



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL



**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL**

UNIDAD SINALOA

**“Fertilizantes foliares sintéticos y orgánicos en
maíz (*Zea mays*) utilizando drones”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRIA EN

RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE

PRESENTA:

DANIEL ALEJANDRO ANAYA CASTRO

GUASAVE, SINALOA; MÉXICO JUNIO DE 2024



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE OBRA PARA DIFUSIÓN

En la Ciudad de México el día 10 del mes de junio del año 2024 , el (la) que suscribe **Daniel Alejandro Anaya Castro** alumno(a) del programa **Maestría en recursos naturales y medio ambiente** con número de registro **B220692**, adscrito(a) a **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-Unidad Sinaloa** manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis bajo la dirección de **Adolfo Dagoberto Armenta Bojórquez** y **M.C. Jesús Ricardo Camacho Báez** y cede los derechos del trabajo intitulado **"Fertilizantes foliares sintéticos y orgánicos en maíz (*Zea mays*) utilizando drones"**, al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expresado del autor y/o director(es). Este puede ser obtenido escribiendo a las siguiente(s) dirección(es) de correo. dac150@hotmail.com , aarmenta@ipn.mx, camachobaez@hotmail.com . Si el permiso se otorga, al usuario deberá dar agradecimiento correspondiente y citar la fuente de este.

Daniel Anaya

Daniel Alejandro Anaya Castro



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS

Guasave, Sinaloa a 29 del mayo de 24

El Colegio de Profesores de Posgrado de CIIDIR-Unidad Sinaloa en su Sesión

extraordinaria No. 8 celebrada el día 28 del mes Mayo de 24 conoció la solicitud presentada por el (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	Anaya	Apellido Materno:	Castro	Nombre (s):	Daniel Alejandro
-------------------	-------	-------------------	--------	-------------	------------------

Número de registro: B 2 2 0 6 9 2

del Programa Académico de Posgrado: Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente

Referente al registro de su tema de tesis; acordando lo siguiente:

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:

Fertilizantes foliares sintéticos y orgánicos en maíz (*Zea mays*) utilizando drones

Objetivo general del trabajo de tesis:

La fertilización foliar mediante la mezcla de fertilizantes sintéticos y orgánicos aplicada con drones dará un mayor aprovechamiento de estos fertilizantes en el cultivo de maíz.

2.- Se designa como Directores de Tesis a los profesores:

Director: Dr. Adolfo Dagoberto Armenta Bojórquez

Director: M.C. Jesús Ricardo Camacho Báez

No aplica:

3.- El Trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-Unidad Sinaloa

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente, hasta la aprobación de la versión completa de la tesis por parte de la Comisión Revisora correspondiente.

Director(a) de Tesis

2° Director de Tesis (en su caso)

Dr. Adolfo Dagoberto Armenta Bojórquez

M. en C. Jesús Ricardo Camacho Báez

Aspirante

Presidente del Colegio

Daniel Anaya

Daniel Alejandro Anaya Castro

Dr. Héctor Abelardo González Ocampo



CIIDIR - IPN
UNIDAD SINALOA
DIRECCION



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
Dirección de Posgrado

SIP-14
REP 2017

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Guasave, Sinaloa siendo las 13:00 horas del día 10 del mes de junio del 2024 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de: CIIDIR, UNIDAD SINALOA para examinar la tesis titulada: "Fertilizantes foliares sintéticos y orgánicos en maíz (Zea mays) utilizando drones" del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	Anaya	Apellido Materno:	Castro	Nombre (s):	Daniel Alejandro
-------------------	-------	-------------------	--------	-------------	------------------

Número de boleta: B 2 2 0 6 9 2

Alumno del Programa Académico de Posgrado: Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 13 % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo **SI** **NO** **SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN:

La coincidencias mínimas están en algunas palabras usadas en el formato de la tesis, en las palabras técnicas que se refieren a las especies de los organismos estudiados, y en la página del glosario, antecedentes, clasificación taxonómica y nombres de especies.

Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.

Finalmente y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR** **SUSPENDER** **NO APROBAR** la tesis por **UNANIMIDAD** o **MAYORÍA** en virtud de los motivos siguientes:

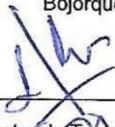
La tesis es un trabajo original por lo que No hay riesgo de posible plagio. La tesis cumple los requisitos de forma y contenido científico necesario para que realice su examen de grado.


COMISIÓN REVISORA DE TESIS


 Director de Tesis
 Dr. Adolfo Dagoberto Armenta Bojórquez


 Dr. Cipriano García Gutiérrez


 Dra. Blanca Elvira López Valenzuela


 2° Director de Tesis (en su caso)
 M.C. Jesús Ricardo Camacho Báez


 Dr. José Luis Acosta Rodríguez


 Dr. Héctor Abelardo González Ocampo
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES



El trabajo de tesis se desarrolló en el Departamento de Biotecnología Agrícola del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Sinaloa del Instituto Politécnico Nacional (IPN). El presente trabajo fue apoyado económicamente a través del Proyecto SIP-IPN con número de registro 20230238. El alumno Daniel Alejandro Anaya Castro fue apoyado con una beca CONAHCYT con clave 1239260.

DEDICATORIA

A mis padres Norma Castro y Felipe Anaya gracias por apoyarme y estar siempre conmigo, cuyo constante respaldo y comprensión han sido fundamentales en mi camino hacia esta meta académica. Su apoyo ha sido invaluable y les agradezco sinceramente por estar siempre presentes.

A mis hermanos Marbeth y Felipe por su apoyo durante este tiempo. Sus palabras de ánimo y su presencia han sido una fuente de fortaleza para mí. Aprecio sinceramente su contribución a mi vida y a este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, mi profundo agradecimiento a mis asesores académicos el Dr. Adolfo Dagoberto Armenta Bojórquez y el M.C. Jesús Ricardo Camacho Báez, por su orientación experta, paciencia y apoyo constante a lo largo de este proceso. Sus conocimientos y sugerencias fueron fundamentales para el desarrollo de esta tesis.

