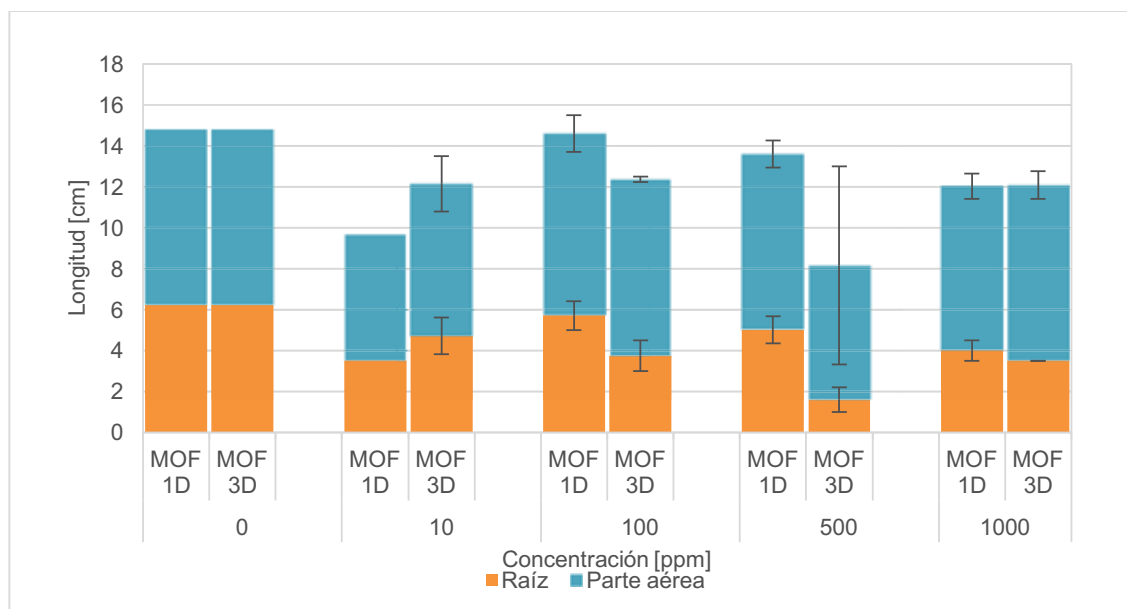


Figura 7.17. Crecimiento de raíz y parte aérea en nube

- Biomasa seca

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la generación de biomasa de cada especie vegetal ensayada.

Maíz

En la Figura 7.18 se puede visualizar que la MOF 3D favoreció el desarrollo de biomasa en la parte aérea, mientras que en la raíz se percibe un comportamiento similar al testigo. Para la MOF 1D se tiene una afectación en la masa radicular a partir de 100 ppm, cabe destacar que para 1000 ppm se tuvo una generación similar a la del testigo, esto se puede atribuir a que durante el riego se formaba una capa hidrofóbica (provocada por el alto contenido de materia orgánica), la cual daba tiempo a que el nanomaterial (insoluble en agua) se quedara en la superficie y así tener mayor disponibilidad de los nutrientes que la MOF pudo adsorber.

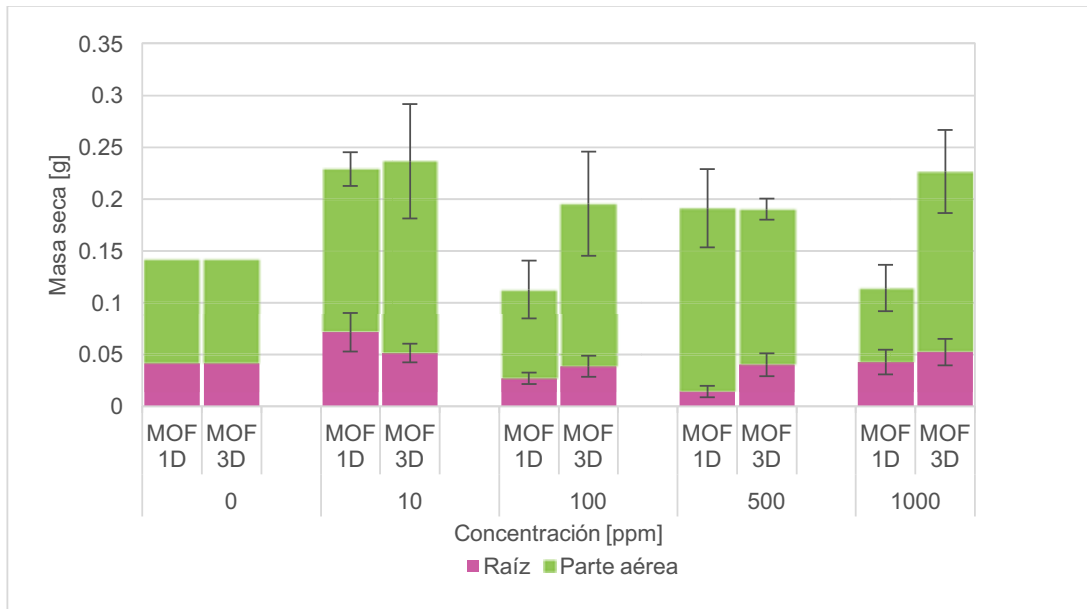


Figura 7.18. Generación de biomasa en maíz

Frijol

En la Figura 7.19 se puede analizar que en la parte aérea ambos nanomateriales no generaron alguna afectación, debido que las biomazas se comportan como la del testigo. Por otra parte, a partir de 100 ppm se tiene una disminución de la biomasa en la raíz.

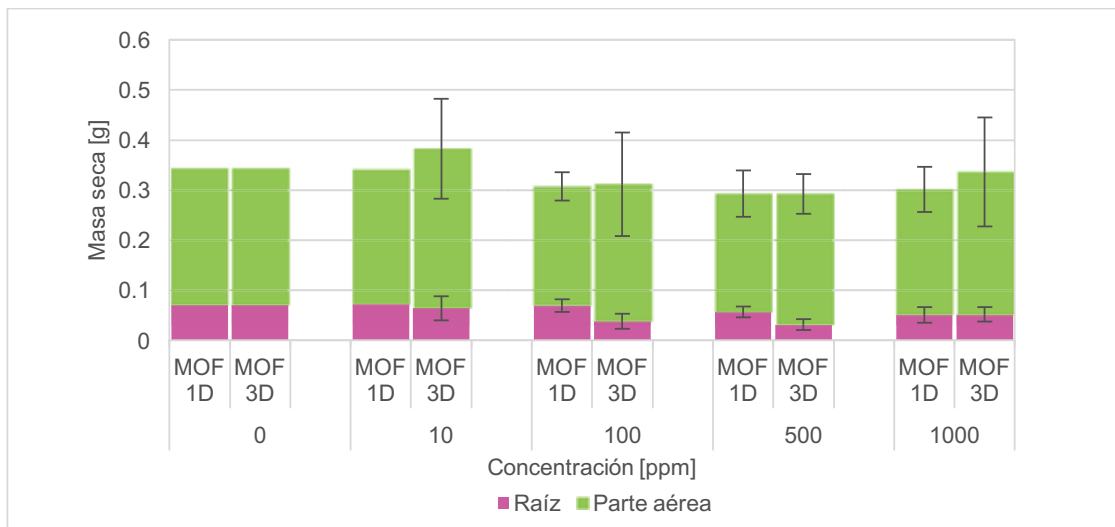


Figura 7.19. Generación de biomasa en frijol

Jitomate

Se puede observar en Figura 7.20 que la MOF 3D a 500 ppm, estimuló la generación de biomasa, esto pudo ser causado a que la MOF le facilitó la adquisición de nutrientes. Sin embargo, a 1000 ppm se observa una baja en la generación de biomasa, lo cual puede ser un indicio de que esta concentración deja de ser beneficiosa.

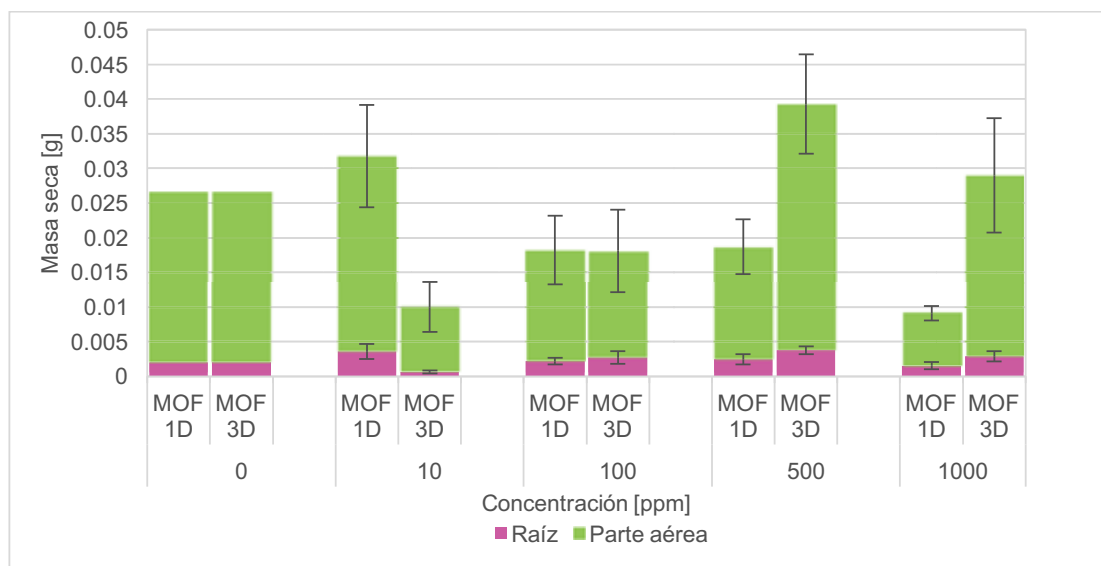


Figura 7.20. Generación de biomasa en jitomate

Lechuga

En la Figura 7.21 se puede visualizar que las concentraciones de ambos nanomateriales disminuyeron la biomasa de la raíz. Por otra parte la MOF 1D (100, 500 y 1000 ppm) afectó la generación de biomasa de la parte aérea, mientras que para la MOF 3D se mantuvo un comportamiento similar al testigo.

