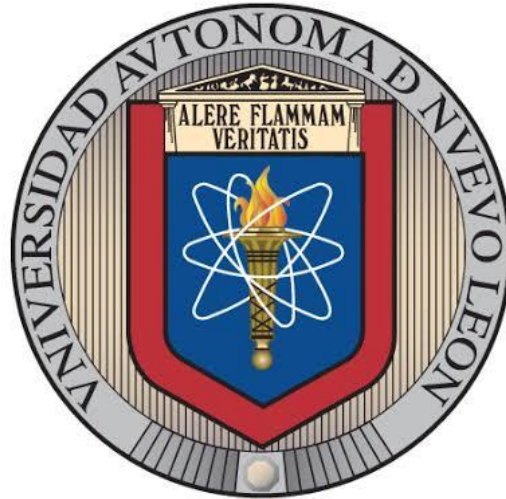


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**EVALUACIÓN DE FERTILIZANTES NITROGENADOS, NANOPARTÍCULAS DE Zn
Y BIOESTIMULANTES EN EL CULTIVO DE SORGO (*Sorghum bicolor* L.
Moench)**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

PRESENTA

CARLOS ALBERTO GABRIEL ZUNUN

General Escobedo, N. L.

Agosto de 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**EVALUACIÓN DE FERTILIZANTES NITROGENADOS, NANOPARTÍCULAS DE Zn
Y BIOESTIMULANTES EN EL CULTIVO DE SORGO (*Sorghum bicolor* L.
Moench)**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

PRESENTA

CARLOS ALBERTO GABRIEL ZUNUN

General Escobedo, N. L.

Agosto de 2023

**ESTA TESIS FUE REVISADA Y APROBADA POR EL COMITÉ PARTICULAR
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN
CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

COMITÉ PARTICULAR

Ph. D. Emilio Olivares Sáenz

Director de Tesis

Dra. Juanita Guadalupe Gutiérrez Soto

Asesor Auxiliar

Ph. D. Rigoberto E. Vázquez Alvarado

Asesor Auxiliar

Dr. Roberto Carranza de la Rosa

Asesor Auxiliar

Dr. Josué Israel García López

Asesor Externo

Dra. Juanita Guadalupe Gutiérrez Soto
Subdirector de Posgrado e Investigación

DEDICATORIA

A mis padres por su apoyo incondicional, por su ardua preocupación para mi bien estar y ser mi motor para seguir adelante.

A mis hermanos por apoyar en cada proyecto de mi vida.

A mi familia en general por no dudar de mis habilidades y por motivarme en todas las ocasiones antes de iniciar un proyecto.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por sus abundantes bendiciones, por acompañarme y cuidarme en todo momento.

Al Dr. Emilio Olivares Sáenz por su apoyo incondicional en el transcurso del posgrado, por sus consejos y por la ola de conocimientos que me transmitió.

A los integrantes del comité de mi tesis por sus comentarios constructivos que ayudaron a mejorar el contenido del presente trabajo.

Al Ing. Fernando Cabrieles por apoyarme con los análisis de laboratorio para el trabajo de investigación.

A mi primo y hermano Yoni Gabriel por su apoyo en esta aventura llamada vida.

Agradezco a mis amigos por motivarme y apoyarme en cada momento.

Al CONAHCyT por brindarme la beca para cursar el posgrado.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN.....	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Hipótesis	5
1.1.1 Hipótesis general.....	5
1.1.2 Hipótesis específicas	5
1.2 Objetivos.....	6
1.2.1 Objetivo general.....	6
1.2.2 Objetivos específicos	6
2. REVISIÓN DE LITERATURA	7
2.1 Problemática de los Fertilizantes	7
2.2 Fertilizantes Nitrogenados	7
2.3 Importancia del Nitrógeno (N).....	8
2.3.1 Formas en las que se encuentra el nitrógeno (N).....	9
2.3. 2 El nitrógeno (N) y su ciclo	9
2.4 Nanopartículas en la Agricultura.....	10
2.4.1 Nanopartículas de zinc	11
2.5 Oligosacarinas	12
2.6 Sustancias Húmicas (SH).....	13
2.7 Cultivo de Sorgo	14
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1 Localización del Estudio.....	15
3.2 Establecimiento del Experimento	15
3.3 Tratamientos	16
3.4 Manejo del Cultivo.....	19
3.5 Características Agronómicas de las Plantas que se Evaluaron	21
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1.1 Análisis de Suelo.....	25

4.1.2 Análisis del agua	25
4.2 Daños por Antracnosis (<i>Colletotrichum graminicola</i>)	26
4.3 Número de Hijuelos.....	27
4.4 Ancho de Hoja del Primer Muestreo.....	28
4.5 Ancho de Hoja del Segundo Muestreo	29
4.6 Diámetro de Tallo.....	30
4.7 Peso seco de Hojas.....	32
4.8 Peso Seco de Tallo	33
4.9 Peso de Panoja.	35
4.10 Rendimiento de Grano.....	36
4.11 Peso de 100 Semillas.....	38
4.12 Concentración de Nitrógeno en Tejido foliar	40
4.13 Concentración de Fósforo en Tejido Vegetal.....	41
4.14 Concentración de Calcio en Tejido Foliar.....	42
4.15 Contenido de Nitrógeno Total en Hojas.	43
4.16 Contenido de Fósforo Total en Hojas	45
4.17 Contenido de Potasio Total en Hojas.....	46
4.18 Concentración de Zinc en el Tejido Foliar	47
5. CONCLUSIONES	49
6. LITERATURA CONSULTADA.....	51

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Resultados del análisis de Suelo (sustrato).....	25
Cuadro 2	Análisis químico del agua utilizada en el experimento	26
Cuadro 3	Tratamientos dañados por antracnosis.....	27
Cuadro 4	Número de hijuelos por tratamiento.....	27
Cuadro 5	ANOVA ancho de hoja (1 ^{er} muestreo: 22- julio 2022)	28
Cuadro 6	Comparación de medias de ancho de hoja (1 ^{er} muestreo: 22- julio- 2022)	29
Cuadro 7	ANOVA de ancho de hoja (2 ^{do} muestreo: 10-agosto-2022)	29
Cuadro 8	Comparación de medias de ancho de hoja (2 ^{do} muestreo: 10- agosto-2022)	30
Cuadro 9	ANOVA de diámetro de tallo (3 ^{er} muestreo: 31-agosto-2022)	31
Cuadro 10	Comparación de medias de diámetro de tallo (3 ^{er} muestreo:31- agosto-2022)	31
Cuadro 11	ANOVA de peso seco de hojas.....	32
Cuadro 12	Comparación de medias de peso seco de hojas.....	33
Cuadro 13	ANOVA de peso seco de tallos.....	33
Cuadro 14	Comparación de medias de peso seco de tallos.....	34
Cuadro 15	ANOVA de peso de panoja.....	35
Cuadro 16	Comparación de medias de peso de panoja.....	35
Cuadro 17	ANOVA rendimiento de grano.....	36
Cuadro 18	Comparación de medias de variable rendimiento de grano.....	37
Cuadro 19	ANOVA de peso de 100 semillas.....	38
Cuadro 20	Comparación de medias de peso de 100 semillas.....	39
Cuadro 21	ANOVA de concentración de N % en el tejido foliar.....	40
Cuadro 22	Comparación de medias de concentración de N% en el tejido foliar.....	41
Cuadro 23	ANOVA de concentración de P % en el tejido foliar.....	41

Cuadro 24	Comparación de medias de concentración de P % en el tejido vegetal.....	42
Cuadro 25	ANOVA de concentración de Ca % en el tejido foliar.....	42
Cuadro 26	Comparación de concentración de Ca % en el tejido foliar.....	43
Cuadro 27	ANOVA de contenido de N (g) total en hojas.....	44
Cuadro 28	Comparación de medias de contenido de N (g) total en hojas.....	44
Cuadro 29	ANOVA de contenido de P (g) total en hojas.....	45
Cuadro 30	Comparación de medias de contenido de P (g) total en hojas.....	46
Cuadro 31	ANOVA de contenido de K (g) total en hojas.....	46
Cuadro 32	Comparación de medias de contenido de K (g) total en hojas.....	47
Cuadro 33	Concentración de Zn (ppm) en el tejido foliar.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Croquis del experimento.....	16
Figura 2	Establecimiento del experimento.....	16
Figura 3	Unidad experimental.....	16
Figura 4	Fertilizante Nitroflux.....	17
Figura 5	Fertilizante Sulfato de amonio.....	17
Figura 6	Bioestimulante Enerplant, presentación 20 g.....	18
Figura 7	Dispersión de nanopartículas en ultrasonido.....	18
Figura 8	a)NP´s ZnO orgánicas y b)NP´s ZnO inorgánicas.....	18
Figura 9	Sustancias húmicas.....	19
Figura 10	Recolección de datos de: a) altura de planta; b) diámetro de tallo ; c,d) largo y ancho de hoja.....	21
Figura 11	b) Longitud y b) excerción de panoja.....	22
Figura 12	Peso de panoja con grano	22
Figura 13	Cosecha de tallos y hojas.....	23
Figura 14	a) Secado y pesado de b)hojas y c)tallos.....	23
Figura 15	Peso de 100 semillas.....	24
Figura 16	Síntomas en plantas afectadas por antracnosis.....	27
Figura 17	Brotes o hijuelos en los tratamientos a) sulfato de amonio y b) Enerplant (bioestimulante).....	28

RESUMEN

En los últimos años se han desarrollado productos que aumentan los rendimientos en las plantas, como mejoradores de suelo, nanofertilizantes y bioestimulantes, sin embargo, se desconoce el efecto que tienen en algunos cultivos, como en el caso del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Por lo anterior el presente estudio tuvo como objetivo evaluar dos fuentes nitrogenadas (Nitroflux, dosis 100 kg de N ha⁻¹ y sulfato de amonio, dosis 100 kg de N ha⁻¹), un bioestimulante elaborado a base de oligosacáridos (Enerplant, 20 g ha⁻¹), nanopartículas de zinc orgánicas e inorgánicas (100 ppm), ácidos húmicos-fúlvicos (5 mL L⁻¹) y un testigo en el cultivo de sorgo para determinar el efecto de estos productos en el crecimiento vegetativo y rendimiento del cultivo de sorgo. El experimento se estableció utilizando como unidad experimental una maceta de 19 litros con tres plantas, como sustrato se usó suelo y el híbrido de sorgo que se utilizó fue Pioneer 82G63. El diseño experimental fue completamente al azar, el cual constó de 7 tratamientos y 5 repeticiones. Los tratamientos se aplicaron 3 veces, las fuentes nitrogenadas se aplicaron al sustrato y las nanopartículas de ZnO, Enerplant y las sustancias húmicas se aplicaron de forma foliar. Las variables evaluadas fueron altura de planta, diámetro de tallo, largo y ancho de hoja, excreción, longitud y peso de panoja, peso fresco y seco de tallos y hojas, rendimiento de grano, peso de 100 semillas, determinación de concentración mineral en el tejido foliar y contenido total de minerales en el tejido foliar. Los datos se analizaron con un análisis de varianza utilizando como covariables altura inicial y daño por antracnosis (*Colletotrichum graminicola*) y las medias se compararon utilizando el método de Tukey ($p \leq 0.05$). Los resultados obtenidos fueron diferentes estadísticamente, el sulfato de amonio mejoró diámetro de tallo, ancho de hoja (1^{er} y 2^{do} muestreo), peso seco de tallo, peso seco y contenido total de N, P en hojas. Para el caso de peso de panoja y rendimiento, los tratamientos sulfato de amonio y Enerplant tuvieron un mejor efecto. El tratamiento Enerplant aumentó el peso de 100 semillas. En conclusión, los tratamientos que beneficiaron al cultivo de sorgo fueron sulfato de amonio y oligosacáridos (Enerplant).

ABSTRACT

In recent years, some products have been developed to increase plant yields, such as soil improvers, nanofertilizers, and biostimulants; however, the effects of these products on some crops are unknown, such as sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). Therefore, the objective of this study was to evaluate two nitrogenous sources (Nitroflux, 100 kg of N ha⁻¹ and ammonium sulfate, 100 kg of N ha⁻¹), a biostimulant made from oligosaccharides (Enerplant, 20 g ha⁻¹); organic and inorganic zinc nanoparticles (100 ppm), humic-fulvic acids (5 mL L⁻¹) and a control in the sorghum crop to determine the effect of these products on the vegetative growth and yield. The experiment was established using a 19-liter pot with three plants as an experimental unit, soil was used as a substrate and the sorghum hybrid Pioneer 82G63. The experiment was established with a completely randomized design, which consisted of seven treatments and five replications. Treatments were applied three times, the nitrogenous sources were applied to the substrate and the ZnO nanoparticles, Enerplant and the humic substances were applied foliar. The variables were plant height, stem diameter, leaf length and width, exertion, panicle length and weight, fresh and dry weight of stems and leaves, grain yield, weight of one hundred seeds, mineral concentration in the leaf tissue and total mineral content in leaf tissue. The data were analyzed with an analysis of variance using as covariates initial height and damage by anthracnose (*Colletotrichum graminicola*) and the means were compared using the Tukey method ($p \leq 0.05$). Treatments were statistically different, ammonium sulphate improved stem diameter, leaf width, stem dry weight, leaf dry weight and total content of N and P in leaves. In the case of panicle weight and yield, the ammonium sulfate and Enerplant treatments had a better effect. The Enerplant treatment increased the weight of 100 seeds. In conclusion, the treatments that benefited the sorghum crop were ammonium sulfate and oligosaccharides (Enerplant).