A mi comité tutorial integrado por el Dr. Cipriano García Gutiérrez, Dr. José Luis Acosta Rodríguez y la Dr. Blanca Elvira López Valenzuela, gracias por su apoyo en estos años de estudio y por sus conocimientos compartidos.

Agradezco también a mis profesores del programa, cuyas discusiones enriquecedoras y comentarios constructivos ayudaron a dar forma a mis ideas y a mejorar la calidad de este trabajo. Además, agradezco al CIIDIR-SINALOA por proporcionar los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación.

Al M.C. Julián Alberto Galaviz Lara por apoyarme y brindarme sus conocimientos en el trabajo de laboratorio y campo durante todo el proyecto.

A mis compañeros y amigos que conocí en el CIIDIR: Lili, Emmanuel, María Elena, Susana, Gabriela, Itzel, Heidy, Valeria, agradecer a cada uno de ellos cuyas contribuciones fueron valiosas para el desarrollo de esta investigación. Su trabajo en equipo, comentarios y sugerencias jugaron un papel importante en la mejora de este proyecto.

ÍNDICE

GLOSARIO.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE CUADROS	XIV
RESUMEN	XVI
ABSTRACT	XVII
I INTRODUCCIÓN.....	1
II ANTECEDENTES.....	3
2.1 Importancia del cultivo de maíz	3
2.2 Clasificación taxonómica y descripción botánica del maíz	4
2.3 Fisiología del maíz	4
2.4 Nutrimientos esenciales para las plantas.....	5
2.5 Nutrimientos requeridos en el maíz.....	7
2.6 Fertilización de nutrimentos por el cultivo de maíz	8
2.7 Fertilización foliar	8
2.8 Absorción foliar.....	10
2.9 Fertilización foliar sintética	11
2.10 Fertilización foliar orgánica.....	11
2.11 Factores para una buena fertilización foliar.....	12
2.11.1 Factores en la solución.....	13
2.11.2 Factores Ambientales	14
2.12 Drones en la agricultura	15
III JUSTIFICACION.....	17
IV Hipótesis.....	18
V OBJETIVOS.....	19
5.1 Objetivo general	19
5.2 Objetivos específicos	19
VI MATERIALES Y METODOS	20
6.1 Ubicación del sitio.	20
6.2 Primer experimento para la selección del mejor fertilizante foliar sintético y orgánico en el cultivo de maíz.....	20
6.2.1 Preparación del terreno y riego.....	20
6.2.2 Fertilización y siembra	21

6.2.3	Descripción de tratamientos y diseño experimental.....	21
6.2.4	Aplicación de fertilizantes foliares.....	22
6.2.5	Concentración nutrimental de los tratamientos utilizados.....	23
6.3	Segundo experimento para evaluar la mezcla del mejor fertilizante foliar sintético con el mejor orgánico seleccionado mediante su aplicación con dron y de manera tradicional.....	26
6.3.1	Preparación del terreno y riego.....	26
6.3.2	Fertilización y siembra.....	26
6.3.3	Descripción de tratamientos y diseño experimental.....	27
6.3.4	Aplicación de fertilizantes foliares.....	28
6.4	Muestreo del suelo.....	30
6.5	Análisis físico-químicos de los fertilizantes foliares orgánicos.....	31
6.6	Variables a evaluar durante el cultivo de maíz.....	31
6.6.1	Altura de planta.....	31
6.6.2	Altura de mazorca.....	32
6.6.3	Peso específico de grano.....	32
6.6.4	Producción de grano (cosecha).....	32
6.7	Análisis de las propiedades físico-químicas del suelo y de la composta..	32
6.7.1	Análisis de fósforo.....	33
6.8	Análisis nutrimental en el follaje de la planta.....	34
6.8.1	Determinación de Nitrógeno total.....	35
6.8.2	Determinación de Fosforo.....	36
6.8.3	Determinación de potasio.....	36
6.8.4	Determinación de calcio y magnesio.....	36
6.8.5	Determinación de hierro, manganeso, zinc y cobre.....	37
6.9	Interpretación de variables.....	37
VII	Resultados.....	38
7.1	Análisis de suelos previo a la siembra.....	38
7.2	Experimento para la selección del mejor fertilizante foliar sintético y orgánico en el cultivo de maíz.....	39
7.2.1	Análisis Nutrimental del follaje previo a las aplicaciones foliares.....	39
7.2.2	Análisis de absorción de nutrientes después de la primera aplicación foliar	39

7.2.3	Análisis de absorción de nutrimentos después de la segunda aplicación foliar	41
7.2.4	Altura de planta y mazorca	43
7.2.5	Peso específico de grano y producción de grano	44
7.2.6	Selección del mejor fertilizante foliar sintético y orgánico evaluados en el cultivo de maíz	45
7.3	Experimento para evaluar la mezcla del mejor fertilizante foliar sintético con el mejor orgánico seleccionado mediante su aplicación con dron y de manera tradicional.....	45
7.3.1	Análisis de absorción de nutrimentos después de la primera aplicación foliar	46
7.3.2	Análisis de absorción de nutrimentos después de la segunda aplicación foliar	47
7.3.3	Altura de planta y mazorca	49
7.4	Peso específico de grano y producción de grano.....	50
VIII.	Discusión	52
IX.	Conclusiones	56
X	BIBLIOGRAFIA	57

GLOSARIO

Absorción foliar: Es un proceso mediante el cual las plantas absorben nutrientes directamente a través de las hojas. Este proceso puede ocurrir mediante la aplicación de nutrientes solubles en agua sobre las hojas de las plantas, donde son absorbidos a través de los estomas y la cutícula.