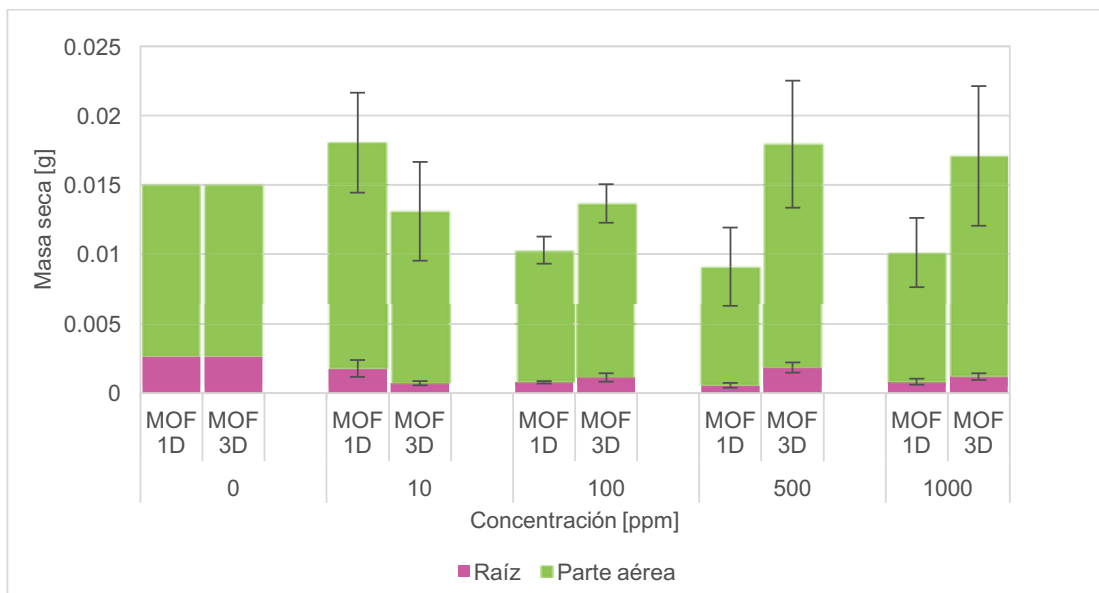


Figura 7.21. Generación de biomasa en lechuga

Celosía

En la Figura 7.22 se tiene que ambas MOF's estimularon la generación de biomasa, siendo la MOF 1D la que más favoreció, esto se puede atribuir a que al destruirse libera sus componentes (átomos de Cu y el ligante orgánico) y los nutrientes que adsorbió, esto también sucede para MOF 3D pero se asume que es más tardado su proceso, ya que para ello primero pasa a ser MOF 1D, es decir pierde su estructura tridimensional y luego se destruye.

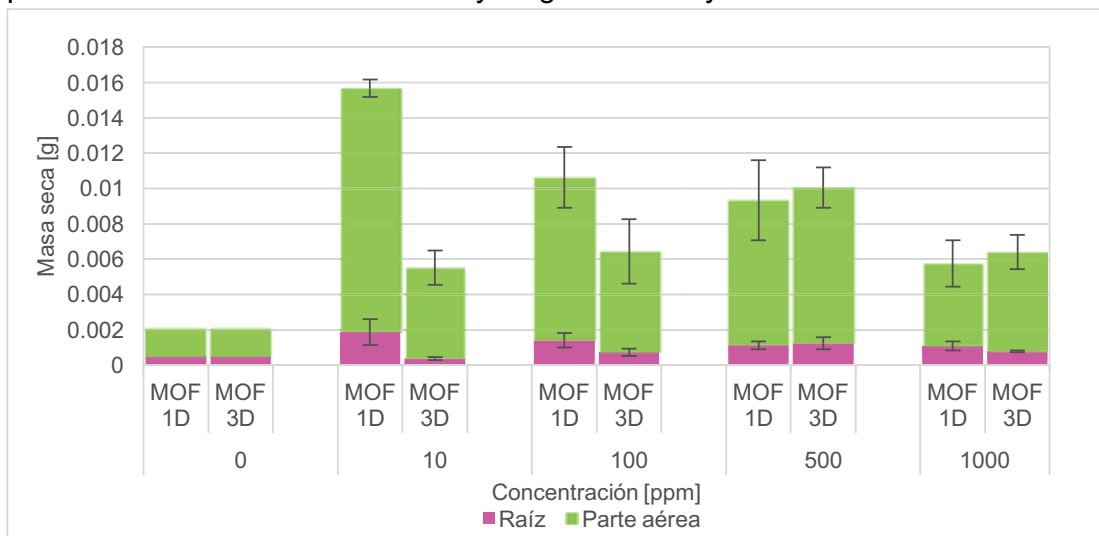


Figura 7.22. Generación de biomasa en celosía

Cempaxóchitl

En la Figura 7.23 se puede visualizar que hubo una disminución de la biomasa en la raíz, esto es para ambos nanomateriales. No obstante, a 100, 500 y 1000 ppm de la MOF 3D, se generó una estimulación para la parte aérea.

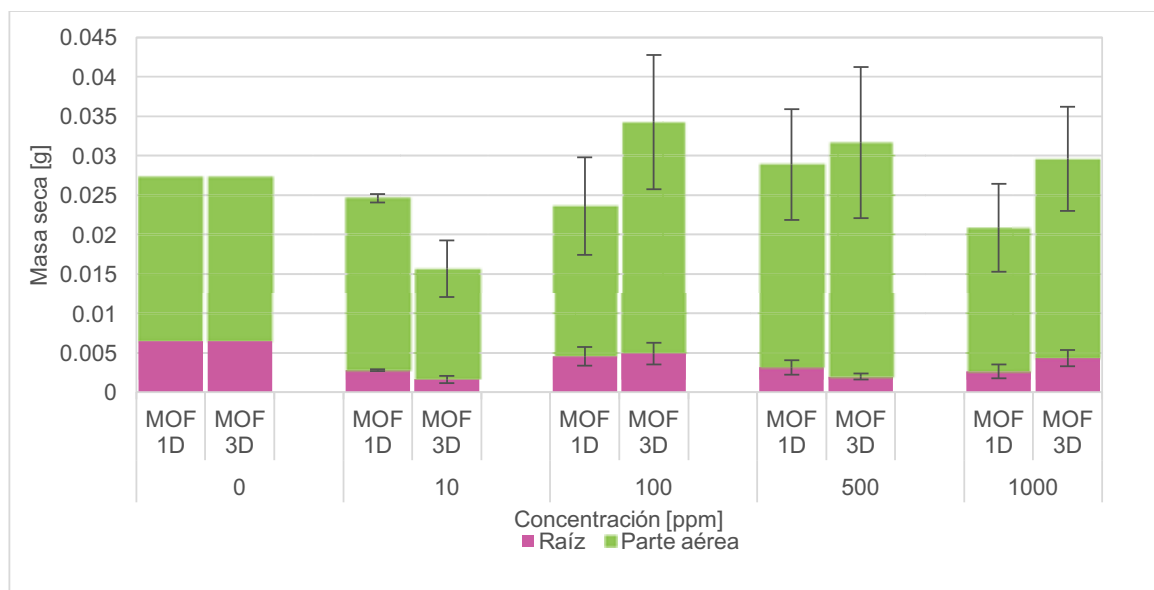


Figura 7.23. Generación de biomasa en cempaxóchitl

Nube

En la Figura 7.24 se observa una disminución de la biomasa de ambas partes (parte aérea y raíz) para las dos MOF's. Cabe mencionar que en la concentración de 500 ppm de la MOF 3D, se presenta una desviación del 90% en la parte aérea, esto se debe a que solo se tenía una población de dos elementos, y uno de ellos se encontraba muy pequeño (2.7 cm) en comparación al otro elemento (13.6 cm), pero es indispensable para la realización del análisis estadístico.