1. INTRODUCCIÓN

La demanda de alimentos está directamente vinculada al crecimiento de la población, un aumento que ha sido especialmente rápido en los últimos años. Según datos de 2022, la población global ya alcanzó los 8 mil millones de individuos, y se proyecta que esta cifra crecerá a 9 mil millones en los próximos 15 años, llegando a una estimación de 10 mil millones para el año 2058 (UN, 2022). Por consiguiente, cobra una importancia significativa la necesidad de incrementar la producción de diversos cereales como el maíz, la avena, el arroz, el trigo, el sorgo y la cebada, debido a que estos granos ricos en carbohidratos constituyen una parte esencial de la dieta en numerosos países (Latham, 2001).

En México, la producción de granos básicos es prioridad debido a que el país no es autosuficiente, principalmente en maíz y sorgo. Este último se cultiva en la mayoría de los estados del país, además tiene gran importancia en el sector pecuario debido a su uso en la elaboración de raciones para ganado de engorda, cerdos y aves (Alejandro et al., 2020).

La mayor producción de sorgo que se ha alcanzado en México fue de 8.4 millones de toneladas en el año 2014, sin embargo, desde ese año la producción ha disminuido; en el 2022 se produjeron 4.76 millones de toneladas. El problema se ha relacionado principalmente a los cambios climáticos, y a la presencia del pulgón amarillo, el cual ha devastado miles de hectáreas en los últimos años (SIAP, 2022).

La tendencia de reducción en la producción de cultivos es probable que continúe debido al aumento en el costo de los fertilizantes que se han elevado en un 300 %. Esta situación se debe al encarecimiento de los fletes marítimos, motivado por la escasez de contenedores en China, así como al incremento en el precio del gas natural, que es de suma importancia para la fabricación de fertilizantes nitrogenados (Hernández, 2022).

Ante el escenario descrito, es necesario optar por medidas que resuelvan la problemática de la nutrición en los cultivos agrícolas. Una opción viable es el uso de productos orgánicos como compostas, uso de organismos vivos, bacterias que fijan

nitrógeno, la utilización de nanopartículas o en dado caso la utilización de productos elaborados a base de oligosacáridos.

La relevancia de los minerales presentes en las plantas es considerable, y está determinada tanto por aspectos genéticos como por la cantidad de nutrientes disponible en la solución del suelo. Por lo tanto, el manejo de los cultivos en términos de la accesibilidad a nutrimentos adquiere una importancia crucial, esto se debe a que el desarrollo y los rendimientos de los cultivos se ven afectados por una concentración adecuada de elementos esenciales en el suelo.

Los fertilizantes son muy importantes y esenciales en la agricultura convencional, los cuales son necesarios para conseguir altos rendimientos en los cultivos básicos, principalmente maíz, trigo, arroz, soya y en una gran variedad de hortalizas. No obstante, alcanzar una forma de agricultura sostenible exige un manejo adecuado de los recursos, esto con el propósito de prevenir perjuicios al entorno ambiental y evitar pérdidas económicas para los agricultores (González, 2019).

Por lo anterior, la nutrición adquiere una relevancia significativa, ya que su objetivo radica en la exploración de las funciones y la manera en que los elementos minerales funcionan en organismos vegetales, suelos, entre otros. Por otra parte, la fertilización es la práctica y la forma en la que se añaden los nutrimentos que requieren los cultivos.

Dentro de los elementos esenciales requeridos por las plantas, el nitrógeno ocupa una posición de gran relevancia, ya que desempeña funciones vitales en la constitución de aminoácidos, proteínas, enzimas, ácidos nucleicos, clorofila, entre otros. En la mayoría de los sistemas agrícolas el nitrógeno ejerce la mayor influencia tanto en la calidad como en el rendimiento de los cultivos (Orchardson, 2020). En contraste, el zinc (Zn) es un elemento que las plantas necesita en proporciones y su papel se vincula directamente con la generación y fertilidad del polen, además de activar enzimas. Debido a esto, la carencia de este elemento conlleva un impacto negativo en el rendimiento (Perales et al., 2019).

La nanotecnología puede beneficiar al sector agrícola, un ejemplo importante de esto es el uso de nano fertilizantes, los cuales tienen el potencial de incrementar la efectividad en la captación de nutrientes por parte de las plantas, lo que tiene como consecuencia un menor uso de fertilizantes sintéticos y además tienen la capacidad de reducir la contaminación del entorno originada por la excesiva utilización de compuestos químicos artificiales (Prasad *et al.*, 2017). Estudios realizados han encontrado que aplicaciones de nanopartículas de zinc (NP's ZnO) en el cultivo de melón (*Cucumis melo*) incrementaron la producción, mejoraron el contenido de nutrientes beneficiosos y elevaron la cantidad de zinc presente en el tejido de las plantas (Rivera, *et al.*, 2021). En lo que respecta al cultivo de fresa, la utilización de nanopartículas de óxido de zinc (NP's ZnO) mediante la aplicación foliar condujo a un incremento en la producción, tamaño de los frutos, estatura de las plantas, cantidad de hojas, expansión de la superficie foliar y cantidad de estolones (Saini *et al.*, 2021).

Además de los nano-fertilizantes, se han desarrollado nuevas opciones para mejorar la productividad de los cultivos. Un ejemplo es la utilización de oligosacáridos, los cuales actúan como estimulantes biológicos y reguladores del crecimiento de las plantas. En este contexto, se presenta el producto llamado "Enerplant®", creado a partir de oligosacáridos, que impulsa la formación de flores, frutos, entre otros. En ciertos cultivos como la cebolla (*Allium cepa*) y tomate (*Solanum lycopersicon*) se ha observado que la aplicación de "Enerplant®" ha dado lugar a un aumento en los rendimientos (Alarcón *et al.*, 2018). No obstante, existen limitados estudios sobre este producto, lo que deja en incertidumbre su impacto en algunos cultivos de importancia.

Las sustancias húmicas (SH) son consideradas bioestimulantes puesto que influyen en el desarrollo y crecimiento de las plantas, beneficiando el desarrollo y calidad de los cultivos de importancia como maíz, frijol, lechuga y tomate. Reyes *et al.* (2022) reportaron que el uso de SH de manera foliar aumentó el rendimiento de tomate. El efecto de las SH está relacionado con la dosis, forma de aplicación y origen, en el caso del cultivo de fresa al aplicar SH de manera foliar se encontró un impacto en el rendimiento de fruto, sólidos solubles totales, contenido de vitamina C, y nutrimentos como P, K, Ca y Mg (Aghaeifard *et al.*, 2016).

Durante los años recientes, se han generado diversos productos que son fuente de elementos minerales esenciales, sin embargo, se desconoce la efectividad que pueden tener, debido a que interaccionan con varios factores de las plantas tales como especie, variedad, factores bióticos, abióticos y la economía del productor. Por eso antes de recomendar un producto, es necesario realizar una evaluación experimental en un ambiente controlado o específico, para observar si existen efectos significativos y determinar los beneficios o consecuencias que estos podrían traer. Por lo que el objetivo general del presente estudio consistió en evaluar dos fertilizantes nitrogenados, nanopartículas de zinc, sustancias húmicas (ácidos húmicos y fúlvicos) y oligosacáridos para determinar el efecto sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench).

1.1 Hipótesis

1.1.1 Hipótesis general

Los fertilizantes nitrogenados, las nanopartículas de zinc, las sustancias húmicas y los oligosacáridos aumentan significativamente el rendimiento del cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench).

1.1.2 Hipótesis específicas

- ✓ El Nitroflux es más efectivo como fertilizante nitrogenado que el sulfato de amonio.
- ✓ Las nanopartículas orgánicas e inorgánicas aumentan el rendimiento del cultivo de sorgo.
- ✓ Los oligosacáridos aumentan el rendimiento en el cultivo de sorgo comparado con el testigo.
- ✓ Las sustancias húmicas aumentan el rendimiento en el cultivo de sorgo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Evaluar dos fuentes de nitrógeno, nanopartículas de ZN orgánicas e inorgánicas, sustancias húmicas y un bioestimulante a base de oligosacáridos en el cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench).

1.2.2 Objetivos específicos

- ✓ Contrastar dos fertilizantes nitrogenados y comparar el efecto que tienen en el cultivo de sorgo.
- ✓ Determinar el efecto de nanopartículas orgánicas e inorgánicas en el cultivo de sorgo y estimar su efecto en el rendimiento.
- ✓ Estimar los beneficios que tiene la aplicación de Enerplant (oligosacáridos) en el cultivo de sorgo.
- ✓ Valorar la función bioestimulante de las sustancias húmicas en sorgo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Problemática de los Fertilizantes

Los conflictos sociales han impactado en el acceso a los fertilizantes y otros insumos, lo que ha provocado que agricultores de todas partes del mundo reduzcan su uso, el grupo más afectado es el de los pequeños productores (Del pilar, 2022). El aumento de los fertilizantes amenaza una adecuada producción agrícola y con ello la seguridad alimentaria en amplias regiones del mundo y en México se espera una disminución en los rendimientos, por lo que tendrá impacto en el incremento de las importaciones de granos, aunado a una mayor demanda de alimentos (Polansek y Mano, 2022).

En el mundo, el aumento de precios en los fertilizantes en el año 2021 fue de 80 % y en 2022 fue de un 20 % adicional; en Estados Unidos fue de un 70 %, pero en el caso de México el aumento fue de 50 % y 185 %, respectivamente. El problema se le atribuye al aumento de los costos energéticos como lo son el petróleo, carbón y gas natural que son necesarios para la elaboración de los fertilizantes nitrogenados. Además, a esto se le añade la falta de suministros de los energéticos y fertilizantes debido al mal tiempo, conflictos de guerra y escases de contenedores (Economía y política, 2022).

2.2 Fertilizantes Nitrogenados

En México, la utilización de fertilizantes artificiales se inició hacia el final del siglo XIX, mientras que la producción interna de estos productos comenzó en 1915. En cuanto a los fertilizantes ricos en nitrógeno, su empleo tuvo inicio en la mitad del siglo pasado, ocasionando un notable aumento en la productividad de los cultivos (Avila *et al.*, 2002).

Los fertilizantes nitrogenados son compuestos cuya composición química está constituida principalmente por nitrógeno en forma asimilable para las plantas, siendo muy dinámico el cambio de formas químicas en el suelo y atmosfera por lo que se

puede perder fácilmente, de aquí que el mal uso de los fertilizantes disminuye la eficiencia, por lo tanto, esto impacta en los costos de producción de los cultivos, por lo que es importante realizar investigaciones que contribuyan al uso eficiente de este elemento (CIMMYT, 2020).

Los principales insumos para la elaboración de fertilizantes nitrogenados son nitrógeno e hidrogeno, los cuales se colocan en una atmosfera controlada y se someten a alta temperatura y presión utilizando energéticos tales como gas natural, gasolina ligera, etc., el producto resultante es el amoniaco (NH_3), el cual se transforma a amonio (NH_4^+) y posteriormente se oxida a nitrato (NO_3^-) de donde se originan los fertilizantes nitrato de amonio, y al mezclarse con CO_2 se produce urea y al mezclar nitrato de amonio, urea y agua se obtiene nitrato de amonio de urea (Ruiz *et al.*, 2010; Doria, 2021).

El sulfato de amonio se obtiene a partir de una reacción de ácido sulfúrico y amoniaco caliente, obteniendo un producto con 21 % de N y 24 % de S, por lo que se utiliza en suelos que requieren N y S. Además, el amonio cuando se oxida a nitrato tiene un efecto acidificante, por lo que este fertilizante se recomienda en suelos alcalinos (IPNI, 2022).

2.3 Importancia del Nitrógeno (N)

El N es de vital importancia en el proceso fotosintético debido a que más del 50 % de este elemento es necesario para llevar a cabo este proceso. El crecimiento y desarrollo de las plantas está condicionado por la influencia de procesos fisiológicos fundamentales, entre los cuales se resaltan la fotosíntesis, la transpiración, la respiración y el intercambio gaseoso que se produce entre las hojas y el entorno atmosférico. Estos procesos desempeñan un rol esencial en la regulación de las tasas de crecimiento vegetal y la captación de energía necesaria para el correcto funcionamiento metabólico de las plantas (Corrales *et al.*, 2016).

2.3.1 Formas en las que se encuentra el nitrógeno (N)

El N se halla en la atmósfera en estado gaseoso (N_2 , N_2O , NO , NO_2 y NH_3) y constituye un 78 %, también se encuentra en el aire del suelo, principalmente en forma de N_2O Y NH_3 , esto es por causa de la actividad microbológica o las reacciones químicas en el suelo. El nitrógeno disponible en el suelo se encuentra principalmente en la materia orgánica (MO), la cual contiene un 5 % de nitrógeno, sin embargo, solo el 2 % del N de la MO está disponible para la planta. Las formas inorgánicas de N pueden perderse por diferentes factores en el suelo como lixiviación, desnitrificación, etc. (Harrison, 2003).

2.3. 2 El nitrógeno (N) y su ciclo

El ciclo biogeoquímico del nitrógeno requiere la ejecución de una serie de procesos físicos, químicos y biológicos. La conversión del nitrógeno atmosférico implica una demanda considerable de energía, lo que posibilita su combinación con otros elementos, como el carbono u oxígeno. Esta reacción se logra mediante descargas eléctricas y fijación fotoquímica, que suministran la energía necesaria para generar NO_3^- . Este procedimiento se emplea en la producción de fertilizantes (González, 2022).

Existen algunas bacterias que utilizan enzimas para fijar N, algunas de ellas viven libres en el suelo, algunas producen nódulos en las raíces de las plantas y llevan a cabo la fijación de N llevando a cabo una simbiosis, las bacterias más comunes que llevan a cabo este proceso pertenecen a los géneros *Rhizobium* y *Azotobacter*. En el agua también existen bacterias que fijan nitrógeno, de las cuales destaca el grupo de cianobacterias acuáticas. Las bacterias quimiosintéticas del género *Nitrosomas* y *Nitrosococcus* transforman el amonio en nitrito (NO_2^-), posteriormente Nitrobacter oxida el nitrito (NO_2^-) a nitrato (NO_3^-), de esta manera el N permanece disponible para las plantas. El N en las plantas se convierte a NH_2 , el cual es incorporado a los aminoácidos y proteínas, así como otros compuestos nitrogenados. Dentro de la

cadena alimenticia, los animales herbívoros obtienen proteínas a partir de los vegetales, posteriormente los animales carnívoros se nutren de los herbívoros, mientras que los seres humanos se alimentan de plantas y animales. Por lo tanto, todos los seres vivos utilizan el N que se encuentra en forma de proteína, regresando al suelo el N contenido en excremento, orina, cadáveres o material vegetal (Ciceana, 2022).