Ácidos fúlvicos: Son compuestos orgánicos similares a los ácidos húmicos, pero de menor peso molecular. También se forman durante la descomposición de la materia orgánica y tienen propiedades similares, como mejorar la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

Ácidos húmicos: Son compuestos orgánicos complejos que se encuentran en el suelo y se forman durante la descomposición de la materia orgánica. Ayudan a mejorar la estructura del suelo, retienen nutrientes y promueven la actividad microbiana beneficiosa.

Composta: Es un producto resultante de la descomposición controlada de materia orgánica, como restos de cocina, residuos de jardín y estiércol, mediante microorganismos y procesos aeróbicos. La composta es rica en nutrientes y materia orgánica y se utiliza como enmienda del suelo para mejorar su fertilidad y estructura.

Epidermis: Es la capa celular más externa en los tejidos de plantas y animales. En las plantas, la epidermis consiste en una fina capa de células que cubre la superficie externa de la planta, abarcando hojas, tallos, flores y raíces. Su función principal es proteger los tejidos internos y regular el intercambio de gases y agua.

Estomas: Son pequeñas aberturas o poros que se encuentran en la epidermis de las hojas y otras partes verdes de las plantas. Estos permiten el intercambio de gases, como la entrada de dióxido de carbono y la salida de oxígeno y vapor de agua durante el proceso de fotosíntesis y transpiración.

Fertilización: Es el proceso mediante el cual se suministran a las plantas los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo adecuados. Estos nutrientes pueden provenir de diversas fuentes, como el suelo, el agua de riego o fertilizantes

específicos, y son absorbidos por las raíces de las plantas para satisfacer sus necesidades nutricionales.

Fertilización foliar: La fertilización foliar es una técnica utilizada en la agricultura para suministrar nutrientes directamente a las hojas de las plantas mediante fertilizantes líquidos, en lugar de aplicarlos al suelo. Este método implica pulverizar una solución nutritiva sobre las hojas.

Humus: Es el resultado final de la descomposición de materia orgánica por microorganismos del suelo. Es una sustancia oscura, rica en nutrientes y materia orgánica parcialmente descompuesta, que mejora la estructura y fertilidad del suelo.

Lixiviado: Es el líquido que se produce al filtrarse a través de la materia orgánica en un sistema de compostaje o lombricompostaje. Puede contener nutrientes solubles y compuestos orgánicos y debe ser recolectado y manejado adecuadamente para evitar la contaminación ambiental.

Lombricomposta: También conocida como vermicomposta, es una forma de compostaje que emplea lombrices para descomponer materia orgánica. Este proceso produce un fertilizante natural rico en nutrientes y microorganismos beneficiosos para el suelo.

Macronutrientes: Son nutrientes que las plantas necesitan en grandes cantidades para su crecimiento y desarrollo. Incluyen elementos como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre.

Micronutrientes: Son nutrientes que las plantas necesitan en cantidades mucho menores, pero igualmente esenciales para su salud y crecimiento.

Nutrientes: Son sustancias químicas esenciales para el crecimiento, desarrollo y funcionamiento adecuado de los organismos vivos. En el contexto de las plantas, los nutrientes incluyen elementos como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio entre otros además son absorbidos del suelo o del agua y utilizados para realizar funciones vitales, como la fotosíntesis, la síntesis de proteínas y la formación de tejidos.

Xilema: Es un tejido vascular en las plantas superiores que se encarga de transportar agua y minerales desde las raíces hasta el resto de la planta, incluyendo tallos, hojas y flores. Está compuesto principalmente por células muertas, como traqueidas y vasos, que forman tubos a través de los cuales se mueven el agua y los nutrientes hacia arriba. Además, el xilema proporciona soporte estructural a la planta.

Hidrofóbico: Propiedad de repeler el agua o de no tener afinidad por ella. En el contexto de la biología vegetal, una superficie hidrofóbica puede ser aquella que está recubierta por una capa cerosa o que presenta estructuras microscópicas que impiden que el agua se adhiera a la superficie.

Cutícula: La cutícula es una capa cerosa y transparente que recubre la epidermis de las plantas, incluyendo las hojas. Es una estructura protectora que ayuda a reducir la pérdida de agua y protege a la planta de daños mecánicos, enfermedades y la radiación solar excesiva.

Haz y envés de la hoja: El haz de una hoja es la parte superior o dorsal, es decir, la cara expuesta al sol cuando la hoja está en su posición natural. El envés, por otro lado, es la parte inferior o ventral de la hoja, que generalmente tiene una coloración más clara y puede contener estomas y pelos protectores.

Mochila aspersora: Una mochila aspersora es un equipo utilizado en agricultura y jardinería para pulverizar líquidos, como pesticidas, herbicidas, fertilizantes o simplemente agua, sobre las plantas. Consiste en un depósito de líquido que se lleva en la espalda (de ahí su nombre de "mochila") y una bomba manual o motorizada que crea presión para rociar el líquido a través de una boquilla ajustable.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rastreo y colocación de cinta de riego para la preparación del terreno.	20
Figura 2. Siembra de maíz utilizando sembradora maquinaria de precisión marca óptima.....	21
Figura 3. Primera aplicación de los tratamientos a los 65 días después de la siembra.....	26
Figura 4. Primera aplicación foliar a los 44 días después de la siembra utilizando dron.....	30
Figura 5. Toma de altura de planta utilizando un estadal graduado.....	31
Figura 6. Producción en $t\ ha^{-1}$ para la selección del mejor fertilizante foliar sintético y orgánico aplicado de manera tradicional.	45
Figura 7. Comparativa de tarjetas hidrosensibles y follaje después de las aplicaciones foliares con ambos métodos de aplicación.	46
Figura 8. Comparación de los diferentes niveles (fertilizantes) estudiados en el diseño factorial evaluación en $t\ ha^{-1}$ para la evaluación de la mezcla del mejor fertilizante foliar sintético y orgánico seleccionados.....	51
Figura 9. Comparación de los factores (métodos de aplicación) en la evaluación en el método de aplicación en producción para la evaluación de la mezcla del mejor fertilizante foliar sintético y orgánico seleccionados.....	51