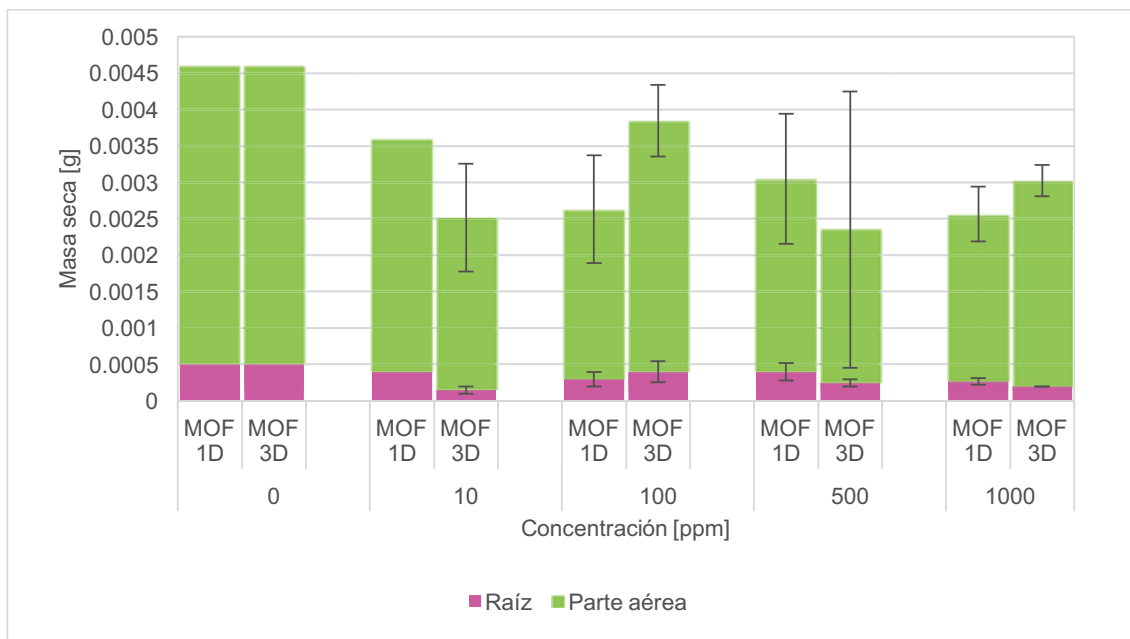


Figura 7.24. Generación de biomasa en nube

7.8 Necrosis y protuberancia

- Lechuga

Se observó una protuberancia de color café en la punta de la radícula para ambas MOF's, las cuales comenzaron a presentarse a partir de 500 ppm. En la Figura 7.25 se tiene al testigo (sin protuberancia), mientras que en la Figura 7.26 y Figura 7.27 se tiene las muestras afectadas por ambos nanomateriales a 1000 ppm.

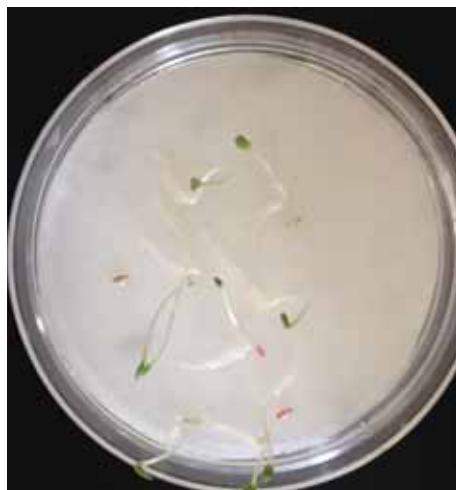


Figura 7.25. Crecimiento radicular en el testigo



Figura 7.26. Crecimiento radicular en 1000 ppm en MOF 3D



Figura 7.27. Crecimiento radicular en 1000 ppm en MOF 1D

- Jitomate

Se observó necrosis en 500 y 1000 ppm de ambos nanomateriales, en la Figura 7.28 se tiene el testigo, mientras que en la Figura 7.29 y Figura 7.30 se tiene ambos casos a 1000 ppm.



Figura 7.28. Crecimiento radicular en el testigo



Figura 7.29. Crecimiento radicular en 1000 ppm para la MOF 3D

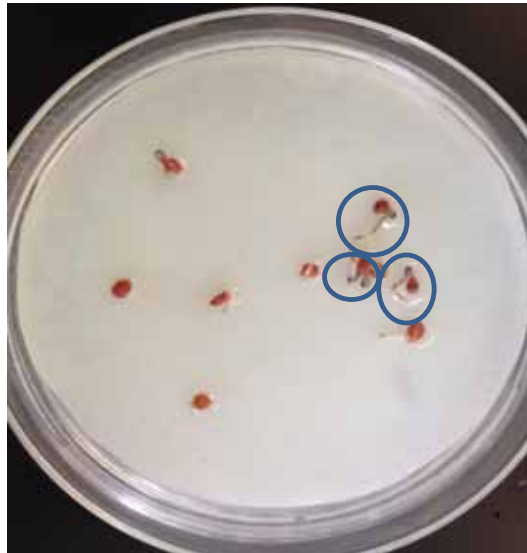


Figura 7.30. Crecimiento radicular en 1000 ppm en MOF 1D

7.9 ANOVA multifactorial

Para evaluar los valores P de cada prueba se empleó el siguiente criterio, el cual consiste en:

Si el valor de P es menor a 0.05, significa que se tiene una diferencia estadísticamente significativa, de lo contrario si P es mayor a 0.05, simboliza que no hay una diferencia significativa.

- Prueba de Germinación

A continuación, en la Tabla 7.6 se presentan los valores P para cada especie, en donde se observa que, para la lechuga, celosía y cempaxóchitl, el parámetro de interacción de los factores MOF y concentración ejercieron efecto sobre estas especies.

Tabla 7.6. Valores P para la prueba de germinación

Parámetro	Valores P						
	Maíz	Frijol	Jitomate	Lechuga	Celosía	Cempaxóchitl	Nube
Concentración	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
MOF	0.0120	0.0001	0.0049	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000
Interacción	0.0060	0.0003	0.0018	0.1783	0.3786	0.9016	0.0000

- **Prueba de crecimiento en primer estadio (longitud)**

En la Tabla 7.7, se observa que la especie con mayor cantidad de diferencias estadísticamente significativas fue celosía, lo que significa que solo se vio afectada por el parámetro de la concentración.

Mientras que, el maíz y nube, no tuvieron diferencias, es decir, se vieron afectadas por todos los parámetros evaluados (concentración, MOF e interacción).

Tabla 7.7. Valores *P* para la parte aérea de la prueba de primer estadio (longitud)

Parámetro	Valores P						
	Maíz	Frijol	Jitomate	Lechuga	Celosía	Cempaxóchitl	Nube
Concentración	0.4250	0.0730	0.7563	0.1405	0.3071	0.2358	0.5768
MOF	0.1120	0.6355	0.3678	0.0115	0.0076	0.0033	0.8910
Interacción	0.2374	0.0272	0.0040	0.1377	0.0012	0.5883	0.6475

En la Tabla 7.8, se visualiza que la lechuga no tuvo ninguna afectación por los parámetros evaluados. Sin embargo, el frijol fue la especie con mayor cantidad de afectaciones, seguida del maíz, jitomate y cempaxóchitl.

Tabla 7.8. Valores *P* para la raíz de la prueba de primer estadio (longitud)

Parámetro	Valores P						
	Maíz	Frijol	Jitomate	Lechuga	Celosía	Cempaxóchitl	Nube
Concentración	0.7763	0.2538	0.7676	0.0000	0.0001	0.0001	0.1205
MOF	0.0114	0.1462	0.3906	0.0272	0.0001	0.1971	0.0218
Interacción	0.2669	0.2950	0.0024	0.0417	0.0873	0.0758	0.0219

- **Prueba de crecimiento en primer estadio (biomasa)**

Se puede visualizar en la Tabla 7.9, que las especies con mayor afectación por parte de los tres parámetros fueron: el frijol, cempaxóchitl y nube. No obstante, para la celosía los parámetros no ejercieron algún cambio significativo.

Tabla 7.9. Valores *P* para la parte aérea de la prueba de primer estadio (biomasa)

Parámetro	Valores P						
	Maíz	Frijol	Jitomate	Lechuga	Celosía	Cempaxóchitl	Nube
Concentración	0.1258	0.8948	0.0414	0.5235	0.0018	0.2703	0.8129
MOF	0.0268	0.3925	0.0711	0.0356	0.0010	0.3213	0.8853
Interacción	0.1140	0.9973	0.0000	0.0450	0.0005	0.3673	0.3787

En la Tabla 7.10, se observa que la nube y el frijol fueron afectadas por todos los parámetros, mientras que la celosía solo se vio afectada por el parámetro de la concentración

Tabla 7.10. Valores *P* para la raíz de la prueba de primer estadio (biomasa)

Parámetro	Valores P						
	Maíz	Frijol	Jitomate	Lechuga	Celosía	Cempaxóchitl	Nube
Concentración	0.0016	0.3226	0.0946	0.3846	0.7877	0.0026	0.4734
MOF	0.2272	0.0877	0.8589	0.0835	0.0004	0.9404	0.1488
Interacción	0.0645	0.5317	0.0000	0.0002	0.0169	0.0510	0.2651

8. Conclusiones

La creciente evolución y demanda de los nanomateriales ha traído consigo diversos avances en el área de la tecnología, sin embargo los nanomateriales de reciente surgimiento no cuentan con estudios sobre sus efectos en especies vegetales.