2.4 Nanopartículas en la Agricultura

El término nano representa una unidad equivalente a una billonésima (1×10^{-9}) de un metro, los nanomateriales pueden tener una dimensión menor a 100 nanómetros (nm), estos pueden ser naturales o sintéticas, por otra parte, las nanopartículas tienen al menos dos de sus dimensiones entre 1 y 100 nanómetros. En los últimos tiempos, el empleo de materiales a nivel nanométrico ha adquirido una significativa importancia en diversas ramas de la ciencia y la industria. Las nanopartículas han estado presentes en la Tierra durante un largo período, como se observa en las partículas de humo y en las nanopartículas presentes en las bacterias, por ejemplo (López *et al.*, 2016).

Los métodos para sintetizar las nanopartículas son variados e incluye el método sol-gel, disposición química de vapor, precipitación, descomposición térmica o síntesis hidrotermal (Diana *et al.*, 2019).

La agro-nanotecnología se enfoca principalmente en buscar alternativas de enfoques más amigables con el entorno natural, con el fin de aumentar la eficiencia y sostenibilidad de las prácticas agrícolas contemporáneas. Las NP's se pueden utilizar para inducir resistencia a algunas enfermedades en cultivos debido a que tienen actividad antifúngica en enfermedades como *Penicillium expansum*, *Botrytis cinerea*, *Fusarium culmorum* y *Fusarium oxysporum*, entre otras, y esto se debe a que inducen malformaciones en las hifas de los hongos, lo que provoca su muerte (Méndez *et al.*, 2016). Las NP's son una buena alternativa para usarlas como nano fertilizantes para aumentar rendimiento en algunos cultivos, debido a que con su aplicación se ha

encontrado efectos significativos en el crecimiento de las plantas, además benefician considerablemente la germinación de semillas.

2.4.1 Nanopartículas de zinc

El óxido de zinc (ZnO) es uno de los materiales más utilizados en nanodimensiones, la estructura molecular de este es ZnO, tiene la característica de ser un polvo blanco y casi soluble con el agua, el principal uso que se le da a este material es como un aditivo en diferentes materiales como vidrio, cerámica, cemento, caucho, etc., se utiliza principalmente en la rama industrial (Aquino *et al.*, 2018) y últimamente como fertilizante.

Las nanopartículas tienen grandes cualidades como tamaño pequeño, alta relación área superficial/volumen, eficiencia de adsorción, gran cantidad de sitios reactivos, alta actividad catalítica y alta estabilidad química, por todo lo anterior la convierte en una opción viable para sustituir a los fertilizantes convencionales y a la vez reducir el daño ambiental que estos causan (Keerthana *et al.*, 2021).

En los años recientes, se han llevado a cabo investigaciones para sintetizar nanopartículas de material vegetal. Mauleon (2019) logró sintetizar NPs ZnO a partir de extracto de *Moringa oleífera* y *Stevia rebaudiana* en tamaños variables que van de 65 a 120 nm, además el beneficio del uso de NP's también se debe al contenido de metabolitos secundarios presentes en estas especies vegetales.

En el ámbito agrícola, las investigaciones se han centrado principalmente en el estudio del impacto de las nanopartículas en el desarrollo de las plantas. En un estudio realizado por Galindo *et al.* (2022), se observó que la aplicación de nanopartículas de zinc en bajas concentraciones en semillas de *Lactuca sativa* tuvo un efecto positivo significativo en la germinación de las semillas, el peso fresco de las plántulas y las raíces. Sin embargo, en concentraciones elevadas, estas nanopartículas tuvieron un efecto negativo en la germinación. Por otro lado, en una investigación realizada por Maity *et al.* (2018), se trataron semillas de sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* L.) y caupí

(*Vigna unguiculata* L.) con nanopartículas de zinc antes de la siembra y se compararon con un grupo control. En este caso, las nanopartículas mejoraron la germinación en un 27 %, la relación raíz/tallo y el vigor de las plántulas, no obstante, estas variables se vieron afectadas negativamente por dosis más altas de nanopartículas (1250 ppm).

Alonso *et al.* (2022) aplicaron nanopartículas de zinc en el cultivo de sorgo en un suelo contaminado con níquel (Ni) y encontraron que al usar una dosificación de 50 ppm disminuyó la fitotoxicidad del Ni, esto contribuyó al desarrollo de la planta y generó un incremento en la producción de biomasa.

2.5 Oligosacarinas

Los polisacáridos y oligosacáridos naturales conocidos como oligosacarinas están presentes en la composición celular de plantas, hongos y animales, pero para su producción en gran escala proviene de subproductos agrícolas y exoesqueletos de crustáceos. La pared celular además de servir como sostén de las especies vegetales tiene características muy particulares y benéficas, siendo una de las más interesantes el de funcionar como un reservorio de hormonas que actúan en el metabolismo de las plantas. Los oligosacáridos compuestos por polisacáridos y glicoproteínas aportan resistencia contra plagas y enfermedades, además, ejercen influencias notables en el crecimiento y desarrollo a concentraciones reducidas en algunas especies vegetales, asimismo, se ha evidenciado que estos compuestos fomentan la germinación y aumentan los rendimientos en leguminosas (Falcón *et al.*, 2015).

Por lo anterior los oligosacáridos tienen potencial para ser utilizados en la agricultura, principalmente en la agricultura orgánica o intensiva, debido a sus características de origen orgánico y su requerimiento en dosis muy bajas, lo que ayudaría a disminuir costos de producción, la contaminación y problemas en la salud humana.

2.6 Sustancias Húmicas (SH)

Las sustancias húmicas (SH) se forman a través del proceso de descomposición de la materia orgánica en el suelo. Esta descomposición ocurre debido a la acción de procesos químicos, físicos y biológicos que tienen lugar en el suelo. En este proceso, organismos invertebrados como lombrices, insectos, hongos y bacterias descomponen los restos de animales y vegetales, utilizando la materia orgánica como su fuente de alimento. Las sustancias húmicas se pueden dividir en dos categorías principales: ácidos húmicos y ácidos fúlvicos (Canellas y Olivares, 2014).

Las sustancias húmicas consisten en coloides orgánicos que poseen atributos como su peso molecular, densidad de carga y nivel de acidez, esto les permiten interactuar con los minerales presentes en el suelo y tener la capacidad de adsorber iones

Las SH se clasifican como bio-estimulantes debido a los efectos que ejercen tanto directa como indirectamente que tienen en metabolismo vegetal; se ven involucrados en cambios en la estructura radical, principalmente en el crecimiento y desarrollo de pelos radicales, lo que beneficia en la absorción de agua y nutrientes. Por otra parte, las sustancias húmicas participan en algunas reacciones de oxidación y reducción, por ejemplo, al unirse con sales forman humatos y fulvatos, los ácidos húmicos reducen al Fe, de Fe^{3+} a Fe^{2+} , lo cual hace que este elemento esté disponible para la planta, lo mismo sucede con otros metales esenciales como el zinc. Además, mejoran la capacidad de intercambio catiónico (CIC), desarrollo de microorganismos benéficos, capacidad de infiltración, solubilidad de P y absorción de nitritos en plantas, etc. Debido a sus características benéficas son de importancia en la agricultura, dado que el uso y manejo de las sustancias húmicas impactan en el crecimiento y desarrollo las plantas, en el cultivo de fresa se ha encontrado que benefician el crecimiento, rendimiento vegetativo, calidad fruta y contenido de antioxidantes, etc (Garza *et al.*, 2022).

2.7 Cultivo de Sorgo

Al cultivo de sorgo se le ha denominado el “cereal del siglo XXI”, debido a la relevancia que ha tomado en las últimas décadas, principalmente por el uso que se le da para la alimentación de ganado (Pérez *et al.*, 2010)

Por lo anterior, este grano tiene gran importancia, además es el 5to cereal más cultivado en el mundo, en donde México ocupa el 5to lugar en producción con 4.76 millones de toneladas. Los principales estados productores son Tamaulipas (2,170,903 ton), Guanajuato (878,655 ton) y Michoacán (345,173 ton). Además, es uno de los países que realiza compra y venta de este producto, pero las exportaciones tienen poca significancia, solo de Estados Unidos se importan 394 mil toneladas de este grano (SIAP, 2022).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del Estudio

El experimento se realizó en el Centro de Agricultura Protegida (CAP) de la Facultad de Agronomía de la UANL, localizado en el municipio de General Escobedo, Nuevo León, con una ubicación geográfica de 25° 47' 07" latitud norte, 100° 17' 03" longitud oeste, altitud de 479 msnm. La humedad relativa durante el otoño alcanza valores cercanos al 70 % mientras que durante el resto del año su valor fluctúa sobre el 60 %. La precipitación anual es alrededor de 600 mm anuales, siendo septiembre el mes con más lluvia; sin embargo, las sequías recurrentes y prolongadas son frecuentes. La temperatura media fluctúa entre 24 °C y 25 °C y las máximas en ocasiones llegan a superar los 40 °C, mientras que las mínimas pueden ubicarse por debajo de 0 °C, siendo junio, julio y agosto los meses más calurosos del año (INEGI, 2019).

3.2 Establecimiento del Experimento

El periodo del experimento comprendió de julio a octubre del 2022. Para establecerlo se utilizaron macetas de 19 L, como sustrato se usó suelo que fue colectado en el área del centro de agricultura protegida (CAP) de la Facultad de Agronomía de UANL, General Escobedo, Nuevo León. El suelo se cribó y mezcló para tener homogeneidad, posteriormente las macetas fueron llenadas con 18 kg de la mezcla de suelo. La siembra se realizó el 01 de julio del 2022.

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con 7 tratamientos y 5 repeticiones. La unidad experimental fue una maceta de 19 litros con tres plantas (Figuras 1, 2 y 3).

El híbrido de sorgo que se utilizó fue Pioneer 82G63, cuyas características son: ciclo intermedio, altura de 1.15 m, panoja semiabierta, grano de color rojo y buena tolerancia a enfermedades.

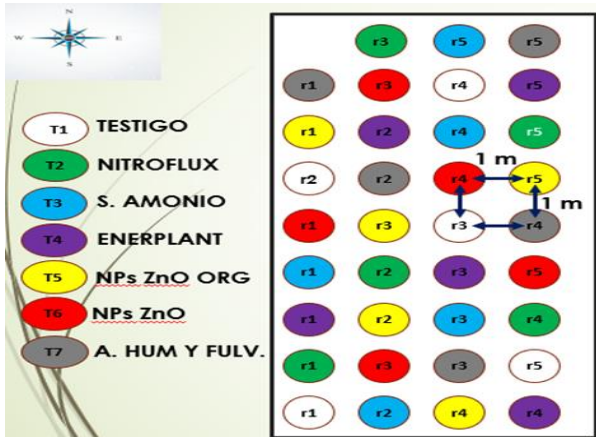


Figura 1. Croquis del experimento



Figura 2. Establecimiento del experimento



Figura 3. Unidad experimental

3.3 Tratamientos

Los tratamientos que fueron evaluados son los siguientes:

- 1) Testigo
- 2) Nitroflux (50 % de NO_3^-), dosis $100 \text{ kg de N ha}^{-1}$
- 3) Sulfato de amonio (22.6-0-0), dosis $100 \text{ kg de N ha}^{-1}$
- 4) Enerplant (Oligosacáridos), 20 g ha^{-1}
- 5) Nanopartículas de Zn orgánicas, 100 ppm
- 6.) Nanopartículas de Zn inorgánicas, 100 ppm
- 7) Sustancias húmicas, 5 mL L^{-1}

Nitroflux (T2)

El fertilizante Nitroflux (Figura 4) se aplicó en dosis de 3.6 mL por maceta (3 plantas), preparando una solución de 18 mL del fertilizante en 2.5 L de agua, para aplicarse en las cinco repeticiones. Las aplicaciones se realizaron en las fechas: 13-julio, 25-julio y 9-agosto-2022.



Figura 4. Fertilizante Nitroflux

Sulfato de amonio (T3)

El fertilizante sulfato de amonio (Figura 5) se aplicó con una dosificación de 8.57 g por maceta (3 plantas), se preparó una solución de 42.85 g en 2.5 L de agua y se aplicó directamente al sustrato en las 5 macetas, las aplicaciones se realizaron en las fechas: 13-julio, 25-julio y 09-agosto-2022.



Figura 5. Fertilizante Sulfato de amonio

Enerplant (T4)

El tratamiento de Enerplant (Figura 6) se preparó diluyendo 3 mg en 1 L de agua, posteriormente se procedió a realizar la aplicación foliar, asegurándose que toda

el área foliar de la planta quedara cubierta, Las aplicaciones se realizaron en las fechas: 15- julio, 27-agosto y 11-agosto, 2022.



Figura 6. Bioestimulante Enerplant, presentación 20 g.

Nanopartículas de Zn orgánicas (T5) e inorgánicas (T6)

Las NPs se sometieron a un proceso de dispersión, donde se diluyó 124.7 mg de NPs ZnO (100 ppm de ZN) en 0.25 L de agua, posteriormente se colocaron en el ultrasonido durante 20 minutos (Figuras 7 y 8), una vez concluido el tiempo se retiró y se procedió a aforar a 1 L. Finalmente se hizo la aplicación de forma foliar, procurando que toda el área foliar quedara cubierta. Las aplicaciones se realizaron en tres ocasiones: 14-julio, 26-julio y 10-agosto-2022.