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de micro y macronutrientes según sus fuentes y su total o parcial esencialidad.....	5
Cuadro 2. Requerimientos nutricionales para producir una tonelada de maíz.....	7
Cuadro 3. Descripción de tratamientos para la selección del mejor fertilizante foliar sintético y el mejor fertilizante foliar orgánico aplicado de manera tradicional (con mochila aspersora comercial).	22
Cuadro 4. Descripción de dosis aplicadas por hectárea de los diferentes tratamientos aforados a 200L de agua. kg ha ⁻¹	23
Cuadro 5. Concentración nutrimental del fertilizante foliar Bayfolan Forte.....	23
Cuadro 6. Concentración nutrimental del fertilizante foliar 20-30-10.....	24
Cuadro 7. Concentración de nutrientes para el tratamiento Urea más quelatos.....	24
Cuadro 8. Concentración nutrimental del fertilizante foliar Hormonamin.....	25
Cuadro 9. Análisis físico-químico y nutrimental de los lixiviados de compostas y algas a utilizar.....	25
Cuadro 10. Descripción de tratamiento para la evaluación de mezcla utilizando el mejor fertilizante foliar sintético y orgánico seleccionado, comparando la aplicación tradicional y con dron.....	27
Cuadro 11. Descripción de los tratamientos para la evaluación de mezcla utilizando el mejor fertilizante foliar sintético y orgánico seleccionados.	28
Cuadro 12. Descripción de dosis y concentraciones aplicadas por hectárea de los diferentes tratamientos utilizados.	29
Cuadro 13. Resultados de análisis físico-químicos del suelo, previo a la siembra en el campo experimental CIIDIR Sinaloa.	38
Cuadro 14. Análisis de concentración de nutrientes en el follaje previo a las aplicaciones de fertilizantes foliares.....	39
Cuadro 15. Análisis de concentración de macro y micro nutrientes en follaje después de la primera aplicación para la selección del mejor fertilizante foliar sintético y orgánico en el cultivo de maíz.....	41
Cuadro 16. Análisis de concentración de macro y micro nutrientes en follaje después de la segunda aplicación para la selección del mejor fertilizante foliar sintético y orgánico en el cultivo de maíz.....	43

Cuadro 17. Altura de planta y mazorca a los 127 días después de la siembra para la selección del mejor fertilizante foliar sintético y orgánico en el cultivo de maíz.....	43
Cuadro 18. Efecto de los diferentes tratamientos de fertilizantes foliares en el peso por cada 1000 granos.....	44
Cuadro 19. Análisis de concentración de macro y micro nutrientes en follaje después de la primera aplicación para la evaluación de la mezcla del mejor fertilizante foliar sintético con el mejor orgánico.....	47
Cuadro 20. Análisis de concentración de micronutrientes en follaje después de la segunda aplicación para la evaluación de la mezcla del mejor fertilizante foliar sintético con el mejor orgánico.	49
Cuadro 21. Altura de planta y mazorca a los 126 días después de la siembra para la evaluación de la mezcla del mejor fertilizante foliar sintético con el mejor orgánico.	49
Cuadro 22. Peso por cada 1000 granos de los tratamientos para la evaluación de la mezcla de los mejores fertilizantes foliares seleccionados con aplicación tradicional y dron.....	50

RESUMEN

El maíz es el cultivo principal a nivel nacional debido a sus múltiples aplicaciones en la alimentación humana y animal. En este cultivo gran parte de la inversión es en la nutrición de la planta, siendo necesario sacar el mayor provecho a los fertilizantes. Los drones en la actualidad son una oportunidad de desarrollo tecnológico con aplicaciones en diversas áreas del conocimiento, estos se aplican en la agricultura ayudando en mapeo de campos, vigilancia, monitoreo de los cultivos, plagas, enfermedades, eficiencia de irrigación y en los últimos años para la aplicación de agroquímicos teniendo muy buena aceptación entre los agricultores debido a sus capacidades y facilidades al aplicar. El presente trabajo se planteó con la finalidad de aumentar la producción de maíz en el cual se evaluaron y seleccionaron diferentes fertilizantes foliares para probar una mezcla a base de sintéticos y orgánicos utilizando drones para su aplicación. Se realizaron dos experimentos donde se evaluaron diferentes fertilizantes foliares sintéticos y orgánicos en el cultivo de maíz tomando en cuenta las variables altura de planta, altura de mazorca, absorción de nutrimentos, peso por cada 1000 granos y producción de grano. En el primer experimento se evaluaron tres diferentes fertilizantes foliares sintéticos y tres orgánicos, de los que se seleccionaron los fertilizantes foliares Bayfolan Forte como sintético y Hormonamin como orgánico por haber tenido los mejores resultados en las variables mencionadas. En el segundo experimento se probó una mezcla de los fertilizantes foliares seleccionados comparando la aplicación tradicional con mochila aspersora y con dron, donde los resultados del trabajo mostraron que con la aplicación con dron da una mejor absorción en la mayoría de los nutrientes aplicados, además de aumentar la producción de grano (12.43 t ha^{-1}) en un 9% más comparada con la aplicación con mochila aspersora (11.44 t ha^{-1}).