En este proyecto se evaluó los efectos tóxicos de dos redes metalorgánicas de cobre sobre siete especies, de las cuales cuatro son comestibles (maíz, frijol, jitomate y lechuga) y tres ornamentales (celosía, cempaxóchitl y nube), con el propósito de obtener datos que permitan demostrar las afectaciones de estos nanomateriales.

Respecto a las afectaciones en el crecimiento de las especies vegetales, se tiene que en la prueba de germinación es más evidente el daño que generan las redes

metalorgánicas (MOF's) en las especies vegetales ensayadas, debido a que el contacto de las MOF's se efectúa directamente sobre las semillas.

En la prueba de germinación se tiene que la MOF $\text{Cu}_3(\text{BTC}_2)$ generó una mayor repercusión en el índice de germinación, probablemente debido a que tiene una estructura tridimensional y una mayor área superficial, lo cual le permite una mayor adsorción de los nutrientes y agua del medio, lo cual deja a las semillas sin estos, perjudicando su crecimiento. Por otra parte la MOF $\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})$ no adsorbe agua del medio, pero su afectación a la germinación está dada directamente en su aportación de cobre, ya que esta se destruye más rápido que la otra red metalorgánica, debido a que tiene una estructura unidimensional.

Cabe destacar que cada especie vegetal presenta características propias, por lo que el daño que se generó fue diferente para cada especie. En la prueba anterior las concentraciones de 500 y 1000 ppm de ambas MOF's disminuyen significativamente el índice de germinación y el crecimiento de la radícula, siendo la nube y el cempaxochitl las de mayor afectación para la MOF $\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})$, mientras que para la otra MOF fueron el cempaxóchitl y el maíz.

Además, para el caso del jitomate se observó necrosis y en la lechuga una protuberancia de color café en la punta de la raíz, esto es para ambas MOF's en 500 y 1000 ppm, lo cual indica que las redes metalorgánicas generan un estrés en estas especies.

En cuanto a la prueba de crecimiento en primer estadio, se tienen algunos casos en que la exposición a las redes metalorgánicas favorecieron el crecimiento de la raíz y/o de la parte aérea, como lo fue para el maíz y la celosía, el beneficio depende de la concentración, ya que a altas dosis (500 y 1000 ppm) este beneficio disminuye e inclusive es dañino.

Por el contrario, la nube se vio afectada en su crecimiento radicular en todas las concentraciones de ambas MOF's y el frijol se vio dañado en su parte aérea por la MOF $\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})$, siendo 1000 ppm la concentración de mayor afectación, disminuyendo 41% su crecimiento.

Sin embargo, en la generación de biomasa la lechuga presentó una disminución en su biomasa de la raíz y parte aérea por parte de la MOF $\text{Cu}_2(\text{BTC})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})$, en cambio para la celosía esta MOF la beneficio a 10 y 100 ppm.

Finalmente, se concluye que las redes metalorgánicas ensayadas causan efectos dañinos y benéficos en el índice de germinación, el crecimiento radicular y la generación de biomasa. La magnitud del daño varía de acuerdo a la concentración, MOF y especie vegetal, siendo en general 500 y 1000 ppm las concentraciones que generan mayores estragos.

9. Referencias

- Acosta R. (2009). El cultivo del maíz, su origen y su clasificación. *Cultivos tropicales*, 30 (2), 113-120.
- AgroEs. (n.d). Lechuga, taxonomía, y descripciones botánicas, morfológicas, fisiológicas y ciclo biológico. Obtenida el 16 de noviembre de 2016, de <http://www.agroes.es/cultivos-agricultura/cultivos-huerta-horticultura/lechuga/402-lechugas-descripcion-morfologia-y-ciclo>
- Argüello R. (n.d). Descripción de la planta de maíz. Obtenida el 9 de noviembre de 2016, de <http://www.mag.go.cr/rev-histo/ra-17-12-615.pdf>
- Ávalos A, Haza A., Mateo D. y Morales P. (2013). Nanopartículas de plata: aplicaciones y riesgos tóxicos para la salud humana y el medio ambiente. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 7 (2), 1-23.
- Barrera F. (2014). Plantas alimenticias. Obtenida el 7 de noviembre de 2016, de <http://plantasalimen.blogspot.mx/2014/05/plantas-alimenticias.html>
- Boqué R. y Maroto A. (2004). El análisis de la varianza ANOVA. Obtenida el 28 de mayo de 2016 de <http://rodi.urv.es/quimio/general/anovacast.pdf>
- Bosch G. P., Lara C. Víctor H. (2015). Difracción y fluorescencia de rayos X para Químicos. Materiales policristalinos. Introducción. Instituto de Investigación en Materiales, UNAM; Departamento de Química, UAM-Iztapalapa, Ed. Terracota. 93.
- Botanic Serrat. (2016). Celosía. Obtenida el 20 de noviembre de 2016, de <http://botanicmontserrat.blogspot.mx/2011/11/celosia.html>
- Chen J., Yu T., Chen Z., Xiao H., Zhou G., Weng L., Tu B., Zhao D. (2003). Synthesis and Structure of a New 3D Porous Cu (II)-Benzene-1,3,5-tricarboxylate Coordination Polymer, $[\text{Cu}_2(\text{OH})(\text{BTC})(\text{H}_2\text{O})]_n \cdot 2n\text{H}_2\text{O}$, *Chemistry Letters*, vol. 32, 590-591.
- Chen Y., Feng X., Huang X., Lin Z., Pei X., Li S., Li J., Wang S., Li R. y Wang B. (2015). A Tale of Copper Coordination Frameworks: Controlled Single-Crystal-to-Single-Crystal Transformations and Their Catalytic CH

Bond Activation Properties. *Chemistry A European Journal Communication*, vol. 21, 13894-13899.

- Chui S. S. Y., Lo S. M. F., Charmant J. P. H., Orpen A. G. y Williams I. D. (1999). A chemically functionalizable nanoporous material. *Science*, vol. 283, 1148–1150.
- Collette L., Jiménez J. y Azzu N. (2007). Biodiversidad agrícola, contexto internacional, definición y servicios ecológicos- ejemplos de América Central. Obtenida el 28 de mayo de 2016, de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/k0094s/k0094s02.pdf>
- CONABIO. (2009). Servicios Ambientales. Obtenida el 27 de mayo de 2016, de <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/serviciosam.html>
- CONABIO. (2012a). Frijol. Obtenida el 9 de noviembre de 2016, de <http://www.biodiversidad.gob.mx/ usos/alimentacion/frijol.html>
- CONABIO. (2012b). Jitomate. Obtenida el 18 de noviembre de 2016, de <http://www.biodiversidad.gob.mx/ usos/alimentacion/jitomate.html>
- Conway, J. R., Beaulieu, A. L., Beaulieu, N. L., Mazer, S. J., y Keller, A. A. (2015). Environmental Stresses Increase Photosynthetic Disruption by Metal Oxide Nanomaterials in a Soil-Grown Plant. *ACS Nano*, 9 (12), 11737–49.
- Cuevas M., Espinosa G., Ilizaliturri C. y Mendoza A. (2012). *Métodos ecotoxicológicos para la evaluación de suelos contaminados con hidrocarburos*. INE-SEMARNAT. México.
- Cuevas M., Rosaldo J. y López J. (n.d). Evaluación de la toxicidad de los suelos mediante bioensayos con semillas. Obtenida el 27 de noviembre de 2016, de <http://www.publicaciones.inecc.gob.mx/libros/665/toxicidad.pdf>
- Diario Digital RD. (2007). Beneficios de las flores y plantas ornamentales. Obtenida el 20 de noviembre de 2016, de <http://diariodigital.com.do/2007/06/28/beneficios-de-las-flores-y-plantas-ornamentales/>
- Diario Hoy Estado de México. (2015). Hallan cadáver de mujer en Central de Abastos. Obtenida el 26 de noviembre de 2016, de <http://cloudfront.hoyestado.com/wp->

content/uploads/2015/05/19023432/1centralabasts1.jpg

- Díaz del Castillo. (2012). *Introducción a los nanomateriales*. FES-Cuatitlán. México.
- El comercio. (2016). Conoce los beneficios de tener plantas en el hogar. Obtenida el 25 de mayo del 2016, de http://elcomercio.pe/casa-y-mas/decoracion/conoce-beneficios-tener-plantas-hogar-noticia-1897921?ref=flujo_tags_6138&ft=nota_1&e=titulo
- Elicrisol. (n.d). Celosía. Obtenida el 20 de noviembre de 2016, de http://www.elicriso.it/es/como_cultivar/celosia/#curiosita
- EROSKI. (2005). La lechuga. Obtenida el 16 de noviembre de 2016, de http://ideasana.fundacioneroski.es/web/es/13/escuela_5/escuela5_lechuga.pdf
- Fairén J. D. (2010). Claves de la simulación molecular para el estudio de procesos de adsorción en estructuras metal-orgánicas. *An. Quím.*, 106(3), 183-190.
- Famososexpress. (n.d). Cómo hacer un altar para día de Muertos. Obtenida el 29 de noviembre de 2016, de <http://www.famososexpress.com.mx/la-nota-curiosa/hacer-altar-dia-muertos>
- FAO. (1996). Ecología y enseñanza rural. Obtenida el 4 de noviembre de 2016, de <http://www.fao.org/docrep/006/W1309S/w1309s07.htm#TopOfPage>
- FAO. (n.d). Materia orgánica y actividad biológica. Obtenida el 28 de diciembre de 2016, de http://www.fao.org/ag/Ca/Training_Materials/CD27-Spanish/ba/organic_matter.pdf
- FAO. (1999). Guía para el manejo eficiente de la nutrición de las plantas. Obtenida el 28 de diciembre de 2016, de <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/gepnms.pdf>
- Flores C., Buono S. y Giorgini S. (2012). Enfermedades de tomate: guía de consulta. Obtenida el 29 de noviembre de 2016, de <http://es.slideshare.net/Arturinho27/enfermedades-del-tomate-39151743>