Figura 7. Dispersión de nanopartículas en ultrasonido

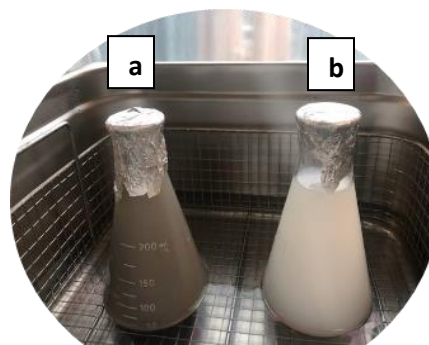


Figura 8. a) NP's ZnO orgánicas y b) NP's ZnO inorgánicas

Sustancias húmicas (T7)

Este tratamiento (Figura 9) se aplicó de forma foliar, utilizando una dosis de 5 ml L⁻¹, asegurándose de que toda el área foliar quedara mojada. La primera aplicación se realizó el 15-julio-2022, después se hicieron dos aplicaciones en las fechas de 27-julio-2022 y 11-agosto-2022.

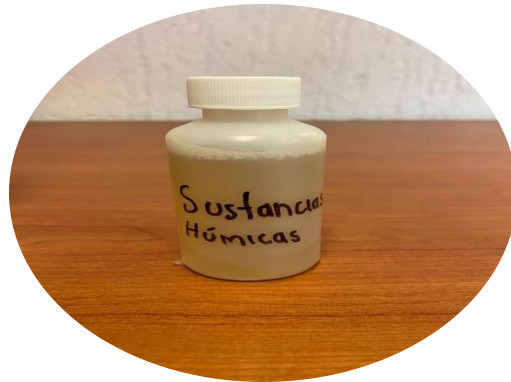


Figura 9. Sustancias húmicas

3.4 Manejo del Cultivo

Análisis de suelo

El suelo que se utilizó como sustrato se analizó con la finalidad de conocer sus propiedades físicas y químicas.

Deshije

Al momento de sembrar, se depositaron 6 semillas por maceta, posteriormente, después de la emergencia se realizó un aclareo de plantas, para dejar tres plantas por maceta, esto se realizó el 07-julio-2022.

Riego

Las plantas se regaron una vez al día durante los primeros 25 días, posteriormente se aumentó a 2 riegos por día, debido al incremento de la evapotranspiración causado por las altas temperaturas diurnas (30-38 °C) y la expansión del área foliar.

Fertilización

Las plantas se fertilizaron con una solución de fosfato monopotásico (1 g L⁻¹) para aportar fósforo (P) y potasio (K), aplicando 200 ml por maceta.

Control de plagas

Las plantas se monitorearon dos veces por semana para identificar plagas de importancia, encontrando gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), el cual se controló con una aplicación foliar de cipermetrina (Arribo) con dosis de 0.5 mL L⁻¹ el 20-julio-2022; posteriormente esta plaga se volvió a presentar por lo que se aplicó Deltrametrina (Decis Forte) con una dosificación de 0.2 mL L⁻¹ el 16-agosto-2022 y el 27-septiembre-2022; también se observó pulgón amarillo (*Melanaphis sacchari*), utilizando para su control Imidacloprid (ROTAPRID) con una dosificación de 0.2 mL L⁻¹ el 29-agosto-2022. Finalmente se observó presencia de araña roja (*Tetranychus urticae*), por lo cual se aplicó Abamectina (Abamectina Delta) con una dosificación de 0.5 mL L⁻¹ el 10-septiembre-2022.

Cosecha

La cosecha se realizó el 14 de octubre del 2022, en donde las panojas, tallos y follaje de todas las plantas se separaron por tratamiento, repetición y número de planta; posteriormente se tomaron

los pesos en verde y el material vegetal se colocó en un secador para registrar el peso seco.

3.5 Características Agronómicas de las Plantas que se Evaluaron

Altura de planta (cm), diámetro de tallo (mm), largo y ancho de la hoja más grande (cm).

Estas variables (Figura 10) se evaluaron en cuatro ocasiones, a los 21 días (22-julio-2022) después de la siembra, 20 días después (10-agosto-2022), al inicio de la floración (31-agosto-2022) y al llenado de grano (16-setiembre-2022).



Figura 10. Recolección de datos de: a) altura de planta; b) diámetro de tallo; c,d) largo y ancho de hoja.

Número de hijuelos por planta.

Esta variable se registró para observar el efecto de los tratamientos en el número de hijuelos y su relación con el rendimiento, este dato se tomó el 10-septiembre-2022.

Plantas dañadas por Antracnosis (*Colletotrichum graminicola*).

Durante el ciclo del experimento se observaron daños por esta enfermedad en algunas de las plantas, por lo que fue necesario identificar las unidades experimentales en donde se presentó.

Longitud y excursión de panoja (cm).

Los datos de estas variables (Figura 11) se recolectaron una vez que todas las plantas tuvieron desarrollada la panoja, esto se realizó el 16 y 29-septiembre-2022.



Figura 11. a) longitud y b) excursión de panoja

Peso de panoja con grano (g).

Después de la cosecha se procedió a pesar las panojas de cada unidad experimental (Figura 12), esto se realizó el 14 de octubre del 2022.



Figura 12. Peso de panoja con grano

Peso fresco de biomasa (g).

Después de cosechar las panojas, se procedió a cosechar el tallo y follaje de todas las plantas y posteriormente se pesó (Figura 13), esto se realizó el 14 de octubre del 2022.



Figura 13. Cosecha de tallos y hojas

Peso seco de hojas y tallos (g).

Las hojas y tallos cosechados se secaron y pesaron (Figura 14) para determinar el rendimiento en biomasa de estos órganos de la planta.

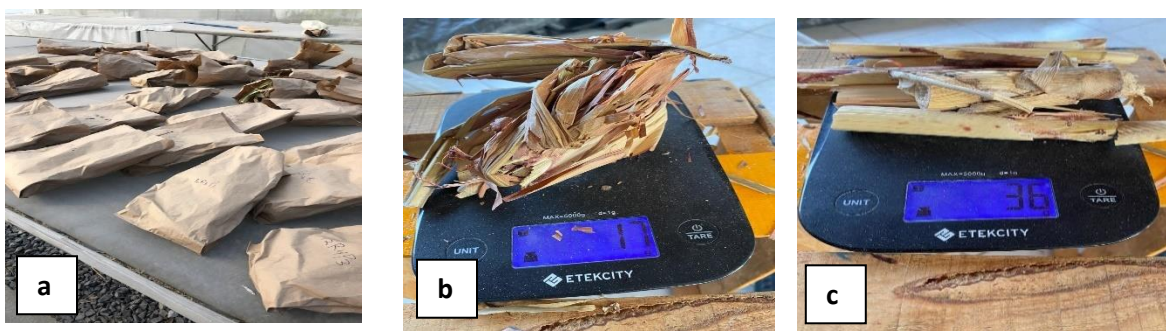


Figura 14. a) Secado y pesado de b) hojas y c) tallos

Peso de 100 semillas (g).

Seguido de la cosecha, se desgranaron las panojas de cada unidad experimental, después se pesaron 100 semillas (Figura 15).

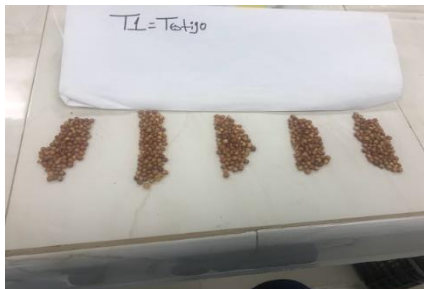


Figura 15. Peso de 100 semillas

Peso de grano (g).

El grano colectado en cada unidad experimental se pesó considerando el grano de las tres plantas originales más el grano que produjeron los hijuelos.

Análisis de tejido foliar en laboratorio.

Para determinar el contenido de macronutrientes esenciales en las plantas, se recolectaron muestras de hojas recientemente maduras, mismas que se pusieron a secar en una estufa a 60 °C durante 48 horas, después se molieron. Finalmente, las muestras se analizaron en el laboratorio de aguas y suelos de la Facultad de Agronomía de la UANL.

Análisis de la información.

Los datos de cada variable se analizaron utilizando un análisis de varianza y en los casos donde se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos, las medias se compararon con una prueba de Tukey, utilizando el paquete estadístico SPSS. En los análisis estadísticos de las variables altura, ancho y largo de la hoja y diámetro del tallo se incluyó como covariable a la altura inicial; para peso de panoja, rendimiento, peso de 100 semillas, peso seco de tallo y hojas, contenido y concentración de macronutrientes se utilizó como covariable daño por antracnosis.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.1 Análisis de Suelo

Las propiedades físicas y químicas del suelo son relevantes para un óptimo crecimiento y desarrollo de los cultivos, por lo tanto, es de gran importancia realizar un análisis de laboratorio antes de establecer un cultivo en un lugar determinado. Los resultados del análisis del suelo que se utilizó como sustrato se muestran en el Cuadro 1, donde se observa que el suelo tiene buenas características para el crecimiento de las plantas debido a que no es salino, tiene buenos niveles de materia orgánica, P y K, además los niveles de N son moderados por lo que el suelo es adecuado para evaluar fertilizantes nitrogenados.

Cuadro 1. Resultados del análisis de Suelo (sustrato).

Determinación	Resultado	Rango usual	Interpretación
Textura			
% Arena	25.28		Suelo franco arcilloso
% Limo	44.72		
% Arcilla	30		
C.E (dS/m)	0.91	0.0-2	No salino
pH	8.3	7.9-8.5	Moderadamente alcalino
M.O%	2.69	1.81-3.50	Mediano
Nitrógeno%	0.17	0.150-0.199	Mediano
Fósforo (ppm)	79.98	12.1-80.0	Óptimo
Potasio (meq/100 g)	0.9815	0.21-3.0	Óptimo

4.1.2 Análisis del agua.

El análisis químico del agua se presenta en el Cuadro 2, en donde se observa que es un agua no salina con niveles moderados de bicarbonatos, cloruros, sulfatos, calcio y magnesio, por lo que se considera adecuada para el crecimiento de las plantas.

Cuadro 2. Análisis químico del agua.

Propiedades	Resultado
C.E (dS/m)	0.75
pH	7.62
Ca ⁺⁺ (Meq L ⁻¹)	5.3
Mg ⁺⁺ (Meq L ⁻¹)	2.2
CO ₃ ²⁻ (Meq L ⁻¹)	0
HCO ₃ ⁻ (Meq L ⁻¹)	3.6
Cl ⁻ (Meq L ⁻¹)	2.5
SO ₄ ²⁻ (Meq L ⁻¹)	1.4
Na ⁺ (Meq L ⁻¹)	0
Aniones	7.5
Cationes	7.5

4.2 Daños por Antracnosis (*Colletotrichum graminicola*)

Durante el período del estudio se observaron plantas que comenzaron a presentar síntomas de daños por antracnosis (Figura 16). Este patógeno se presenta en períodos con altas temperaturas (Belisario *et al.*, 2022) como las que ocurrieron durante el desarrollo de las plantas en el experimento. Los síntomas que presentó en la planta fueron daño en tallo, que comenzó con una apariencia rojiza, luego se tornó de color café, impidió la traslocación de nutrientes y agua (Figura 16 a) en las hojas viejas las cuales sufrieron necrosis o muerte celular (Figura 16 b).

La enfermedad afectó al menos una repetición de los tratamientos evaluados, lo que repercutió en el crecimiento y desarrollo en las plantas. Los datos de las plantas afectadas se utilizaron como una covariable en los análisis de varianza (Cuadro 3).

Cuadro 3. Tratamientos dañados por antracnosis

Tratamiento	No. de macetas afectadas
1. Testigo	1
2. Nitroflux	2
3. Sulfato de Amonio	1
4. Enerplant	1
5. NP's ZnO orgánicas	2
6. NP's ZnO	2
7. Sustancias húmicas.	1
Total	10

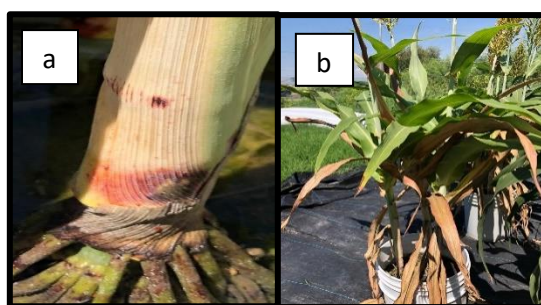


Figura 16. Síntomas en plantas afectadas por antracnosis.

4.3 Número de Hijuelos

Durante el experimento se observó que el número de hijuelos fue variable entre los tratamientos, de los cuales se generaron nuevas plantas (Figura 17). El sulfato de amonio fue el que tuvo el mayor número de hijuelos (cuadro 4).

Cuadro 4. Número de hijuelos por tratamiento

Tratamiento	No. de hijuelos
1. Testigo	1
2. Nitroflux	2
3.- Sulfato de Amonio	14
4.- Enerplant	4
5.- NP's ZnO orgánicas	2
6.- NP's ZnO	0
7.- Sustancias húmicas	0
Total	23

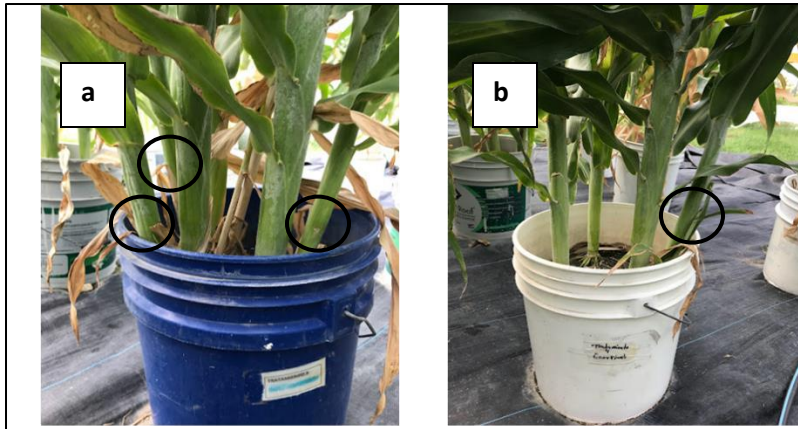


Figura 17. Brotes o hijuelos en los tratamientos a) sulfato de amonio y b) Enerplant (bioestimulante).