ABSTRACT

Corn is the main crop nationwide due to its multiple applications in human and animal nutrition. A significant part of the investment in this crop goes into plant nutrition, making it crucial to maximize the benefits of fertilizers. Drones nowadays present a technological development opportunity with applications in various fields of knowledge. In agriculture, they are used for field mapping, surveillance, crop monitoring, pest and disease control, irrigation efficiency, and in recent years, for the application of agrochemicals. They have gained significant popularity among farmers due to their capabilities and ease of use. This study aimed to increase corn production by evaluating and selecting different foliar fertilizers to test a mix of synthetic and organic ones using drones for application. Two experiments were conducted, assessing various synthetic and organic foliar fertilizers in corn cultivation based on plant height, cob height, nutrient absorption, weight per 1000 grains, and grain production. The first experiment evaluated three different synthetic and three organic foliar fertilizers, selecting Bayfolan Forte as the synthetic and Hormonamin as the organic foliar fertilizers for having the best results in the mentioned variables. In the second experiment, a mix of the selected foliar fertilizers was tested comparing traditional application with a backpack sprayer and with a drone. The results showed that drone application led to better nutrient absorption for most applied nutrients and increased grain production (12.43 t/ha) by 9% compared to the backpack sprayer application (11.44 t/ha)

I INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo principal a nivel nacional debido a sus múltiples aplicaciones en la alimentación humana y animal (SAGARPA, 2021). Es bien sabido que en los cultivos de maíz la mayor parte de la inversión es en la nutrición de la planta, siendo necesario sacar el mayor provecho a los fertilizantes. Por esto, las necesidades presentes en la agricultura y manejo ambiental requieren mayor investigación en tema de fertilización.

Los drones son, en la actualidad, una oportunidad de desarrollo tecnológico con aplicaciones en diversas áreas del conocimiento. Estos se aplican en la agricultura ayudando en mapeo de campos, vigilancia y monitoreo de los cultivos, plagas y enfermedades, eficiencia de irrigación, aplicación de plaguicidas y fertilizantes foliares. Teniendo como hacer la aplicación por el productor y su mejor aprovechamiento al aplicarlo (Pino V, 2019).

Obtener una mayor producción es algo sumamente importante para los agricultores. la forma convencional de hacerlo es mediante la fertilización la cual ayuda con gran parte de la nutrición de planta, una manera para complementar la nutrición es la fertilización foliar la cual no supe la fertilización convencional al suelo si no que corrige ciertas deficiencias nutritivas (Trinidad *et al.*,1999), la cual se suministra nutrientes a la planta mediante su follaje. Los fertilizantes foliares se dividen principalmente en dos tipos. Los sintéticos que comúnmente contienen poca variedad de nutrientes, pero en abundancia y los orgánicos que contienen gran variedad de nutrientes, pero en baja concentración.

En los últimos años se han utilizado drones en la aplicación de fertilizantes, pero debido a su baja capacidad de carga se requiere que los fertilizantes a aplicar sean concentrados, para que la técnica pueda ser competitiva, por lo que en este proyecto se investigan mezclas de ambos tipos de fertilizantes foliares que puedan ser aplicadas con drones y conocer sus limitaciones, para tener una mejor aprovechabilidad de los nutrimentos en el cultivo y aumentar la eficiencia de fertilización foliar con este modo de aplicación (Ríos, 2021).

II ANTECEDENTES

2.1 Importancia del cultivo de maíz

El maíz es uno de los cereales más relevantes a nivel global, proporcionando nutrientes esenciales tanto a las personas como a los animales, además de ser una materia prima fundamental para diversas industrias. En México, este cultivo es especialmente significativo por su impacto económico, social y cultural. La producción de maíz se clasifica en blanco y amarillo: el maíz blanco se utiliza mayormente para el consumo humano, mientras que el maíz amarillo se destina a la industria y a la elaboración de alimentos balanceados para la producción animal. Los principales Estados productores son Sinaloa (22%), Jalisco (14%), México (8%), Michoacán (7%), Guanajuato (6%), Guerrero (5%), Veracruz (5%), Chiapas (5%), Chihuahua (4%), Puebla (4%) y el resto de los Estados representan el (20%) restante (ASERCA, 2021).

Sinaloa es el principal estado productor de maíz a nivel nacional teniendo una superficie sembrada de 490 mil hectáreas dando una producción de 5.5 millones de toneladas en 2021 con un rendimiento de 11.32 t h^{-1} (SIAP/SAGARPA, 2021).

La correcta elección de híbridos, el manejo eficiente de la fertilización, el riego, la fitosanidad y la aplicación de paquetes tecnológicos, junto con la experiencia acumulada de los agricultores en la gestión del cultivo, son los factores clave que influyen en el rendimiento del maíz. (INIFAP, 2022).

México tiene el octavo lugar en la producción de maíz a nivel mundial son 27,424,528 toneladas, de los granos que se cultivan en el mundo el maíz es el segundo con mayor superficie sembrada; la de México representa 3.4% del total. (SIAP, 2021).

2.2 Clasificación taxonómica y descripción botánica del maíz

Sánchez *et al.*, (2014) reportaron que la clasificación taxonómica del maíz está muy bien estudiada debido a la importancia del cultivo a nivel global clasificándose en:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta Cronquist, Takhtajan y W. Zimmermann, 1966.

Clase: Liliopsida

Orden: Poales Small 1903

Familia: Poaceae Barnhart

Género: *Zea* Linnaeus, 1753

Especie: *Zea Mays*. L.

2.3 Fisiología del maíz

La escala morfológica para el cultivo de maíz se puede dividir en dos periodos, el primero que es estadio vegetativo y el segundo que es estadio reproductivo, en el primero se subdivide en diferentes estados dependiendo del número de hojas que tiene la planta durante su crecimiento y se coloca la letra V acompañada del número de hojas que se tiene hasta llegar al estadio VT (panojamiento) que es cuando la planta produce termina de producir la panoja además que ya ha alcanzado su altura final y comienza con la liberación del polen, el tiempo que se tarda en llegar a esta etapa puede variar dependiendo de la variedad y las condiciones climáticas que se tienen. La segunda etapa se divide en 6 etapas donde para identificarlas se coloca la letra R y el número de etapa, la primera R1 (emergencia de barbas) es donde comienza la emergencia de los estigmas, en la R2 (ampolla) que es donde la mazorca esta por alcanza su tamaño final y sus granos contienen cerca del 85% de humedad, en la etapa R3 (lechoso) el grano tiene un color amarillo en el exterior

y un fluido blanco en el interior esto debido a la acumulación de almidón, la etapa R4 (pastoso) la acumulación de almidón sigue, la etapa R5 (dentado) es donde los granos empiezan a secarse y por último en la etapa R6 (madurez fisiológica) donde se forma una capa negra en la base del grano lo que impide el movimiento de materia seca y nutrientes desde la planta hacia el mismo y los granos alcanzan su peso máximo teniendo una humedad desde el 30 al 35%. (Fassio *et al.*, 1998).