- FloresyPlantas.net (n.d). Planta del tomate. Obtenida el 20 de noviembre de 2016, de <http://www.floresyplantas.net/planta-del-tomate/>
- Fundación Xochitla. (n.d). Jardín botánico. Obtenida el 30 de noviembre de 2016, de <http://www.fundacionxochitla.org.mx/sustentabilidad-ambiental/proyectos-ambientales/jardin-botanico.html#ornamental>
- Gándara F. (2012). Metal-organic frameworks: nuevos materiales con espacios llenos de posibilidades. *Real Sociedad Española de Química*, 108 (3), 190-196.
- González B. (2016). Síntesis de estructuras metal-orgánicas (MOFs) y su aplicación en catálisis. Obtenida el 3 de mayo de 2016, de www.mufr.fr/sites/mufr.univ-toulouse.fr/files/evenement/symposium/ponencias/berenice_gonzalez_santiago.pdf
- HANNA instruments. (n.d). Manual de análisis de suelo. Obtenida el 23 de julio de 2016, de www.hannainst.es/catalogo/fichas/m_3896.pdf
- Hidroponia.mx (2015). Importancia del cultivo del jitomate en México. Obtenida el 20 de noviembre de 2016, de <http://hidroponia.mx/importancia-del-cultivo-de-jitomate-en-mexico/>
- Hidroponia.mx (2014). Producción de Cempasúchil en México. Obtenida el 20 de noviembre de 2016, de <http://hidroponia.mx/produccion-de-cempasuchil-en-mexico/>
- Hong-Cai J. y Kitagawa S. (2014). Metal-Organic Frameworks (MOF's). *Chem. Soc. Rev.*, vol. 43, 5415-5418.
- Imagui. (n.d). Dibujo de una planta de maíz y sus partes. Tomado el 26 de noviembre de 2016, de <http://www.imagui.com/a/dibujo-de-una-planta-de-maiz-y-sus-partes-iX8aoqjpG>
- INEGI. (2013). *El sector alimentario en México 2013*. INEGI. México.
- InfoAgro. (n.d1). El cultivo de la lechuga. Obtenida el 17 de noviembre de 2016, de <http://www.infoagro.com/hortalizas/lechuga.htm>

- InfoAgro. (n.d2). El cultivo de la Gypsophila. Obtenida el 22 de noviembre de 2016, de http://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_gypsophila.asp
- Infojardín. (n.d). Paniculata, Velo de novia, Gipsófila. Obtenida el 21 de noviembre de 2016, de <http://fichas.infojardin.com/perennes-anuales/gypsophila-paniculata-paniculata-velo-de-novia.htm>
- Kabata-Pendias. (2011). *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press. Cuarta Edición. Estados Unidos de América.
- Kenneth S. W. Sing, Douglas H. Everett, R. A. W. Haul, L. Moscou, Robert A. P., Rouquerol J., Siemieniowska T. (1985). Reporting Physisorption Data for Gas/Solid System". *Pure and Applied Chemistry*, 57, págs. 603-605.
- Lee, C. W., Mahendra, S., Zodrow, K., Li, D., Tsai, Y.-C., Braam, J., y Alvarez, P. J. J. (2010). Developmental phytotoxicity of metal oxide nanoparticles to *Arabidopsis thaliana*. *Environmental Toxicology and Chemistry / SETAC*, 29 (3), 669–675.
- Lee, W.-M., Kwak, J. II, y An, Y.-J. (2012). Effect of silver nanoparticles in crop plants *Phaseolus radiatus* and *Sorghum bicolor*: media effect on phytotoxicity. *Chemosphere*, 86 (5), 491–9.
- Lin, D., y Xing, B. (2007). Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root growth. *Environmental Pollution* (Barking, Essex: 1987), 150 (2), 243–50.
- Loera S., Ruiz J., Flores J., y Soto L. (2012a). Protegiendo fármacos con nanomateriales inteligentes. *Mundo nano*, 5 (1), 59-68.
- Loera S. y López M. (2012b). Redes metalorgánicas: materiales que respiran. *Materiales Avanzados*, Vol. 18, 27-33.
- Loera S., López L., Flores J., López R. y Beltrán H. (2013). An alkaline one-pot metathesis reaction to give a $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2]$ MOF at r.t. with free Cu coordination sites and enhanced hydrogen up take properties. *RSC Advances*, Vol. 3, 10962-10972.
- MacGillivray L. (2010). *Metal-organic frameworks: Design and application*. A

John Wiley & Sons, Inc., Publication. Canadá.

- Magrez A., Kasas S., Salicio V., Pasquier N., Won J., Celio M., Catsicas S., Schwaller B. y Forró L. (2006). Cellular Toxicity of Carbon-Based Nanomaterials. *Nano Letters*, 6 (6), 1121-1125.
- Meléndez G. y Soto G. (2003). Taller de Abonos orgánicos. Obtenida el 28 de diciembre de 2016, de <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Taller%20Abonos%20Org%C3%A1nicos.pdf>
- NCAGR. (n.d). Tomate. Obtenida el 20 de noviembre de 2016, de <http://www.ncagr.gov/fooddrug/espanol/documents/Tomate.pdf>
- NTR. (2013). Caro y complicado, beneficiar el frijol. Obtenida el 28 de noviembre de 2016, de <http://ntrzacatecas.com/2013/09/30/caro-y-complicado-beneficiar-el-frijol/>
- OECD. (2006), *Test No. 208: Terrestrial Plant Test: Seedling Emergence and Seedling Growth Test*, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2, OECD Publishing, París.
- Parada R. (2016). Toxicidad. Obtenida el 24 de noviembre de 2016, de <http://www.ropana.cl/toxivet/Toxicidad.htm>
- Peña C., Carter D. y Ayala-Fierro F. (2001). Toxicología Ambiental: Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental. Obtenida el 24 de noviembre de 2016, de <http://www.bvsde.paho.org/tutorial/fulltex/toxamb.pdf>
- Pinterest. (n.d). Arreglos florales. Obtenida el 30 de noviembre de 2016, de <https://es.pinterest.com/explore/arreglos-florales-895754472450/>
- Poblannerías.com (2015). Estiman 40% de pérdidas en ventas de cepmpasúchil. Obtenida el 27 de diciembre de 2016, de <http://www.poblannerias.com/2015/11/estiman-40-de-perdidas-en-ventas-de-cempasuchil/#prettyPhoto>
- Radha Kishan Motkuri, Jian Liu, Carlos A . Fernandez, Satish K. Nune, Praveen Thallapally, B. y P. McGrail (2014). *Industrial Catalysis and Separations Innovations for Process Intensification*. En Raghavan K. y

Reddy B. (Eds.), Metal organic frameworks-synthesis and applications (págs. 61-103). Apple Academic Press. Estados Unidos de América.

- Rossi P. (n.d). Beneficios de las plantas en la oficina. Obtenida el 20 de noviembre de 2016, de <http://oficinaybienestar.com/n/2001/beneficios-de-las-plantas-en-la-oficina.html>
- SAGARPA. (2009). *La infraestructura y sistemas requeridos para el desarrollo de clústeres de horticultura ornamental orientados a la explotación de productos de valor agregado a los Estados Unidos y Canadá*. SAGARPA. México.
- Sánchez I. (2014). Maíz I (*Zea mays*). *Reduca serie botánica*, 7 (2), 151-171.
- Sánchez R. (n.d). Implicación e Influencia de las nanotecnologías y los Nanomateriales en Prevención de Riesgos Laborales. Obtenida el 15 de octubre de 2016, de <http://www.trabajoyprevencion.jcyl.es/web/jcyl/binarios/185/602/Implicaci%C3%B3n%20e%20Influencia%20de%20las%20Nanotecnolog%C3%ADas%20y%20los%20Nanomateriales%20en%20PRL.pdf>
- Sangerman D., Acosta J., Schwenstesius R., Huato M. y Larqué B. (2010). Consideraciones e importancia social en torno al cultivo del frijol en el centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1 (3), 358-375.
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (2009). *Informe sobre la Conservación de las Especies Vegetales: Un resumen de los progresos realizados en la implementación de la Estrategia Mundial para la Conservación de las Especies Vegetales (GSPC)*. Canadá.
- SEMARNAT. (2002). *Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis*. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 31 de diciembre de 2002.
- Skoog, D. Holler A., James F. y Nieman, T. A. (1992). *Principios de análisis instrumental*. 5ta edición. Editorial Mc Graw Hill, 1028.
- Siddiqui M., Al-Whaibi M. y Mohammad F. (2015). *Nanotechnology and*

Plant Sciences: Nanoparticles and Their Impact on Plants. Springer International Publishing. Suiza.