4.4 Ancho de Hoja del Primer Muestreo

El ANOVA (Cuadro 5) indicó que hubo diferencias significativas ($p=0.030$) entre los tratamientos para la variable ancho de hoja en el muestreo 1, lo que significa que al menos un tratamiento fue diferente.

Cuadro 5. ANOVA de ancho de hoja (1^{er} muestreo: 22- julio-2022).

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Enfermas	0.010	1	0.010	0.093	0.763
Altura inicial	0.595	1	0.595	5.726	0.024
Tratamientos	1.757	6	0.293	2.819	0.030
Error	2.701	26	0.104		
Total	4.586	34			

En la comparación de medias (Cuadro 6), se observó que el fertilizante sulfato de amonio presentó la hoja más ancha, superando al Nitroflux y al Testigo en un 12.37 % y 10.25%, respectivamente. Esto podría deberse al aporte de N y al efecto acidificante que tiene el sulfato de amonio, causado por la nitrificación, en donde por cada ion de amonio se producen dos iones de hidrógeno (Gines y Mariscal, 2002).

Cabe mencionar que el pH del suelo que se usó como sustrato es moderadamente alcalino (Cuadro 1).

Cuadro 6. Comparación de medias de ancho de hoja (1^{er} muestreo: 22-julio-2022).

Tratamiento	Media (cm)	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Testigo	5.679 b	0.146	5.378	5.979
Nitroflux	5.545 b	0.147	5.244	5.847
Sulfato de Amonio	6.328 a	0.154	6.011	6.644
Enerplant	5.645 b	0.145	5.346	5.944
NP's ZnO orgánicas	5.626 b	0.145	5.328	5.923
NP's ZnO	5.811 b	0.145	5.513	6.109
Sustancias húmicas	5.706 b	0.150	5.397	6.015

Letras diferentes indican que los tratamientos son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$).

4.5 Ancho de Hoja del Segundo Muestreo

El ancho de la hoja en el segundo muestreo resultó con diferencias altamente significativas ($p = 0.000$) entre los tratamientos (Cuadro 7), por lo tanto, significa que al menos un tratamiento fue diferente.

Cuadro 7. ANOVA de ancho de hoja (2^{do} muestreo:10-agosto-2022).

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Enfermas	2.574	1	2.574	6.566	0.017
Altura inicial	0.384	1	0.384	0.979	0.332
Tratamientos	17.963	6	2.994	7.637	0.000
Error	10.192	26	0.392		
Total	36.827	34			

Al comparar las medias (Cuadro 8) se observó que el tratamiento que tuvo el mayor ancho de hoja en el segundo muestreo fue el sulfato de amonio, seguido del Nitroflux y Enerplant; estos dos últimos fueron superados en 15.73 % y 16.33 % en comparación con el primero, por otra parte, los ácidos húmicos-fúlvicos, testigo, NP's

ZnO orgánicas y NP´s ZnO fueron inferiores al sulfato de amonio en un 23.61%, 23.94 %, 24.78, y 25 %, respectivamente. El tratamiento de Nitroflux superó en 11.04 % a las NP´s ZnO, siendo este último el menos sobresaliente en cuanto a ancho de hoja.

Cuadro 8. Comparación de medias de ancho de hoja (2^{do} muestreo 10-agosto-2022).

Tratamiento	Media (cm)	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Testigo	6.773 bc	0.284	6.189	7.357
Nitroflux	7.504 b	0.285	6.918	8.089
Sulfato de Amonio	8.905 a	0.299	8.290	9.520
Enerplant	7.450 bc	0.282	6.869	8.030
NP´s ZnO orgánicas	6.698 bc	0.281	6.120	7.276
NP´s ZnO	6.675 c	0.281	6.097	7.254
Sustancias húmicas.	6.802 bc	0.292	6.202	7.402

Letras diferentes indican que los tratamientos son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$).

Los resultados obtenidos coinciden con la investigación de Peña *et al.* (2002) en el cual compararon tres fertilizantes nitrogenados (Urea, Nitrato de amonio, Sulfato de amonio) en el cultivo de sorgo, donde encontraron que el sulfato de amonio tuvo mayor eficiencia aportando un 44% del N total en el cultivo de sorgo. Por otra parte, citaron que el 50% de N que requiere el cultivo de sorgo es aprovechado de N disponible del suelo, finalmente, recomiendan que la fertilización se debe de seccionar en 3 aplicaciones para la urea y sulfato de amonio, por otra parte, el nitrato de amonio se debe de seccionar en dos aplicaciones.

4.6 Diámetro de Tallo

El análisis de varianza (Cuadro 9) realizado para los datos recolectados en el muestreo tres, señaló diferencias significativas ($p = 0.049$) entre los tratamientos, lo que demuestra que al menos un tratamiento fue diferente.

Cuadro 9. ANOVA diámetro de tallo (3^{er} muestreo: 31-agosto-2022).

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Enfermas	10.064	1	10.064	5.677	0.025
Altura inicial	5.740	1	5.740	3.238	0.084
Tratamiento	26.518	6	4.420	2.493	0.049
Error	46.095	26	1.773		
Total	107.771	34			

En la comparación de medias (Cuadro 10) se observó que el fertilizante sulfato de amonio fue el único tratamiento que presentó mayor diámetro de tallo, donde el testigo y el Nitroflux fueron superados en 9.5 % y 7.0 %, cabe mencionar que las NP's ZnO obtuvieron el menor diámetro de tallo, siendo superado por el sulfato de amonio en un 9.84 %.

Cuadro 10. Comparación de medias de diámetro de tallo (3^{er} muestreo:31-agosto-2022).

Tratamiento	Media (mm)	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Testigo	26.931 b	0.604	25.689	28.173
Nitroflux	27.670 b	0.606	26.425	28.915
Sulfato de Amonio	29.753 a	0.636	28.445	31.061
Enerplant	27.810 b	0.600	26.576	29.044
NP's ZnO orgánicas	27.411 b	0.598	26.182	28.640
NP's ZnO	26.824 b	0.599	25.594	28.055
Sustancias húmicas	27.761 b	0.621	26.485	29.036

Letras diferentes indican que los tratamientos son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$).

Los resultados coinciden con el estudio realizado por García *et al.* (2020), en el cual encontraron que el sulfato de amonio aumentó el diámetro de tallo en el cultivo de moringa (*Moringa oleífera*) en fase de vivero. El nitrógeno es de suma importancia para los cultivos, principalmente en las primeras etapas, debido a que forma parte de la clorofila, produce aminoácidos, etc.

4.7 Peso seco de Hojas

El ANOVA (Cuadro 11) para la variable peso seco de hojas indicó diferencias altamente significativas ($p= 0.002$), lo que señala que al menos un tratamiento fue diferente.

Cuadro 11. ANOVA de peso seco de hojas.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Enfermas	4709.391	1	4709.391	8.313	0.010
Tratamientos	18478.760	6	3079.793	5.437	0.002
Error	10763.526	19	566.501		
Total	36236.667	26			

La comparación de medias entre los tratamientos para el peso seco de hojas (Cuadro 12) señaló que el sulfato de amonio fue el tratamiento que obtuvo mayor peso de hojas secas, superando al Nitroflux y al testigo con 47.80 % y 47.00 %, respectivamente. El peso seco de hojas se tomó de todas las plantas, incluyendo los brotes en cada una de las unidades experimentales, por lo que los tratamientos que tuvieron mayor número de brotes tuvieron mayor peso seco de hojas.

El Enerplant fue el tratamiento que siguió en importancia debido a que aumentó el peso de hojas secas en un 30.25 % en comparación con el testigo. Los oligosacáridos tienen potencial para aumentar los rendimientos en algunos cultivos, los efectos positivos de los oligosacáridos utilizados en este experimento coinciden con los estudios realizados por Salachna y Lopusiewicz (2023), donde reportaron que la aplicación de oligosacáridos de quitosano en *Perilla frutescens* aumentaron significativamente la altura de la planta y el peso fresco de hojas y raíces, superando al testigo.

Cuadro 12. Comparación de medias de peso seco de hojas.

Tratamiento	Media (g)	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Testigo	85.703 c	11.905	60.785	110.621
Nitroflux	85.042 c	13.994	55.752	114.331
Sulfato de Amonio	161.703 a	11.905	136.785	186.621
Enerplant	122.875 b	12.191	97.359	148.391
NP's ZnO orgánicas	98.453 bc	11.905	73.535	123.371
NP's ZnO	86.531 c	12.351	60.680	112.383
Sustancias húmicas	97.203 bc	11.905	72.285	122.121

Letras diferentes indican que los tratamientos son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$).

4.8 Peso Seco de Tallo

Para la variable peso seco de tallo, el análisis de varianzas (Cuadro 13) señaló diferencias significativas ($p = 0.029$), lo cual significa que al menos un tratamiento tuvo un mayor diámetro de tallo.

Cuadro 13. ANOVA de peso seco de tallos.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Enfermas	9628.516	1	9628.516	8.134	0.010
Tratamientos	21649.135	6	3608.189	3.048	0.029
Error	22490.651	19	1183.718		
Total	57354.667	26			

En la comparación de las medias (Cuadro 14) se observó que el sulfato de amonio incremento el peso seco de tallo en un 30-35 % en comparación con los demás tratamientos. El Enerplant fue relevante en el peso seco de tallos, sin embargo, estadísticamente no fue diferente a ningún tratamiento.

Cuadro 14. Comparación de medias de peso seco de tallos.

Tratamiento	Media (g)	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Testigo	144.863 b	17.209	108.843	180.882
Nitroflux	133.431 b	20.228	91.092	175.769
Sulfato de Amonio	220.863 a	17.209	184.843	256.882
Enerplant	173.597 ab	17.622	136.713	210.481
NP's ZnO orgánicas	149.363 b	17.209	113.343	185.382
NP's ZnO	134.378 b	17.854	97.010	171.747
Sustancias húmicas	156.113 b	17.209	120.093	192.132

Letras diferentes indican que los tratamientos son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$).

Las sustancias húmicas aumentaron el diámetro de tallo, pero no fue diferente estadísticamente en comparación con los demás tratamientos. Los resultados obtenidos comparten similitudes con lo reportado por Reyes *et al.* (2021), en un estudio donde observaron que los ácidos húmicos influyeron positivamente en el aumento de la biomasa, el diámetro del tallo y la altura de las plántulas en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), así mismo, se evidenció una mejora en el número de frutos por planta y se registró el más alto porcentaje de efecto bioestimulante. Estos efectos podrían atribuirse a la influencia de las sustancias húmicas en la proliferación celular y aceleración enzimática de las reservas almacenadas en las semillas, además generan un impacto beneficioso en las estructuras radiculares y foliares de las plantas, lo cual se relaciona con un aumento en la producción de ATP, también se ha comprobado una mejora en la eficiencia de la función respiratoria y una mayor agilidad en las reacciones enzimáticas, en particular en el ciclo de Krebs.

Las sustancias húmicas están asociadas con la promoción tanto en la producción como en la elongación de las raíces. Esta influencia tiene un impacto en los procesos que moldean la estructura general de la raíz, incluyendo la absorción de agua y nutrientes. Además, estas sustancias tienen un papel en las interacciones entre la planta y los microorganismos en la rizosfera del suelo. Estas interacciones, a su vez, pueden tener implicaciones en diversas vías del metabolismo de las plantas. Las sustancias húmicas parecen exhibir propiedades similares a las hormonas, sin

embargo, aún no está claro si esta similitud se deriva exclusivamente de la estructura química de las sustancias húmicas o si está relacionada con la presencia de hormonas de origen microbiano atrapadas en su composición (Valero *et al.*, 2018).

4.9 Peso de Panoja.

En el ANOVA (Cuadro 15) para los datos de peso de panoja se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p= 0.019$), señalando que al menos un tratamiento fue superior.

Cuadro 15. ANOVA de peso de panoja.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Enfermas	848033.472	1	848033.472	52.318	0.000
Tratamientos	314116.824	6	52352.804	3.230	0.016
Error	437646.528	27	16209.131		
Total	1797424.286	34			

La comparación de medias (Cuadro 16) indicó que los tratamientos con mayor peso de panoja fueron Enerplant y sulfato de amonio. Enerplant fue superior a las NP's ZnO, testigo, Nitroflux, Ácidos húmicos-fúlvicos y NP's orgánicas en 40 %, 30 %, 28.5 % y 28.17 %, respectivamente. Mientras que el sulfato de amonio superó estadísticamente a las NP's ZnO en un 34.55 %.

Cuadro 16. Comparación de medias de peso de panoja.

Tratamiento	Media (g)	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Testigo	499.417 b	57.082	382.294	616.539
Nitroflux	469.417 b	57.082	352.294	586.539
Sulfato de Amonio	674.778 a	57.195	557.424	792.132
Enerplant	675.778 a	57.195	558.424	793.132
NP's ZnO orgánicas	509.417 b	57.082	392.294	626.539
NP's ZnO	421.417 b	57.082	304.294	538.539
Sustancias húmicas	458.778 b	57.195	341.424	576.132

Letras diferentes indican que los tratamientos son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$).

Falcón *et al.* (2019) encontraron que las oligosacarinas incrementaron el crecimiento y el rendimiento en los cultivos de tomate, pepino, pimiento, papa y frijol. Con respecto al control, los oligosacáridos indujeron resistencia al estrés por patógenos, estrés hídrico y salinidad; en frijol la dosificación de fertilización nitrogenada fue menor, indicando que en este cultivo mejoró el proceso simbiótico con *Rhizobium*.