2.4 Nutrimientos esenciales para las plantas

Está demostrado que son 16 elementos esenciales para un óptimo crecimiento de las plantas, todos desempeñan funciones muy importantes en la vida en la tierra y se clasifican en dos grupos, macronutrientes y micronutrientes, la clasificación depende de la cantidad en que la planta requiera de estos, si se tiene deficiencia de alguno de estos pueden producir graves alteraciones y reducir notablemente el crecimiento (Navarro, 2003).

Cuadro 1. Clasificación de micro y macronutrientes según sus fuentes y su total o parcial esencialidad.

Nutrientes esenciales para las plantas		
En cantidades relativamente grandes (macronutrientes).		En cantidades relativamente pequeñas (micronutrientes).
Extraídos por el aire en forma de CO ₂ y el agua que se encuentra en el suelo	Del suelo	Del suelo
1. Carbono 2. Hidrogeno 3. Oxigeno	4. Nitrógeno 5. Fosforo 6. Potasio 7. Calcio 8. Magnesio 9. Azufre	10. Hierro 11. Manganeseo 12. Boro 13. Molibdeno 14. Cobre 15. Zinc 16. Cloro

La ley del "mínimo" de Liebig establece que el crecimiento de las plantas depende de la cantidad de nutrientes o de las condiciones que se tengan, por lo que, si se tiene escases de algún nutriente el crecimiento de la planta estará limitado por el mismo, es decir, aunque se tengan la mayoría de los nutrientes en las cantidades optimas si se tiene alguno en deficiencia el crecimiento y desarrollo estará limitado por esa deficiencia, por lo que es importante tener controlado la cantidad de todos los nutrientes en la cantidad que se requieran (Machado *et al.*, 2009).

Los nutrientes esenciales necesarios para el crecimiento de las plantas superiores son de origen exclusivamente inorgánico. Esta característica distintiva de las plantas superiores, en contraste con los seres humanos, los animales y numerosos microorganismos, que también requieren compuestos orgánicos, resalta la necesidad de elementos inorgánicos para su desarrollo. Para que un elemento se clasifique como nutriente esencial para las plantas, deben cumplirse tres criterios específicos. (Arnon *et al.*, 1939).

1) Una deficiencia de este elemento hace imposible a la planta completar su ciclo de vida;

2) La deficiencia es específica para el elemento en cuestión;

3) El elemento está directamente implicado en la nutrición de la planta.

La falta de micronutrientes en suelos y cultivos es una cuestión a nivel mundial que afecta de manera negativa la producción de plantas y la calidad nutricional de los cultivos, teniendo un impacto negativo en la salud y el bienestar de las personas. La deficiencia de micronutrientes es un desafío extendido y en constante aumento, tanto en los cultivos como en las comunidades humanas en todo mundo. Es común que estas deficiencias sean imperceptibles de manera visual y disminuyen el rendimiento de los cultivos (Assunção *et al.*, 2022).

2.5 Nutrimientos requeridos en el maíz

La cantidad de nutrientes necesarios para producir una tonelada de maíz puede variar por diversas condiciones, como el tipo de suelo, el clima y las prácticas agrícolas utilizadas, aun con esto se tienen estimaciones de las cantidades de nutrientes que se requiere para producir 1 tonelada de grano en cultivo de maíz (Cuadro 2).

Cuadro 2. Requerimientos nutricionales para producir una tonelada de maíz

Nutriente	Requerimiento (kg t ⁻¹ grano)
Nitrógeno	22
Fosforo	4
Potasio	19
Calcio	3
Magnesio	3
Azufre	4
Boro	0.02
Cloro	0.444
Cobre	0.013
Hierro	0.125
Manganeso	0.189
Molibdeno	0.001
Zinc	0.053

Es importante destacar que la fertilización y la gestión de nutrientes en la agricultura deben realizarse de manera precisa para evitar la sobrefertilización o la subfertilización, lo que puede tener impactos negativos en el rendimiento de los cultivos y en el medio ambiente (INPOFOS, 2002).

2.6 Fertilización de nutrimentos por el cultivo de maíz

La fertilización al suelo es uno de los insumos más costosos en la producción de maíz se sabe que en Sinaloa para tener una producción de 10 t ha⁻¹ de grano se requieren grandes cantidades de Nitrógeno, en suelos de barrial se aplican de 220 a 250 kg de N ha⁻¹ mientras que en otros suelos es necesario aplicar 350 o más kg de N ha⁻¹ , las dosis varían dependiendo del tipo de suelo que se tenga (INIFAP 2010).

El análisis de la fertilidad del suelo permite determinar la fertilización necesaria. Además, es recomendable usar biofertilizantes, lo que permite disminuir en una cuarta parte la cantidad de fertilizantes químicos sugeridos (INIFAP, 2022).

2.7 Fertilización foliar

Es bien conocido que las plantas absorben sus nutrientes a través de las raíces, sin embargo, comúnmente en los cultivos se tienen absorciones restringidas debido la limitación de nutrientes, las plantas tienen la capacidad de absorber nutrientes a través de su follaje por lo que a menudo los agricultores optan por aplicar fertilizantes líquidos en el follaje de la planta para mejorar su estado nutricional lo cual es conocido como fertilización foliar, además, es importante tener presente que este tipo de fertilización es complementaria y no sustituye a la fertilización edáfica (Hu *et al.*, 2023).

La fertilización foliar se ha convertido en una práctica común e importante para los productores, porque corrige las deficiencias nutrimentales de las plantas, favorece el buen desarrollo de los cultivos y mejora el rendimiento y la calidad del producto. El abastecimiento nutrimental vía fertilización edáfica depende de muchos factores tanto del suelo como del medio que rodea al cultivo (Trinidad *et al.*, 1999).