- Significados.com (n.d). Significado de flor de Cempasúchil. Obtenida el 20 de noviembre de 2016, de <https://www.significados.com/flor-de-cempasuchil/>
- SMDF. (2012). *Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011, que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Distrito Federal*. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de Noviembre del 2012.
- Sobrero M. y Ronco A. (2004). Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga, *Lactuca Sativa L.* Obtenida el 27 de noviembre de 2016, de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/573/cap4.pdf>
- Sociedade Nacional de Agricultura. (2015). II Workshop Brasileiro FLV IV Gama debate consumo seguro de frutas, verduras e legumes. Obtenida el 2 de enero de 2017, de <http://sna.agr.br/ii-workshop-brasileiro-flv-iv-gama-debate-consumo-seguro-de-frutas-verduras-e-legumes/>
- SOPT. (2013). *Propiedades y aplicaciones del grafeno*. Ministerio de defensa. España.
- SQM. (n.d). Lechuga. Obtenida el 29 de noviembre de 2016, de <http://www.sqm.com/es-es/productos/nutricionvegetaldeespecialidad/cultivos/lechuga.aspx#tabs-2>
- SSA. (2006). *Norma Oficial Mexicana NOM-043-SSA2-2005, Servicios básicos de salud. Promoción y educación para la salud en materia alimentaria. Criterios para brindar orientación*. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de Enero de 2006.
- StatPoint, Inc. (2006). ANOVA multifactorial. Obtenida el 5 de diciembre de 2016, de Software Statgraphics Centurion XV.

- UCO. (n.d). Fenómenos de superficie. Adsorción de gases por sólidos. Isotermas de adsorción-desorción Porosidad. Obtenida el 3 de enero de 2017, de <http://www.uco.es/~iq2sagrl/TranspAdsGases.pdf>
- Universidad Veracruzana. (n.d). ¿Por qué son importantes las plantas?. Obtenida el 6 de noviembre de 2016, de <http://reservaeleden.org/plantasloc/intro/impotancia.html>
- Vasilievna O. y Ortiz U. (2002). La estructura del fullereno C60 y sus aplicaciones. *Ciencia UANL*, 5 (4), 475-479.
- Vibrans H., Hanan A. y Mondragón J. (2009a). Frijol silvestre. Obtenida el 8 de noviembre de 2016, de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/fabaceae/phaseolus-vulgaris/fichas/ficha.htm>
- Vibrans H. y Mondragón J. (2009b). Tagetes erecta L. Obtenida el 20 de noviembre de 2016, de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/tagetes-erecta/fichas/ficha.htm>
- Yakult. (n.d). El Plato del Bien Comer. Obtenida el 9 de noviembre de 2016, de http://www.promocion.salud.gob.mx/dgps/descargas1/programas/6_1_plato_bien_comer.pdf
- Yarger L. (2007). La espinaca de lagos. Obtenida el 20 de noviembre de 2016, de <https://c.ymcdn.com/sites/echocommunity.site-ym.com/resource/collection/96a1b5df-dad3-4d80-b3bc-faf7f6a0414e/lagossinach.pdf>

ANEXO A

Análisis estadístico de la prueba de germinación

En cada caso, al inicio se muestra el valor p del análisis estadístico correspondiente, en donde si el valor $p < 0.05$ significa que hubo una diferencia estadísticamente significativa para los factores evaluados y las variables de respuesta.

MAÍZ

- Análisis de Varianza para Germinación - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: MOF	24.6253	1	24.6253	6.97	0.0120
B: Concentración	154.184	3	51.3945	14.55	0.0000
INTERACCIONES					
AB	51.2065	3	17.0688	4.83	0.0060
RESIDUOS	134.256	38	3.53307		
TOTAL (CORREGIDO)	369.944	45			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Germinación por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1000	9	1.3775	0.630452	X
500	12	5.03286	0.550304	X
100	10	5.54583	0.606653	XX
10	15	6.53036	0.486404	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Germinación por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	21	3.86768	0.418421	X
3	25	5.3756	0.388786	X

FRIJOL

- Análisis de Varianza para Germinación - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	144.48	3	48.1599	27.55	0.0000
B: MOF	28.0225	1	28.0225	16.03	0.0001
INTERACCIONES					
AB	35.7949	3	11.9316	6.82	0.0003
RESIDUOS	229.039	131	1.74839		
TOTAL (CORREGIDO)	435.695	138			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Germinación por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1000	35	2.66431	0.224329	X
500	37	4.4691	0.22411	X
100	37	4.95982	0.219392	XX
10	30	5.4425	0.256056	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Germinación por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	75	3.92067	0.154512	X
1	64	4.8472	0.172301	X

JITOMATE

- Análisis de Varianza para Germinación - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	54.2747	3	18.0916	65.44	0.0000
B: MOF	2.2648	1	2.2648	8.19	0.0049
INTERACCIONES					
AB	4.38005	3	1.46002	5.28	0.0018
RESIDUOS	36.2167	131	0.276463		
TOTAL (CORREGIDO)	99.6574	138			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Germinación por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1000	34	0.849298	0.0908042	X
500	29	1.00319	0.0991226	X
100	35	2.08092	0.0892043	X
10	41	2.2598	0.0833394	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Germinación por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	79	1.41837	0.0596255	X
3	60	1.67824	0.0684703	X

LECHUGA

- Análisis de Varianza para Germinación - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	254.918	3	84.9727	222.68	0.0000
B: MOF	4.66333	1	4.66333	12.22	0.0006
INTERACCIONES					
AB	1.89378	3	0.63126	1.65	0.1783
RESIDUOS	74.4089	195	0.381584		
TOTAL (CORREGIDO)	338.375	202			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Germinación por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1000	50	0.896	0.0873595	X
500	47	1.21914	0.0906187	X
100	53	2.78521	0.0849873	X
10	53	3.62244	0.0848662	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Germinación por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	97	1.97865	0.0629354	X
1	106	2.28275	0.0600523	X

CELOSÍA

- Análisis de Varianza para Germinación - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	20.8552	3	6.95172	55.90	0.0000
B: MOF	2.61134	1	2.61134	21.00	0.0000
INTERACCIONES					
AB	0.38579	3	0.128597	1.03	0.3786
RESIDUOS	24.2489	195	0.124353		
TOTAL (CORREGIDO)	46.93	202			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Germinación por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1000	70	0.652098	0.0436149	X
500	58	0.736887	0.0470075	X
100	32	1.00625	0.0623381	X
10	43	1.49156	0.0537913	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Germinación por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	88	0.852138	0.0382334	X
1	115	1.09126	0.0355117	X

CEMPAXÓCHITL

- Análisis de Varianza para Germinación - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	188.227	3	62.7424	57.12	0.0000
B: MOF	36.459	1	36.459	33.19	0.0000
INTERACCIONES					
AB	0.633445	3	0.211148	0.19	0.9016
RESIDUOS	214.182	195	1.09837		
TOTAL (CORREGIDO)	504.024	202			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Germinación por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1000	65	1.17325	0.158107	X
500	63	1.61417	0.155006	X
100	36	2.66111	0.201693	X
10	39	3.96667	0.168318	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Germinación por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	147	1.85895	0.0926697	X
3	56	2.84865	0.144642	X

NUBE

- Análisis de Varianza para Germinación - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	323.895	3	107.965	408.03	0.0000
B: MOF	8.51249	1	8.51249	32.17	0.0000
INTERACCIONES					
AB	11.7858	3	3.92861	14.85	0.0000
RESIDUOS	51.5973	195	0.264602		
TOTAL (CORREGIDO)	403.009	202			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Germinación por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1000	53	0.720343	0.0756883	X
500	41	1.26949	0.0833923	X
100	52	2.86644	0.0713865	X
10	57	3.93393	0.0681437	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Germinación por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	85	1.98522	0.057684	X
1	118	2.40988	0.0477306	X

ANEXO B

Análisis estadístico de la prueba de primer estadio (longitud)

En cada caso, al inicio se muestra el valor p del análisis estadístico correspondiente, en donde si el valor $p < 0.05$ significa que hubo una diferencia estadísticamente significativa para los factores evaluados y las variables de respuesta.