Las oligosacarinas funcionan como bioestimulantes debido a que sirven como mensajeros químicos hormonales. Además, incrementan la resistencia sistemática adquirida en las plantas, dado que los hongos que afectan a las plantas producen glucanasas para fragmentar los polisacáridos de la pared celular, cuando sucede esto se producen oligosacáridos que estimulan reacciones de protección (Enríquez *et al.*, 2010) debido a que tienen características elicitoras, lo cual permite que las plantas puedan activar mecanismos de defensa ante ciertos patógenos. En tomate se observó que el uso de oligosacáridos indujo resistencia a *Pseudomonas syringae* y *Phytophthora infestans* (Guarnizo *et al.*, 2021).

Lo anterior toma importancia debido a que la severidad de la antracnosis (*Colletotrichum graminicola*) fue menor en el tratamiento de Enerplant, por lo que el efecto puede deberse al uso de oligosacáridos, lo que indujo resistencia en el cultivo de sorgo.

4.10 Rendimiento de Grano.

El análisis de varianza (Cuadro 17) identificó diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.015$). Lo que significa que al menos un tratamiento fue diferente a los demás.

Cuadro 17. ANOVA de rendimiento de grano.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Enfermas	351672.880	1	351672.880	50.560	0.000
Tratamientos	135701.986	6	22616.998	3.252	0.015
Error	187800.968	27	6955.591		
Total	761905.419	34			

La comparación de medias (Cuadro 18) mostró que los tratamientos de sulfato de amonio y Enerplant obtuvieron los mejores rendimientos, siendo superiores a los tratamientos testigo, Nitroflux, NP's de ZnO y ácidos húmicos-fúlvicos.

En cuanto a los tratamientos nitrogenados (sulfato de amonio y Nitroflux), el tratamiento de sulfato de amonio superó al Nitroflux en 24.4 %, lo que indica que el contenido de nitrógeno en el fertilizante Nitroflux pudiera ser menor al reportado por el fabricante, esto se comprobó en un análisis químico para determinar nitratos utilizando cardis LAQUAtwin de HORIBA.

En el experimento también sobresalió el tratamiento con oligosacáridos (Enerplant), el cual fue superior al testigo en un 35.4 %. Este producto ha sido estudiado en otros cultivos, en donde se encontraron mayores rendimientos con la aplicación de Enerplant.

Cuadro 18. Comparación de medias de rendimiento de grano.

Tratamiento	Media (g)	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Testigo	288.943 b	37.393	212.220	365.667
Nitroflux	302.963 b	37.393	226.240	379.687
Sulfato de Amonio	449.202 a	37.466	372.327	526.077
Enerplant	420.802 a	37.466	343.927	497.677
NP's ZnO orgánicas	348.943 ab	37.393	272.220	425.667
NP's ZnO	275.323 b	37.393	198.600	352.047
Sustancias húmicas	307.162 b	37.466	230.287	384.037

Letras diferentes indican que los tratamientos son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$).

Cabrera *et al.* (2013) estudiaron diferentes tipos de oligosacáridos, encontrando que indujeron resistencia en las plantas, además tuvieron efecto bioestimulante debido a que acortó el ciclo celular e interactuó con el ácido indolacético de la planta, lo que benefició el crecimiento y desarrollo, dando como resultado un incremento en el rendimiento. En otro estudio, Alarcón *et al.* (2018) encontraron que la aplicación de oligosacáridos mejoró la calidad de la cebolla y aumentaron significativamente los rendimientos. Por otra parte, Terry *et al.* (2019) estudiaron la imbibición con

oligosacarinas de semillas de tomate antes de la siembra y después realizaron tres aplicaciones foliares, donde observaron que el rendimiento aumentó hasta un 18%, también mencionaron que los tratamientos evaluados mostraron resistencia a tizón temprano (*Alternaria solani*).

En cuanto a la aplicación de NP's, la sintetizada de material orgánico resultó con mayor rendimiento que la inorgánica de ZnO, aunque no hubo diferencias significativas entre las medias de estos tratamientos.

4.11 Peso de 100 Semillas

En análisis de varianza para el peso de 100 semillas (Cuadro 19) mostró diferencias altamente significativas ($p=0.000$), lo que significa que por lo menos un tratamiento fue diferente.

Cuadro 19. ANOVA de peso de 100 semillas.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Enfermas	0.001	1	0.001	0.025	0.875
Tratamiento	1.160	6	0.193	9.744	0.000
Error	0.536	27	0.020		
Total	1.703	34			

En la comparación de medias (Cuadro 20) se encontró que el tratamiento con Enerplant tuvo el mayor peso de 100 semillas, observando diferencias altamente significativas respecto al Nitroflux y NP's orgánicas en un 17.63% y 10.64%, respectivamente.

Cuadro 20. Comparación de medias de peso de 100 semillas.

Tratamiento	Media (g)	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Testigo	2.939 bc	0.063	2.810	3.069
Nitroflux	2.799 c	0.063	2.670	2.929
Sulfato de Amonio	2.921 bc	0.063	2.791	3.051
Enerplant	3.401 a	0.063	3.271	3.531
NP's ZnO orgánicas	3.039 b	0.063	2.910	3.169
NP's ZnO	2.859 bc	0.063	2.730	2.989
Sustancias húmicas	2.941 bc	0.063	2.811	3.071

Letras diferentes indican que los tratamientos son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$).

Los oligosacáridos afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas mediante la estimulación de floración y producción de etileno en frutos, en guisantes y tomate, respectivamente. Además, inducen resistencia mediante la acumulación de fitoalexinas, lignificación de paredes celulares y acumulación de inhibidores de proteasa (Mederos, 2008). En otro estudio Alarcón *et al.* (2020) observaron que la aplicación de oligosacáridos aumentó la calidad en frutos de tomate de la variedad Floradade.

La aplicación de oligosacáridos de alginato en arboles de naranja afectaron de manera positiva la acumulación de carbohidratos en frutas, esto debido a que mejoró la actividad antioxidante de las hojas lo que benefició en un mayor contenido de clorofila y eficiencia fotosintética, esto tuvo un efecto positivo en el rendimiento y calidad de las frutas (Li *et al.*, 2023).

El tratamiento de NP's orgánicas siguió en importancia, encontrando diferencia significativa respecto al tratamiento de Nitroflux, el cual tuvo el menor peso de 100 semillas, con un porcentaje menor de 8 %, siguiendo con el contexto, la aplicación de nanopartículas de zinc han demostrado que ofrecen beneficios en el crecimiento y desarrollo de las plantas, por lo que toman relevancia las NP's sintetizadas en verde, debido al efecto que tuvieron las NP's de ZnO sintetizadas de moringa utilizadas en este estudio, así mismo Rakgotho *et al.* (2022) obtuvieron resultados positivos al tratar semillas de sorgo antes de la siembra con NPs ZnO (5 y 10 ppm) sintetizadas de

Agathosma betulina donde observaron una disminución de estrés por salinidad, lo que benefició el crecimiento de las plantas. Las NP's tuvieron un efecto sobre la concentración de Na/K en una relación de 1.53 (5 ppm NP's ZnO) y 0.85 (10 ppm NP's ZnO). La salinidad afecta las membranas de las células debido al estrés oxidativo, daña las biomoléculas y provoca la muerte celular, el zinc forma parte de la membrana celular, reduce la entrada de iones tóxicos, permitiendo así que la planta mantenga una adecuada concentración de iones esenciales, un metabolismo estable y buen crecimiento.

4.12 Concentración de Nitrógeno en Tejido foliar

El ANOVA (Cuadro 21) realizado para la concentración de N mostró diferencias significativas, lo que indica que al menos un tratamiento tuvo mayor concentración de N en el tejido foliar.

Cuadro 21. ANOVA para la concentración de N% en tejido foliar

CV	SC	GL	CM	F	Sig.
Enfermas	2.807	1	2.807	28.245	0.000
Tratamientos	1.714	6	0.286	2.874	0.036
Error	1.888	19	0.099		
Total	6.262	26			

En el cultivo de sorgo el porcentaje óptimo de N en el tejido de la hoja recientemente madura es de 3.5 a 4.2 % (Quintero y Casanova, 2000), en la comparación de medias (Cuadro 22) se observó que todos los tratamientos tuvieron bajos niveles de este elemento, aunque el tratamiento NP's orgánicas fue el que presentó mayor porcentaje de N en el tejido foliar, seguido del testigo. El Nitroflux fue el que tuvo menor contenido de N, y el único diferente estadísticamente.

Cuadro 22. Comparación de medias de concentración de N% en tejido foliar

Tratamiento	Media (%)	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Testigo	2.006 a	0.158	1.675	2.337
Nitroflux	1.291 b	0.185	.904	1.678
Sulfato de Amonio	1.933 a	0.158	1.602	2.264
Enerplant	1.952 a	0.161	1.616	2.289
NP's ZnO orgánicas	2.290 a	0.158	1.959	2.621
NP's ZnO	1.967 a	0.167	1.618	2.317
Sustancias húmicas	1.937 a	0.161	1.600	2.273

Letras diferentes indican que los tratamientos son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$).

Aunque las NP's ZnO utilizadas en este estudio no tuvieron un efecto significativo, Dimkpa *et al.* (2019) encontraron en el cultivo de sorgo que bajo condiciones de sequía disminuyó la concentración de nitrógeno en el grano en un 57 % y en la planta un 22 %, pero al realizar aplicaciones de NP's de ZnO al suelo (5 ppm) en forma de enmienda, incrementó el porcentaje de N total (raíz, tallo, grano, hojas), además benefició el rendimiento.

4.13 Concentración de Fósforo en Tejido Vegetal

La concentración de P entre los tratamientos fue diferente estadísticamente (Cuadro 23), lo cual indica que al menos un tratamiento tuvo mayor acumulación de este elemento en el tejido foliar.

Cuadro 23. ANOVA de concentración de P% en tejido foliar

CV	SC	GL	CM	F	Sig.
Enfermas	0.099	1	0.099	27.534	0.000
Tratamientos	0.063	6	0.011	2.948	0.033
Error	0.068	19	0.004		
Total	0.248	26			

En el sorgo, la concentración óptima de P en hojas maduras es de 0.2 a 0.6 % (Quintero y Casanova, 2000), en este experimento se encontró que todos los

tratamientos estuvieron dentro del rango de suficiencia a excepción del Nitroflux. En la comparación de medias (Cuadro 24) se observó que el Nitroflux fue el único diferente estadísticamente en comparación con los demás tratamientos.

Cuadro 24. Comparación de medias de P% en tejido foliar

Tratamiento	Media (%)	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Testigo	0.289 a	0.030	0.226	0.352
Nitroflux	0.185 b	0.035	0.111	0.258
Sulfato de Amonio	0.321 a	0.030	0.258	0.384
Enerplant	0.366 a	0.031	0.302	0.430
NP's ZnO orgánicas	0.326 a	0.030	0.264	0.389
NP's ZnO	0.308 a	0.032	0.242	0.374
Sustancias húmicas	0.321 a	0.031	0.258	0.385

Letras diferentes indican que los tratamientos son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$).

4.14 Concentración de Calcio en Tejido Foliar

En la concentración de Ca en el tejido foliar, el ANOVA indicó diferencias altamente significativas (Cuadro 25), esto implicó que al menos un tratamiento tuvo mayor porcentaje de este elemento.

Cuadro 25. ANOVA de concentración de Ca % tejido foliar

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Enfermas	1.575E-005	1	1.575E-005	0.002	0.962
Tratamientos	0.172	6	0.029	4.181	0.008
Error	0.130	19	0.007		
Total	0.324	26			

En el cultivo de sorgo los niveles óptimos de concentración de Ca en el tejido foliar están en el rango de 0.3 a 0.6 % (Correndo y Garcia, 2012), en el experimento los tratamientos con Nitroflux y Enerplant tuvieron niveles menores al rango de suficiencia. En la comparación de medias (Cuadro 26) se observó que las NP's ZnO inorgánicas fueron las que presentaron mayor concentración de Ca, superando a las

NP's ZnO orgánicas y sustancias húmicas en un 33.39 % y 25.30, respectivamente. El Enerplant fue el tratamiento que presentó menor concentración de Ca en el tejido foliar siendo superadas por las NP's ZnO (56 %).

Cuadro 26. Comparación de medias de concentración de Ca % tejido foliar

Tratamiento	Media (%)	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Testigo	0.308 bc	0.041	0.221	0.395
Nitroflux	0.277 bc	0.049	0.175	0.379
Sulfato de Amonio	0.302 bc	0.041	0.215	0.388
Enerplant	0.220 c	0.042	0.131	0.309
NP's ZnO orgánicas	0.337 bc	0.041	0.250	0.423
NP's ZnO	0.506 a	0.043	0.416	0.596
Sustancias húmicas	0.378 b	0.041	0.291	0.465

Letras diferentes indican que los tratamientos son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$).

En este experimento las nanopartículas lograron sobresalir en la concentración de Ca en el tejido foliar, sin embargo no tuvieron efecto en las demás variables, lo contrario a lo encontrado en el estudio de Argüello *et al.* (2016), donde aplicaron NP's ZnO de manera foliar en el cultivo de chile, encontrando que benefició el crecimiento y la producción de biomasa, además mencionaron que este efecto se puede deber a las propiedades que tiene el Zn como precursor de auxinas, las cuales intervienen en la división y elongación celular, de igual manera las NPs ZnO podrían beneficiar en la biosíntesis de las citoquininas y giberelinas.

4.15 Contenido de Nitrógeno Total en Hojas.

En el análisis de varianza (Cuadro 27) se observaron diferencias significativas ($p=0.013$) en el contenido de N total en hojas, por lo tanto, al menos un tratamiento obtuvo mayor contenido de este elemento en el tejido foliar.