La capacidad de las aplicaciones foliares de adherirse a las hojas es esencial para facilitar la absorción de nutrientes. Muchas especies de plantas han

demostrado tener una baja capacidad humedecer su follaje debido a la aspereza de la superficie de las hojas, lo que resulta en una menor eficacia debido a la presencia de ceras y pelos, frecuentemente, al aplicarse la aspersion se añaden aditivos que incluyen surfactantes para mejorar la capacidad de mojado de las hojas, adhesivos para reducir la eliminación de fertilizantes y humectantes para prolongar el período de absorción de nutrientes. Estos también ayudan a mejorar las propiedades humectantes del fertilizante foliar en las hojas (es decir, baja tensión superficial) y bajo ángulo de contacto), lo que aumenta la tasa de absorción de fertilizantes foliares aplicados (Omran, 2021).

Los ácidos húmicos y fúlvicos se producen por la biodegradación de la materia orgánica dando como resultado una mezcla de ácidos que contienen fenolato y grupos carboxilo, diversos estudios demuestran que las utilizations de estos compuestos ayudan al suelo bajo condiciones de sequía, además de promover el crecimiento y la captación de nutrientes de las plantas por las raíces (Oosten, 2017).

Ethan *et al.*, (2017) evaluó 3 tamaños de gotas diferentes en la aplicación de un fertilizante foliar nitrogenado en trigo, donde reporto que el tamaño de gota está directamente relacionado con la absorción de nutrientes y si este se aplica con un tamaño de gota muy fino ($< 100 \mu\text{m}$) no es tan favorable ya que se tienen una mayor volatilización en el ambiente.

Xu *et al.*, (2021) evaluó la aplicación de fertilizantes foliares utilizando 5 diferentes fuentes de zinc por separado a diferentes concentraciones en el cultivo de arroz, reportando que al aplicar una solución de 6.4% mediante una mochila pulverizadora comercial, la planta mostro quemaduras en el follaje además de reducir su rendimiento de grano hasta en un 45% comparado con las concentraciones en las que la planta no sufrió quemadura.

2.8 Absorción foliar

Cuando las plantas se enfrentan a situaciones de estrés o se desarrolla en suelos con niveles reducidos de nutrientes disponibles, el follaje de la planta experimenta carencias nutricionales que la planta no puede resolver por sí misma por lo que al aplicarse fertilizantes de manera foliar estos son absorbidos mediante la hoja lo cual se puede dividir en tres etapas:

Etapa 1: Retención del producto en la hoja. En esta primera etapa el fertilizante entra en contacto con el follaje de la planta y se recomienda que este se mantenga el mayor tiempo posible en contacto, por lo que generalmente los fertilizantes foliares cuentan con diferentes reactivos como agentes tensoactivos que favorecen esto.

Etapa 2: Transporte de nutrientes a las células. En esta fase los nutrientes que contiene el fertilizante aplicado se transportan al interior de la hoja penetrando las diferentes capas hasta llegar a las células epidermales

Etapa 3: Movimiento de nutrientes hasta los órganos. En la última fase los nutrientes pasan de las células epidermales donde llegan a los órganos que sufren deficiencia, estas células de los distintos tejidos o se mueven por espacios intracelulares y una vez que estos llegan al tejido vascular el floema y el xilema aceleran su distribución por todos los tejidos.

A diferencia de lo que comúnmente se cree, es poco probable que los nutrientes sean absorbidos por las estomas ya que la mayor parte de la absorción es por la cutícula, debido a que el contacto entre las gotas y los estomas es mínimo ya que las gotas son más grandes que la apertura estomática y que el agua tiene una alta tensión superficial (Castillo *et, al.*, 2013).

La absorción de nutrientes a través de la superficie de la hoja se produce debido a un gradiente que se forma entre la concentración de la solución aplicada sobre la hoja y la concentración en el interior de las células de la epidermis. Cuando la cutícula seca se humedece, las moléculas de agua interactúan con los grupos

ionizables de las cadenas de carbono a través de puentes de hidrógeno. Esto resulta en la separación de estas cadenas, creando canales, poros y cavidades que facilitan el transporte de nutrientes desde la superficie de la hoja hacia las células epidermales (Castillo *et al.*, 2013).

2.9 Fertilización foliar sintética

Salomi *et al.*, (2020), reportó que con una doble aplicación de fertilizantes foliares con micronutrientes y una alta cantidad de Nitrógeno, Fosforo y potasio se aumentó la producción de maíz en un 23%.

Rosalba Zepeda, (2002) reportó que la aplicación de fertilizantes foliares macro y micro nutrientes en el cultivo de maíz incrementan en un 12% la producción, así como el peso seco de parte aérea, de raíz y de plántula en tres genotipos de maíz.

Brankov *et al.*, (2020) evaluó la aplicación de fertilizantes foliares con N en forma de aminoácidos en diferentes tierras de cultivos durante 3 años consecutivos donde se presentaron efectos positivos sobre los parámetros del maíz (área foliar, altura de planta y mazorca), teniendo aumentos que iban desde el 10% hasta el 30%.

Jakab *Et al.*, (2017) evaluó 2 diferentes fertilizantes foliares orgánicos y 1 sintético por separados y mezclas entre estos, llegando a aumentar la producción del grano de maíz desde 0.24 hasta 1.49 t ha⁻¹ comparados con el testigo aumentando hasta un 13%, donde la mezcla que dio mejor producción aumentó un 8%.

2.10 Fertilización foliar orgánica

Los extractos de algas muestran una notable capacidad para resistir el estrés causado por cambios en la presión osmótica. Además, contribuyen a disminuir la descomposición de proteínas, lo que evita que los cloroplastos se oxiden y retrasa

el proceso de envejecimiento de las hojas, lo que a su vez prolonga la eficacia de la fotosíntesis en las plantas (Jannin *et al.*, 2013).