MAÍZ

- Raíz

- Análisis de Varianza para Raíz - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	6.18742	3	2.06247	0.37	0.7763
B: MOF	42.9753	1	42.9753	7.68	0.0114
INTERACCIONES					
AB	23.7103	3	7.90344	1.41	0.2669
RESIDUOS	117.455	21	5.5931		
TOTAL (CORREGIDO)	197.659	28			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
500	8	25.6375	0.836144	X
1000	7	25.6667	0.903139	X
100	8	26.2875	0.836144	X
10	6	26.8	0.965496	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	14	24.8687	0.638616	X
3	15	27.3271	0.615385	X

- **Parte Aérea**

- Análisis de Varianza para Parte Aérea - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	174.194	3	58.0646	0.98	0.4250
B: MOF	166.268	1	166.268	2.81	0.1120
INTERACCIONES					
AB	275.766	3	91.9221	1.55	0.2374
RESIDUOS	1006.24	17	59.1906		
TOTAL (CORREGIDO)	1607.79	24			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1000	6	40.7167	3.14088	X
100	6	41.35	3.14088	X
10	6	45.5333	3.14088	X
500	7	46.8375	2.93802	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	13	41.0187	2.15041	X
3	12	46.2	2.22094	X

FRIJOL
- **Raíz**

- Análisis de Varianza para Raíz - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	22.4348	3	7.47827	1.49	0.2538
B: MOF	11.6709	1	11.6709	2.33	0.1462
INTERACCIONES					
AB	20.1878	3	6.72926	1.35	0.2950
RESIDUOS	80.0362	16	5.00226		
TOTAL (CORREGIDO)	142.43	23			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1000	5	23.8833	1.02085	X
500	7	24.6875	0.854106	X
100	6	26.375	0.968465	X
10	6	26.42	1.22502	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	16	24.5579	0.568386	X
1	8	26.125	0.854106	X

- **Parte Aérea**

- Análisis de Varianza para Parte Aérea - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	671.633	3	223.878	3.27	0.0730
B: MOF	16.4673	1	16.4673	0.24	0.6355
INTERACCIONES					
AB	1009.66	3	336.555	4.92	0.0272
RESIDUOS	615.998	9	68.4443		
TOTAL (CORREGIDO)	2708.22	16			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1000	4	34.9	4.13655	X
100	5	44.1667	3.77614	XX
500	5	44.3583	3.77614	XX
10	3	55.3	5.06622	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	9	43.6458	2.80046	X
1	8	45.7167	3.15934	X

JITOMATE

- Raíz

- Análisis de Varianza para Raíz - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	8.59275	3	2.86425	0.38	0.7676
B: MOF	5.70025	1	5.70025	0.76	0.3906
INTERACCIONES					
AB	134.477	3	44.8256	5.96	0.0024
RESIDUOS	240.82	32	7.52563		
TOTAL (CORREGIDO)	389.59	39			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
100	10	6.88	0.867504	X
500	10	7.57	0.867504	X
10	10	7.82	0.867504	X
1000	10	8.14	0.867504	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	20	7.225	0.613418	X
3	20	7.98	0.613418	X

- **Parte Aérea**

- Análisis de Varianza para Parte Aérea - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	15.426	3	5.142	0.40	0.7563
B: MOF	10.816	1	10.816	0.83	0.3678
INTERACCIONES					
AB	210.594	3	70.198	5.42	0.0040
RESIDUOS	414.828	32	12.9634		
TOTAL (CORREGIDO)	651.664	39			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
100	10	11.73	1.13857	X
10	10	12.24	1.13857	X
1000	10	12.74	1.13857	X
500	10	13.41	1.13857	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	20	12.01	0.805089	X
3	20	13.05	0.805089	X

LECHUGA

- Raíz

- Análisis de Varianza para Raíz - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	267.093	3	89.0309	72.21	0.0000
B: MOF	7.28543	1	7.28543	5.91	0.0272
INTERACCIONES					
AB	12.7677	3	4.2559	3.45	0.0417
RESIDUOS	19.7263	16	1.2329		
TOTAL (CORREGIDO)	325.47	23			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
500	5	5.31667	0.506807	X
1000	8	6.99	0.405446	X
100	5	7.425	0.506807	X
10	6	14.2167	0.453302	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	13	7.91583	0.324515	X
1	11	9.05833	0.339976	X

- **Parte Aérea**

- Análisis de Varianza para Parte Aérea - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	16.9556	3	5.65186	2.04	0.1405
B: MOF	21.4541	1	21.4541	7.75	0.0115
INTERACCIONES					
AB	17.1181	3	5.70604	2.06	0.1377
RESIDUOS	55.3883	20	2.76942		
TOTAL (CORREGIDO)	117.641	27			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1000	6	14.6167	0.679389	X
100	7	15.4792	0.63551	XX
500	9	16.4	0.558175	XX
10	6	16.7375	0.720601	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	14	14.9021	0.449374	X
3	14	16.7146	0.471307	X

CELOSÍA

- Raíz

- Análisis de Varianza para Raíz - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	11.541	3	3.84699	19.08	0.0001
B: MOF	7.875	1	7.875	39.05	0.0001
INTERACCIONES					
AB	1.71454	3	0.571512	2.83	0.0873
RESIDUOS	2.21833	11	0.201667		
TOTAL (CORREGIDO)	23.5579	18			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1000	5	3.06667	0.204973	X
100	5	4.81667	0.204973	X
500	4	4.825	0.224537	X
10	5	4.95	0.204973	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	9	3.75833	0.152012	X
1	10	5.07083	0.144938	X

- **Parte Aérea**

- Análisis de Varianza para Parte Aérea - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	2.55072	3	0.850241	1.31	0.3071
B: MOF	6.16333	1	6.16333	9.51	0.0076
INTERACCIONES					
AB	17.51	3	5.83666	9.01	0.0012
RESIDUOS	9.71833	15	0.647889		
TOTAL (CORREGIDO)	33.5791	22			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1000	7	7.14583	0.307382	X
10	4	7.85	0.402458	X
100	5	7.88333	0.367392	X
500	7	7.8875	0.307382	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	10	7.15417	0.259785	X
1	13	8.22917	0.232359	X

CEMPAXÓCHITL

- Raíz

- Análisis de Varianza para Raíz - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	241.373	3	80.4575	15.83	0.0001
B: MOF	9.3925	1	9.3925	1.85	0.1971
INTERACCIONES					
AB	44.0794	3	14.6931	2.89	0.0758
RESIDUOS	66.0625	13	5.08173		
TOTAL (CORREGIDO)	380.49	20			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1000	4	5.675	1.12713	X
500	5	9.39167	1.02893	X
100	7	12.3458	0.860863	X
10	5	15.6417	1.02893	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	12	10.0729	0.670779	X
3	9	11.4542	0.763074	X

- **Parte Aérea**

- Análisis de Varianza para Parte Aérea - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	13.7952	3	4.59839	1.58	0.2358
B: MOF	35.4119	1	35.4119	12.16	0.0033
INTERACCIONES					
AB	5.77904	3	1.92635	0.66	0.5883
RESIDUOS	43.665	15	2.911		
TOTAL (CORREGIDO)	100.046	22			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1000	6	13.05	0.696539	X
10	6	14.4833	0.696539	X
500	6	14.8667	0.696539	X
100	5	14.9917	0.778754	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	11	13.0958	0.522404	X
3	12	15.6	0.492527	X

NUBE

- Raíz

- Análisis de Varianza para Raíz - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	5.35505	3	1.78502	2.48	0.1205
B: MOF	5.29531	1	5.29531	7.37	0.0218
INTERACCIONES					
AB	10.8985	3	3.63285	5.06	0.0219
RESIDUOS	7.185	10	0.7185		
TOTAL (CORREGIDO)	32.4694	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
500	6	3.3	0.367041	X
1000	4	3.75	0.423822	XX
10	3	4.1	0.519074	XX
100	5	4.725	0.386895	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	8	3.3875	0.299687	X
1	10	4.55	0.305867	X

- **Parte Aérea**

- Análisis de Varianza para Parte Aérea - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	8.3522	3	2.78407	0.68	0.5768
B: MOF	0.0793798	1	0.0793798	0.02	0.8910
INTERACCIONES					
AB	6.89409	3	2.29803	0.56	0.6475
RESIDUOS	57.0317	14	4.07369		
TOTAL (CORREGIDO)	70.535	21			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
10	3	6.825	1.23597	X
500	6	7.575	0.873966	X
1000	7	8.30417	0.770766	X
100	6	8.7625	0.873966	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	12	7.8	0.617987	X
1	10	7.93333	0.728305	X

ANEXO C

Análisis estadístico de la prueba de primer estadio (masa seca)

En cada caso, al inicio se muestra el valor p del análisis estadístico correspondiente, en donde si el valor $p < 0.05$ significa que hubo una diferencia estadísticamente significativa para los factores evaluados y las variables de respuesta.