Cuadro 27. ANOVA de contenido de N (g) total en hojas.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Enfermas	8.546	1	8.546	27.691	0.000
Tratamientos	6.901	6	1.150	3.727	0.013
Error	5.863	19	0.309		
Total	24.114	26			

En la comparación de medias (Cuadro 28) se observó que el sulfato de amonio mejoró el contenido de N total en el tejido foliar, superando al Nitroflux y al testigo en un 47 % y 43.09 %, respectivamente. De igual manera las NP's ZnO y Sustancias húmicas fueron inferiores en un 43 % y 45 %, en ese orden.

Cuadro 28. Comparación de medias de contenido de N (g) total en hojas

Tratamiento	Media (g)	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Testigo	1.767 b	0.278	1.186	2.349
Nitroflux	1.628 b	0.322	0.954	2.302
Sulfato de Amonio	3.105 a	0.278	2.524	3.687
Enerplant	2.453 ab	0.285	1.857	3.048
NP's ZnO organicas	2.318 ab	0.278	1.737	2.900
NP's ZnO	1.765 b	0.288	1.161	2.369
Sustancias húmicas	1.696 b	0.285	1.100	2.291

Letras diferentes indican que los tratamientos son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$).

Después del sulfato de amonio, el Enerplant fue relevante destacando sobre el Nitroflux en un 33.63 %, por otra parte, no reflejó diferencias estadísticas con los demás tratamientos.

Cabe mencionar que el contenido de N pudo variar debido al número de brotes o hijuelos que produjeron los tratamientos (Cuadro 3).

Los oligosacáridos podrían mejorar la asimilación o aprovechamiento de N en el cultivo de sorgo. González *et al.* (2013) mencionaron que los oligosacáridos de algas marinas beneficiaron la absorción de nitrógeno y carbono en *Nicotiana tabacum*, *Eucalyptus globulus*, entre otras plantas. Por lo tanto, esa particularidad puede afectar

en el crecimiento y desarrollo de algunas especies vegetales y por consecuente aumentar el contenido de nitrógeno total en la biomasa.

Las plantas tratadas con nanopartículas ZnO orgánicas tuvieron mayor contenido de N en comparación con las NP's ZnO, sustancias húmicas, testigo y Nitroflux, pero no fueron diferentes estadísticamente.

4.16 Contenido de Fósforo Total en Hojas

Al realizar el ANOVA (Cuadro 29) se encontraron diferencias significativas ($p=0.017$) en la cantidad total de Fósforo presente en las hojas. En consecuencia, se pudo determinar que al menos un tratamiento logró utilizar de manera más efectiva este elemento.

Cuadro 29. ANOVA de contenido de P (g) total en hojas.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Enfermas	0.282	1	0.282	21.921	0.000
Tratamientos	0.268	6	0.045	3.470	0.017
Error	0.245	19	0.013		
Total	0.928	26			

Al comparar las medias del contenido de P total en hojas (Cuadro 30) se observó que el sulfato de amonio tuvo mejor efecto que Nitroflux y el Testigo, los cuales fueron superados en 48 % y 51.23 %, respectivamente. Siguiendo con el contexto, las NP's ZnO y las sustancias húmicas fueron inferiores en un 46%.

Cuadro 30. Comparación de medias de contenido de P (g) total en hojas

Tratamiento	Media (g)	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Testigo	0.253 c	0.057	0.134	0.372
Nitroflux	0.270 c	0.066	0.132	0.408
Sulfato de Amonio	0.527 a	0.057	0.408	0.646
Enerplant	0.463 ab	0.058	0.341	0.585
NP's ZnO orgánicas	0.332 bc	0.057	0.214	0.451
NP's ZnO	0.280 c	0.059	0.156	0.403
Sustancias húmicas	0.282 c	0.058	0.161	0.404

Letras diferentes indican que los tratamientos son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$).

Las plantas tratadas con Enerplant fueron las que siguieron en importancia, estas superaron al Testigo Nitroflux, sustancias húmicas y NP's ZnO, este tratamiento sobresalió en un 45.35 %, 41.68 %, 39 %, y 39.5 %, en ese orden.

El contenido de P en el tratamiento con NP's orgánicas fue alto, solo por debajo del sulfato de amonio y Enerplant, pero no fue diferente estadísticamente a los otros tratamientos.

4.17 Contenido de Potasio Total en Hojas

En el análisis de varianza para el contenido de K (Cuadro 31) se encontraron diferencias altamente significativas ($p=0.017$), lo que determinó que al menos un tratamiento presentó mayor contenido de K.

Cuadro 31. ANOVA de contenido de K (g) total en hojas.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Enfermas	4.834	1	4.834	5.717	0.027
Tratamientos	28.206	6	4.701	5.560	0.002
Error	16.912	20	0.846		
Total	54.426	27			

El sulfato de amonio y Enerplant fueron los tratamientos que obtuvieron el mayor contenido de K total en hojas (cuadro 32). El Enerplant superó al testigo en un 47.24 %, además fue mejor en un 43.33 % en comparación con las sustancias húmicas.

Cuadro 32. Comparación de medias de contenido de K (g) total en hojas

Tratamiento	Media (g)	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Testigo	2.660 b	0.460	1.700	3.620
Nitroflux	2.780 b	0.470	1.799	3.761
Sulfato de Amonio	5.121 a	0.460	4.161	6.080
Enerplant	5.042 a	0.470	4.061	6.023
NP's ZnO orgánicas	3.124 b	0.460	2.164	4.083
NP's ZnO	2.885 b	0.478	1.887	3.882
Sustancias húmicas	2.857 b	0.460	1.897	3.816

Letras diferentes indican que los tratamientos son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$).

Baldoquin *et al.* (2015), al aplicar Enerplant en el cultivo de lechuga, obtuvieron resultados positivos y significativos, mencionando que el efecto de este producto se puede atribuir a las características particulares que tienen los bioestimulantes, entre las que se encuentran una mayor eficiencia en la asimilación de macro y micronutrientes y la aceleración del proceso de desarrollo, crecimiento y formación de frutos.

4.18 Concentración de Zinc en el Tejido Foliar

En la concentración de zinc en el tejido foliar no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos.

En el cuadro 33 se muestran los promedios de la concentración de zinc en los tratamientos, donde se observó que todos los tratamientos estuvieron en el rango óptimo de suficiencia de este elemento, Las NP's ZnO orgánicas e inorgánicas, fueron ligeramente superiores, pero estadísticamente no fueron diferentes.

Cuadro 33. Concentración de Zn (ppm) en el tejido foliar

Tratamiento	Media (ppm)	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Testigo	34.648	6.732	20.605	48.691
Nitroflux	25.846	6.880	11.494	40.199
Sulfato de Amonio	25.351	6.732	11.308	39.394
Enerplant	36.721	6.880	22.369	51.074
NP's ZnO orgánicas	39.054	6.732	25.011	53.097
NP's ZnO	38.278	6.997	23.682	52.873
Sustancias húmicas	36.179	6.732	22.136	50.222

La concentración óptima de Zinc en el cultivo de sorgo en las hojas recientemente maduras y en etapa vegetativa-panoja debe de ser de 20-100 ppm (Correndo y García, 2012).

Mantener un nivel óptimo de zinc en la nutrición de las plantas es importante debido a que forma parte de las enzimas y proteínas que controlan la expresión génica. El zinc desempeña un papel crucial en la fotosíntesis y el metabolismo de carbohidratos en las plantas al estabilizar y activar proteínas esenciales en estos procesos. Además, es vital para el funcionamiento del fotosistema II y la enzima y en la estructura de la enzima ribulosa bifosfato carboxilasa/oxigenasa (RUBISCO), que se encarga de la captación o fijación del carbono. Este elemento también participa en la detección y respuesta a estrés biótico y abiótico, así como en la defensa contra agentes estresantes. Forma parte de proteínas cinasas, transmitiendo señales de estrés y contribuye a enzimas como alcohol deshidrogenasa y superóxido dismutasa, que sostienen el metabolismo durante el estrés y neutralizan especies reactivas de oxígeno (Amezcuca y Lara, 2017).

5. CONCLUSIONES

1. Del estudio realizado se concluye que el tratamiento con oligosacáridos (Enerplant) presentó un efecto positivo en el peso seco de tallo, peso de panoja, rendimiento y tamaño de las semillas.
2. El sulfato de amonio tuvo un impacto significativo en el peso seco y ancho de hoja, diámetro y peso seco de tallo y rendimiento, pero no mejoró el tamaño de las semillas.
3. El tratamiento Enerplant presentó un desempeño superior al sulfato de amonio en el tamaño de las semillas, registrando un incremento del 14.11 %.
4. Nitroflux presentó un desempeño inferior al sulfato de amonio en la tarea de suministrar Nitrógeno a las plantas evaluadas.
5. Las nanopartículas de Zn orgánicas sobresalieron en rendimiento, solo por detrás de del sulfato de amonio y Enerplant, aunque no fueron diferente estadísticamente con los demás tratamientos.
6. La eficacia de las nanopartículas orgánicas en comparación con Nitroflux se evidenció en el presente estudio, en cuanto a peso de 100 semillas y rendimiento.
7. El Nitroflux presentó menor concentración de N, P, K siendo diferente estadísticamente a los demás tratamientos.
8. Las nanopartículas de Zn inorgánicas presentaron mayor contenido de calcio en el tejido foliar. Por otra parte, el Enerplant tuvo el menor contenido porcentaje de Ca en el tejido foliar.

9. El contenido de N, P, K total en hojas fue mayor en los tratamientos sulfato de amonio y Enerplant.

10. En general, los tratamientos testigo, Nitroflux, NP's ZnO y sustancias húmicas presentaron un desempeño inferior en la mayoría de las variables, en comparación con los otros tratamientos.

6. LITERATURA CONSULTADA

- Aghaeifard, F., Babalar, M.; Fallahi, E., Ahmadi, A. (2016). Influence of humic acid and salicylic acid on yield, fruit quality, and leaf mineral elements of strawberry (*Fragaria x Ananassa* Duch.) cv. Camarosa. J. Plant Nutr. 39, 1821–1829. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1088023>
- Alarcón A., Bonilla B.M., Abasolo F., Granados Y.E. y Boicet T. (2020). Efecto de productos homeopáticos y oligosacáridos en la calidad de *Solanum lycopersicum* L, variedad “floradade”. Revista Cubana de Química. Vol.32, no.3
- Alarcón A., Muñoz O., Viltres R., Boicet T., González G. (2018). Efecto de Enerplant® en el rendimiento y calidad de la cebolla. Revista Centro Agrícola. Vol. 45(2) pp. 12-20.
- Alejandro F., García R., García R.C., Mora J.S., Sangerman D.M. (2020). Competitividad de la producción de sorgo en el norte de Tamaulipas, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Volumen 11:1. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i1.1914>
- Alonso, D., Sharifan, H., & Tejeda, L. (2022). Application of zinc oxide nanoparticles to promote remediation of nickel by *Sorghum bicolor*: metal ecotoxic potency and plant response. International Journal of Phytoremediation. pag. 98-105. <https://doi.org/10.1080/15226514.2022.2060934>
- Alonso, D., Sharifan, H., & Tejeda, L. (2022). Application of zinc oxide nanoparticles to promote remediation of nickel by *Sorghum bicolor*: Metal ecotoxic potency and plant response. International Journal of Phytoremediation. pag. 98-105. <https://doi.org/10.1080/15226514.2022.2060934>
- Amezcuca J.C y Lara M. (2017). El zinc en las plantas. Revista ciencia. Vol.68, num. 3, pp. 28-35. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/68_3/PDF/zinc_plantas.pdf

- Aquino P., Osorio A.M., Ninána E., Torres F. (2018). Caracterización de nanopartículas de ZnO sintetizadas por el método de precipitación y su evaluación en la incorporación en pinturas esmalte. *Revista de la Sociedad Química de Perú*. 84(1).
- Argüello B; Vera I., Mendoza E., García L.A., Puente B.A., Lira R.H. (2016). Promoción del crecimiento en plantas de *Capsicum annuum* por nanopartículas de óxido de zinc. *Nova Scientia*, vol. 8 (17), noviembre, pp. 140-156
- Ávila J, C., Santoyo V.H y Turrent A., El mercado de fertilizantes en México a finales del siglo XX. La industria de los fertilizantes antes de los noventa Universidad Autónoma Chapingo. CIESTAAM. Primera Edición en español. pp. 53
- Baldoquin, M., Alonso M., Gómez Y, e Idalberto Julio Bertot I.J., (2015). Respuesta agronómica del cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa*. L) variedad Black Seed Simpson ante la aplicación de bioestimulante Enerplant. *Centro Agrícola*. 42 (3). P 53-57.
- Belisario R., Robertson A. Y Vaillancourt L. (2022). Maize Anthracnose Stalk Rot in the Genomic Era. *Plant Disease Feature*. Recuperado en: <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-21-2147-FE>
- Cabrera J.C., Wégria G., Gonzalez G., Napoles M.C., Falcon A.B., Rogers H.J., Diosdado E., González S., Cabrera G., Gonzalez L. y Watiiez R. (2013). Practical Use of Oligosaccharins in Agriculture. *Ist World Congress on the Use of Biostimulants in Agriculture*. 2013. Recuperado de: [10.17660/ActaHortic.2013.1009.24](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1009.24)
- Canellas L.P., y Olivares F.L. (2018). Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical y Biological Technologies Agriculture*. 1:3. Recuperado de: <https://chembioagro.springeropen.com/articles/10.1186/2196-5641-1-3>
- Ciceana. (2022). Saber más del ciclo del nitrógeno. Centro de información y comunicación ambiental del norte. Recuperado de: http://www.divulgacion.ccg.unam.mx/webfm_send/109