MAÍZ

- Raíz

- Análisis de Varianza para Raíz - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	0.00420142	3	0.00140047	7.55	0.0016
B: MOF	0.000288759	1	0.000288759	1.56	0.2272
INTERACCIONES					
AB	0.00158746	3	0.000529153	2.85	0.0645
RESIDUOS	0.00352335	19	0.000185439		
TOTAL (CORREGIDO)	0.00908329	26			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
500	5	0.0270925	0.00621556	X
100	8	0.03272	0.00497245	X
1000	8	0.0474375	0.00481455	X
10	6	0.0614333	0.00555937	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	12	0.03879	0.00405205	X
3	15	0.0455517	0.00359752	X

- **Parte Aérea**

- Análisis de Varianza para Parte Aérea - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	0.0128641	3	0.00428804	2.20	0.1258
B: MOF	0.0114756	1	0.0114756	5.88	0.0268
INTERACCIONES					
AB	0.0134623	3	0.00448742	2.30	0.1140
RESIDUOS	0.033183	17	0.00195194		
TOTAL (CORREGIDO)	0.0724691	24			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
100	7	0.121267	0.0168718	X
1000	7	0.122708	0.0168718	X
500	5	0.163592	0.0201657	X
10	6	0.171233	0.0180367	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	12	0.122833	0.0127539	X
3	13	0.166567	0.0127539	X

FRIJOL

- Raíz

- Análisis de Varianza para Raíz - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	0.00133966	3	0.000446552	1.26	0.3226
B: MOF	0.00117941	1	0.00117941	3.34	0.0877
INTERACCIONES					
AB	0.000810307	3	0.000270102	0.76	0.5317
RESIDUOS	0.00530309	15	0.000353539		
TOTAL (CORREGIDO)	0.00965937	22			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
500	8	0.0442267	0.00686575	X
1000	5	0.051725	0.00858219	X
100	5	0.05385	0.00858219	X
10	5	0.0684875	0.010511	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	15	0.0465988	0.0049673	X
1	8	0.0625458	0.00718038	X

- **Parte Aérea**

- **Análisis de Varianza para Parte Aérea - Suma de Cuadrados Tipo III**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	0.00521765	3	0.00173922	0.20	0.8948
B: MOF	0.0066237	1	0.0066237	0.76	0.3925
INTERACCIONES					
AB	0.000397122	3	0.000132374	0.02	0.9973
RESIDUOS	0.173445	20	0.00867224		
TOTAL (CORREGIDO)	0.193805	27			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- **Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por Concentración**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
500	9	0.248773	0.031235	X
100	6	0.256125	0.0403243	X
1000	7	0.267285	0.0389569	X
10	6	0.29359	0.0510066	X

- **Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por MOF**

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	9	0.248531	0.0349218	X
3	19	0.284355	0.0214642	X

JITOMATE

- Raíz

- Análisis de Varianza para Raíz - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	0.00000466782	3	0.00000155594	2.37	0.0946
B: MOF	2.11791E-8	1	2.11791E-8	0.03	0.8589
INTERACCIONES					
AB	0.0000276467	3	0.00000921557	14.04	0.0000
RESIDUOS	0.0000164097	25	6.56387E-7		
TOTAL (CORREGIDO)	0.0000472352	32			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
10	9	0.00209	0.000271742	X
1000	10	0.00218	0.0002562	X
100	7	0.0024375	0.000309391	XX
500	7	0.00309583	0.000309391	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	18	0.002425	0.00019215	X
3	15	0.00247667	0.000214033	X

- **Parte Aérea**

- Análisis de Varianza para Parte Aérea - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	0.000437951	3	0.000145984	3.20	0.0414
B: MOF	0.000162753	1	0.000162753	3.57	0.0711
INTERACCIONES					
AB	0.00206822	3	0.000689407	15.11	0.0000
RESIDUOS	0.00109518	24	0.0000456323		
TOTAL (CORREGIDO)	0.00358414	31			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
100	7	0.015725	0.00257967	X
1000	9	0.0168675	0.00226575	X
10	9	0.0187975	0.00226575	XX
500	7	0.025875	0.00257967	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	17	0.0170238	0.00164603	X
3	15	0.0216087	0.00178459	X

LECHUGA

- Raíz

- Análisis de Varianza para Raíz - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	4.67903E-7	3	1.55968E-7	1.07	0.3846
B: MOF	4.85632E-7	1	4.85632E-7	3.34	0.0835
INTERACCIONES					
AB	0.00000465678	3	0.00000155226	10.67	0.0002
RESIDUOS	0.000002765	19	1.45526E-7		
TOTAL (CORREGIDO)	0.00000834963	26			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1000	7	0.0009375	0.00014568	X
100	7	0.000945833	0.00014568	X
500	6	0.00118333	0.000155738	X
10	7	0.001225	0.00014568	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	13	0.0009375	0.000106627	X
3	14	0.00120833	0.000103011	X

- **Parte Aérea**

- Análisis de Varianza para Parte Aérea - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	0.0000365614	3	0.0000121871	0.77	0.5235
B: MOF	0.0000794402	1	0.0000794402	5.01	0.0356
INTERACCIONES					
AB	0.000150071	3	0.0000500238	3.16	0.0450
RESIDUOS	0.000348531	22	0.0000158423		
TOTAL (CORREGIDO)	0.000649983	29			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
100	6	0.0110333	0.00162493	X
500	9	0.0123525	0.00133501	X
1000	8	0.012625	0.00140723	X
10	7	0.0143625	0.00151998	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	16	0.0109408	0.00101151	X
3	14	0.0142458	0.00107479	X

CELOSÍA

- Raíz

- Análisis de Varianza para Raíz - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	1.50841E-7	3	5.02804E-8	0.35	0.7877
B: MOF	0.00000256667	1	0.00000256667	18.00	0.0004
INTERACCIONES					
AB	0.00000186774	3	6.2258E-7	4.37	0.0169
RESIDUOS	0.00000270933	19	1.42596E-7		
TOTAL (CORREGIDO)	0.00000692519	26			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1000	8	0.000923333	0.000137887	X
100	5	0.00106667	0.000172359	X
500	8	0.00107667	0.000137887	X
10	6	0.00111667	0.000154163	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	12	0.000725	0.000109009	X
1	15	0.00136667	0.000104842	X

- **Parte Aérea**

- Análisis de Varianza para Parte Aérea - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	0.0000690317	3	0.0000230106	7.12	0.0018
B: MOF	0.0000471854	1	0.0000471854	14.61	0.0010
INTERACCIONES					
AB	0.0000887285	3	0.0000295762	9.16	0.0005
RESIDUOS	0.0000678235	21	0.00000322969		
TOTAL (CORREGIDO)	0.000243972	28			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1000	8	0.00515667	0.000656221	X
100	7	0.00746667	0.000686292	X
500	9	0.0085225	0.000602777	X
10	5	0.00946667	0.000820276	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	14	0.00632292	0.000485282	X
1	15	0.00898333	0.000498954	X

CEMPAXÓCHITL

- Raíz

- Análisis de Varianza para Raíz - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	0.0000254736	3	0.00000849121	6.85	0.0026
B: MOF	7.11111E-9	1	7.11111E-9	0.01	0.9404
INTERACCIONES					
AB	0.0000115458	3	0.00000384861	3.11	0.0510
RESIDUOS	0.0000235467	19	0.0000012393		
TOTAL (CORREGIDO)	0.0000588719	26			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
10	5	0.002225	0.000508121	X
500	7	0.0025875	0.000425125	X
1000	7	0.00330833	0.000425125	X
100	8	0.0047375	0.000393589	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	14	0.00319792	0.000300609	X
3	13	0.00323125	0.000321364	X

- **Parte Aérea**

- Análisis de Varianza para Parte Aérea - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	0.00029015	3	0.0000967165	1.41	0.2703
B: MOF	0.0000710719	1	0.0000710719	1.04	0.3213
INTERACCIONES					
AB	0.000229431	3	0.0000764769	1.12	0.3673
RESIDUOS	0.00130207	19	0.0000685303		
TOTAL (CORREGIDO)	0.0019709	26			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
10	4	0.0179	0.00413915	X
1000	7	0.0217375	0.00316133	X
100	8	0.0242	0.00292682	X
500	8	0.0276875	0.00292682	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	13	0.0211875	0.00238974	X
3	14	0.024575	0.00231386	X

NUBE

- Raíz

- Análisis de Varianza para Raíz - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	3.83232E-8	3	1.27744E-8	0.90	0.4734
B: MOF	3.43262E-8	1	3.43262E-8	2.41	0.1488
INTERACCIONES					
AB	6.47475E-8	3	2.15825E-8	1.52	0.2651
RESIDUOS	1.56667E-7	11	1.42424E-8		
TOTAL (CORREGIDO)	3.09474E-7	18			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1000	5	0.000233333	0.0000544718	X
10	3	0.000275	0.0000730815	X
500	6	0.000325	0.0000516764	X
100	5	0.00035	0.0000544718	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Raíz por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	9	0.00025	0.0000403973	X
1	10	0.000341667	0.0000430637	X

- **Parte Aérea**

- Análisis de Varianza para Parte Aérea - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración	9.09639E-7	3	3.03213E-7	0.32	0.8129
B: MOF	2.05342E-8	1	2.05342E-8	0.02	0.8853
INTERACCIONES					
AB	0.0000031497	3	0.0000010499	1.10	0.3787
RESIDUOS	0.0000153008	16	9.56302E-7		
TOTAL (CORREGIDO)	0.0000197896	23			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por Concentración

Método: 95.0 porcentaje LSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
500	6	0.002375	0.000423446	X
1000	7	0.0025625	0.000373444	X
10	4	0.00278333	0.000564595	X
100	7	0.00289167	0.000373444	X

- Pruebas de Múltiple Rangos para Parte Aérea por MOF

Método: 95.0 porcentaje LSD

MOF	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	11	0.00262083	0.000338463	X
3	13	0.00268542	0.000282297	X