- CIMMYT. (2020). La importancia del nitrógeno en los cultivos y cómo optimizar su aplicación. Obtenido de Centro Internacional de mejoramiento de maíz y trigo: <https://idp.cimmyt.org/la-importancia-del-nitrogeno-en-los-cultivos-y-como-optimizar-su-aplicacion/>
- Corrales M., Rada F., y Jaimez R. (2016). Efecto del nitrógeno en los parámetros fotosintéticos y de producción del cultivo de la gerbera (*Gerbera jamesonii* H. Bolus ex Hook. f.). *Acta Agronómica*, vol.65 (3), pp. 255-260.
- Correndo A. y Garcia. (2012). Concentración de nutrientes en planta como herramienta de diagnóstico: Cultivos extensivos. IPNI. recuperado de: <http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/2983F9B934DDE60D852579BA00747DF4/%24FILE/AA14.pdf>
- Del pilar M. (2022). Agricultores denuncian incremento de 300% en precios de fertilizantes. *El economista*. Recuperado de: <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Agricultores-denuncian-incremento-de-300-en-precios-de-fertilizantes-20220329-0063.html>
- Dewen Q., Yijie D; Li Z., Shuping L., Fakhar S. (2017). Plant Immunity Inducer Development and Application. Vol.30 (5). pag.355-360. <http://dx.doi.org/10.1094/MPMI-11-16-0231-CR>
- Dimkpa C., Singh U., Bindraban P., Elmer W.; Gardea J., White J. (2019). Zinc oxide nanoparticles alleviate drought-induced alterations in sorghum performance, nutrient acquisition, and grain fortification. *Science of The Total Environment*. Vol (688). p 926-934.
- Dina S., Osman S., El A., Elwahed M., & Shaaban E. (2019). Effect of zinc oxide nanoparticles on the growth, genomic DNA, production, and the quality of common dry bean (*Phaseolus vulgaris*). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. Vol. 18. doi: 10.1016/j.bcab.2019.101083
- Doria, S. (2021). Principales tipos de fertilizantes y sus procesos químicos. Obtenido de WIKA: <https://www.bloginstrumentacion.com/aplicaciones/principales-tipos->

de-fertilizantes-y-sus-procesos-

quimicos/#:~:text=Fertilizantes%20nitrogenados&text=Cuando%20se%20mezcla%20a%20alta,%2C%20mezclado%20con%20CO2%2C%20urea

Economía y política. (2022). El aumento de costos de los fertilizantes pone en riesgo a los agricultores y sus cultivos. Obtenido de Economía y política: https://businessinsider.mx/aumentos-costos-fertilizantes-ponen-peligro-cultivos_economia-politica/

Falcon A., Costales D., Gonzales D., & Nápoles M. (2015). Nuevos productos naturales para la agricultura. *Cultivos Tropicales*, Vol. 31. pp. 111-129. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v36s1/ctr10s115.pdf>

Falcón, A., Costales, D., González, D., & Nápoles, M. (2015). Nuevos productos naturales para la agricultura. *Cultivos Tropicales*, 111-129.

Falcon, A., Gonzales D., Nápoles M., Morales D.M. , Núñez M. C, Cartaya O. E., Martines L., Terry E., Costales D., Dell J.M, Jerez E., González L.G., Jiménez M.C. (2019). Oligosacarinas como bioestimulantes para la agricultura cubana. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, Vol. 11, No. 1 <http://scielo.sld.cu/pdf/aacc/v11n1/2304-0106-aacc-11-01-e852.pdf>

Galindo, A., Fortis, M., De la rosa, V., Zermeño, H., & Galindo, M. (2022). Síntesis química de nanopartículas de óxido de zinc y su evaluación en plántulas de *Lactuca sativa*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas publicación especial* núm. 28, pp-299-302. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3284>

García L.M., Parada F.A y Arias A.Y. (2022). Nutrición en plantas de moringa (*Moringa oleífera* Lam.) utilizando diferentes fuentes de nitrógeno, fósforo y potasio: su influencia en el desarrollo y crecimiento en vivero. *Agrociencia*. Número 22 • pp. 40-52, <https://www.agronomia.ues.edu.sv/agrociencia/index.php/agrociencia/article/view/185/207>

- García M. L., Martínez V., Avendaño A., Padilla, M.C., Izquierdo O. (2009). Acción de oligosacáridos en el rendimiento y calidad de tomate. *Revista fitotecnia mexicana*. Vol. 32 (4). Pág. 295-301.
- Garza C.A., Olivares E., González S., Cabrera M., Juárez A., González J.A., Tortella G., Valdez M.V., Benavides A. (2022). Strawberry Biostimulation: From Mechanisms of Action to Plant Growth and Fruit Quality. *Plants*, 11, 3463. <https://doi.org/10.3390/plants11243463>
- González, A. (2022). Ciclos bio-geoquímicos. Obtenido de Hipertextos del área de biología. <http://www.biologia.edu.ar/plantas/cicloge.htm>
- González A., Castro J., Vera J., Moenne A. (2013). Seaweed oligosaccharides stimulate plant growth by enhancing Carbon and nitrogen assimilation, basal metabolism, and cell division. *J Plant Growth Regul.* Vol.32, pp- 443–448. DOI 10.1007/s00344-012-9309-1
- González, P. (2019). Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. Congreso Nacional de Chile. Recuperado de: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf
- Guarnizo N., Oliveros D., Murillo W. y Bermúdez M.B. (2021). Oligosaccharides: Defense Inducers, their recognition in plants, commercial uses and perspectives. *Molecules*, Vol. 25. <https://doi.org/10.3390/molecules25245972>
- Harrison J.A. (2003). El ciclo del nitrógeno. *Visionlearning* Vol. EAS-2 (4), 2003. Recuperado de: <https://www.visionlearning.com/es/library/Ciencias-de-la-Tierra/6/El-Ciclo-del-Nitrogeno/98>
- Hernández, E. (2022). Se dispara 300% el precio de fertilizantes en México por conflicto Rusia-Ucrania: agricultores. *Forbes*. Consultado el 01/06/2022 en: <https://www.forbes.com.mx/se-dispara-300-el-precio-de-fertilizantes-en-mexico-por-conflicto-rusia-ucrania-agricultores/>

- INEGI. (2019). Mapa Digital de México V6.3. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. consultado en: <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?coordinates=>
- IPNI. (05 de 09 de 2022). Fuentes de nutrientes específicos. Obtenido de Ipni.net: [http://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/794F6BDB7E84EA4785257BBA0059C154/\\$FILE/NSS-ES-12.pdf](http://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/794F6BDB7E84EA4785257BBA0059C154/$FILE/NSS-ES-12.pdf)
- Keerthana, P., Vijayakumar, S., Vidhya, E., Punitha, V., Nilavukkarasi, M., & Praseetha, P. (2021). Biogenesis of ZnO nanoparticles for revolutionizing agriculture: A step towards anti -infection and growth promotion in plants. *Industrial Crops and Products*, vol. 120, pp. 1-7
- Latham M. (2002). Cereales, raíces feculentas y otros alimentos con alto contenido de carbohidratos. De las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. *Nutrición humana en el mundo en desarrollo*. FAO. No. 29, Capítulo 26. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/w0073s/w0073s00.htm#Contents>
- López, H., López, C. M., Muzquiz, E. M., Hernández f., & González, H. M. (2016). Nanopartículas: aplicaciones actuales y futuras en la industria alimentaria. *Ciencia cierta*, Núm. 48.
- <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/12/13/nanoparticulas-aplicaciones-actuales-y-futuras-en-la-industria-alimentaria/>
- Li Z., Duan S., Lu B., Yang C., Ding H. y Shen H. (2023). Spraying alginate oligosaccharide improves photosynthetic performance and sugar accumulation in citrus by regulating antioxidant system and related gene expresión. *Front. Plant Sci, Sec. Crop and Product Physiology*, Vol. 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1108848>
- Mauleon. (2019). Síntesis de nanopartículas de óxido de zinc a partir de extractos de *Stevia rebaudiana* y *Moringa oleífera* [Tesis de Maestría, Universidad Papoloapan].

https://www.unpa.edu.mx/tesis_Tux/tesis_digitales/maestria_biotechnologia/MB52-Keyla_Mauleon_Tolentino.pdf

Méndez B., Vera I., Mendoza E., García L.A., Puente B.A., Lira R.H. (2016). Promoción del crecimiento en plantas de *Capsicum annuum* por nanopartículas de óxido de zinc. *Revista Electrónica Nova Scientia*, Vol.8 (2), pp.140-156.

Orchardson, E. (2020). El nitrógeno en la agricultura. Centro Internacional de mejoramiento maíz y Trigo. Consultado el 10/06/2022 en: <https://www.cimmyt.org/es/noticias/el-nitrogeno-en-la-agricultura/#:~:text=%C2%BFPor%20qu%C3%A9%20las%20plantas%20necesitan,los%20componentes%20b%C3%A1sicos%20del%20ADN>.

Peña J.J. ; Grageda O.A, Vera J.A. (2002). Manejo de los fertilizantes nitrogenados en México: uso de las técnicas isotópicas (15n). *Terra Latinoamericana*. Vol. 20 (1), pp. 51-56. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57320109.pdf>

Perales M.V., Alvarado L., Hermosillo L.J., Marquez J.I. y Vega f. (2019). Análisis de rentabilidad económica del uso de zinc en la producción y calidad de maíz forrajero en la comarca lagunera. *Rev. Mex. Agronegocios*, vol. 45, pp-371-382, recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14162394009>

Pérez A., Saucedo O, Iglesias J., Wencomo H.B., Reyes F., Oquendo G., y Milián I. (2010). Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Pastos y Forrajes*. Vol.33 (1), pp-1-26, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269119691001>

Polansek, T., & Mano, E. (2022). La escasez de fertilizantes amenaza la oferta mundial de alimentos tras las sanciones a Rusia. Obtenido de Refinitiv: <https://www.refinitiv.com/es/blog/trading/la-escasez-de-fertilizantes-amenaza-la-oferta-mundial-de-alimentos-tras-las-sanciones-a-rusia#:~:text=Los%20elevados%20precios%20de%20los,una%20probable%20escasez%20de%20alimentos>

- Prasad, R., Bhattacharyya, A. & Nguyen, Q. (2017). Nanotechnology in Sustainable Agriculture: Recent Developments, Challenges, and Perspectives. *Frontiers in Microbiology*. Vol (8): 1014. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01014>
- Quintero F. y Casanova E. (2000). Concentración de nutrimentos en hojas de la planta de sorgo, *Sorghum bicolor* (L.) y su relación con el diagnóstico de suficiencia nutricional. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. Num.17, pp.196-207.
- Rakgotho T., Ndou N., Mulaudzi T., Iwuoha E., Mayedwa N. y Ajayi R.F. (2022). Green-Synthesized Zinc Oxide Nanoparticles Mitigate Salt Stress in *Sorghum bicolor*. *Agriculture*. Vol.(12), pág. 597. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050597>
- Reyes J.J., Rivero M., Solorzano A. E., Caballo F. J., Lucero G. y Ruiz F.H. (2018). Aplicación de ácidos húmicos, quitosano y hongos micorrízicos como influyen en el crecimiento y desarrollo de pimiento. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-13. e833. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.833>
- Reyes J.J., Enríquez E.A., Ramírez M.A., Rodríguez A. T., & Falcón A. (2022) Efecto de ácidos húmicos, micorrizas y quitosano en indicadores del crecimiento de dos cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Terra Latinoamericana*. Número Especial. Vol.38-3: 653-666. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.671>
- Rivera. R.G., Preciado P., Fortis M., Betancourt R., Yescas Pablo., Arnoldo J. (2021). Nanopartículas de óxido de zinc y su efecto en el rendimiento y calidad de melón. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. Vol. 12 (5), pp-791-803. Disponible en: <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2987>
- Ruiz J. C., Milán M.C., Murguía B. (2010). Folleto sobre seguridad y uso del amoníaco. *Revista Electrónica de Veterinaria*, vol. 11, núm. 3B, pp.1695-7504
- Salachna P., y L., Lopusiewicz. (2022). Chitosan oligosaccharide lactate increases productivity and quality of baby leaf red perilla. *Agronomy*. 12 (5), pp. 1-10, <https://doi.org/10.3390/agronomy12051182>
- Saini, S.; Kumar, P.; Sharma, N.C., Sharma, N., Balachandar, D. (2021). Nano-enabled Zn fertilization against conventional Zn analogues in strawberry (*Fragaria ×*

ananassa Duch.). Sci. Hortic, 282, 110016.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110016>.

SIAP. (2022). Producción anual agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Consultado en: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>

SIAP. (2022). Sorgo grano. Escenario mensual de productos agroalimentarios. Dirección de Análisis Estratégico. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/817532/Sorgo_Marzo.pdf

Terry A., Ruiz J., Falcon A., Socarras Y. (2019). Oligosacarinas estimulan el crecimiento y rendimiento del tomate (*Solanum lycopersicum* L) bajo condiciones protegidas. Cultivos tropicales. Vol. 40 (4), pp-1-20

TehraniFar, A.; Ameri, A. (2014). Effect of humic acid on nutrient uptake and physiological characteristics of *Fragaria* × *ananassa* “Camarosa.” Acta Hortic, 1049, pp-391–394. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1049.54>.

UN. (2022). El mundo alcanza 8000 millones de habitantes. Noticias ONU. Naciones Unidas. Recuperado de: <https://news.un.org/es/story/2022/11/1516892>

Valero N., Salgado J.A y Corzo D. (2018). Metodología Sencilla para Evaluar Bioactividad de Ácidos Húmicos obtenidos de Lignito Mediante Extracción Alcalina y Bacterias Solubilizadoras de Carbón. Información Tecnológica – Vol. 29 N° 4. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000400075>

Veovides H., Guridi F., Vázquez V. (2018). Las sustancias húmicas como bioestimulantes de plantas bajo condiciones de estrés ambiental. Cultivos Tropicales. Vol. 39 (4), pp. 102-109.