Martínez *et al.*, (2022) evaluó la utilización de un fertilizante foliar a base de algas marinas con bioestimulantes orgánicos en diferentes híbridos de maíz dando este un aumento de hasta el 16% en el rendimiento del cultivo de maíz, además de presentar un mayor número de hileras en la mazorca conforme al testigo.

Rajbir *et al.*, (2010) reportó que con la utilización foliar de un lixiviado de Lombricomposta a partir de estiércol de vaca se aumentó la producción de fresa en un 10%, además de tener una mejor calidad nutricional y menor incidencia de deformaciones en los frutos.

Dela peña (2022) reportó que con la fertilización foliar a partir de un lixiviado de Lombricomposta en diferentes dosis se puede llegar a aumentar la producción de maíz en un 8% en suelos óptimos para este cultivo, además, si se aplican dosis en concentraciones elevadas el cultivo se ve dañado y esto ocasiona que su rendimiento sea menor.

Kaya *et al.*, (2018) se encontró que con la aplicación foliar de ácido húmico (HA) en plantas de pimiento (*Capsicum annuum L.*) cultivadas bajo condiciones de alta salinidad mejoró la tolerancia de las plantas al estrés salino. Este efecto se evidenció a través de una serie de cambios fisiológicos y bioquímicos observados en las plantas.

2.11 Factores para una buena fertilización foliar

Para lograr una fertilización foliar exitosa, es esencial considerar tres factores principales: la planta, el entorno y la formulación del producto foliar. En cuanto a los factores en la solución, se debe tener en cuenta la concentración de las sales, los nutrientes, el pH de la solución, la adición de coadyuvantes y el tamaño de la gota del fertilizante líquido. También se debe considerar la valencia del nutriente y el ion acompañante, la velocidad de penetración y la capacidad de translocación del nutriente dentro de la planta. En cuanto al ambiente, es importante considerar la

temperatura del aire, el viento, la luz, la humedad relativa y el momento de la aplicación. Respecto a la planta, se debe tener en cuenta la especie del cultivo, su estado nutricional, la etapa de desarrollo de la planta y la edad de las hojas (Fernández, 2015).

Los factores para una buena fertilización foliar se pueden clasificar en factores internos de la solución y externos de esta, en los internos tenemos el pH de la solución afecta directamente a la absorción de la hoja, además si se tiene en rangos no aptos puede dañar el cultivo, los surfactantes y adherentes lo cual ayuda a reducir la tensión superficial de las moléculas de agua, permitiendo que estas tengan un mayor contacto con las hojas, entre otros, los factores externos pueden influir debido a la accesibilidad o resistencia que presente la planta, como la temperatura esta puede afectar directamente a la absorción de nutrientes por parte de la planta, la humedad relativa al momento de aplicarse influye en la velocidad de evaporación del agua al aplicarse y la luz es un factor importante en la fotosíntesis y para que una planta pueda incorporar nutrimentos en los metabolitos se requiere de un proceso fotosintéticamente activo en la planta (Trinidad *et al.*, 1999).

2.11.1 Factores en la solución

pH de la solución: aunque se dice que el rango de la solución a aplicar puede variar entre 5.5 y 7.5 se recomienda que esta sea parecida al del pH del follaje lo que dependiendo de la planta varía entre 6.5-7, si se tiene una gran diferencia puede llegar a dañar la planta.

Surfactantes y adherentes: El funcionamiento de un surfactante se basa en la disminución de la tensión superficial de las moléculas de agua, lo que facilita un mayor contacto con la superficie de la hoja. Los adherentes mejoran la dispersión uniforme de los nutrientes sobre la superficie de la hoja, evitando la concentración de estos elementos en áreas aisladas cuando la gota de agua se evapora.

Substancias activadoras: Existen compuestos que facilitan la penetración de la solución hacia la hoja, los más utilizados son los ácidos húmicos y la urea ya que dilata la cutícula y desgasta las ceras de la superficie de la hoja.

Nutrimiento y su ion acompañante: la absorción foliar se da debido a la capacidad de intercambio catiónico en la hoja y la valencia del ion también influye, los iones monovalentes penetran con mayor facilidad que los iones con mayor número de valencia, y entre más pequeño sea el diámetro de los iones su penetración será mayor.

Concentración de la solución: la concentración de la solución a aplicar varía según la especie ya que algunas tienen la capacidad de absorber una mayor cantidad de nutrientes, no se puede generalizar la cantidad a aplicar para todos los cultivos (Fernández, 2015).

2.11.2 Factores Ambientales

Temperatura y humedad relativa: estos factores influyen en la absorción foliar debido a que de estos depende la velocidad a la que se evaporará la solución a aplicar, una temperatura baja y una alta humedad relativa favorecerá la penetración de los nutrimentos ya que la hoja se mantendrá húmeda por un mayor tiempo.

Hora de aplicación y la luz: Se tiene que tener en cuenta que la luz es un factor importante para la fotosíntesis y para la planta pueda absorber los nutrimentos en los metabolitos se requiere que el proceso de la fotosíntesis este activo. Por lo que para favorecer la absorción foliar se recomienda que las aplicaciones sean muy temprano por la mañana o en las tardes justo antes del anochecer según las condiciones de cada región.

Viento: El viento puede dispersar los nutrientes que se aplican en forma de fertilizantes líquidos o pulverizados. Si el viento es demasiado fuerte, puede llevar los nutrientes lejos de la zona de aplicación deseada, lo que resulta en una distribución desigual de los nutrientes en las hojas y reduce la eficacia de la

fertilización, además, puede afectar a plantas no deseadas o áreas no destinadas a la fertilización, lo que puede tener impactos negativos en el medio ambiente (Fernández, 2015).

Otro factor muy importante al aplicar agroquímicos de manera foliar es el tamaño de la gota ya que de esta depende el área de contacto con la planta por lo que a menor tamaño de gota se tendrá una mayor área cubierta y a su vez, la absorción del agroquímico es mayor (Xiao *et al.*, 2020).

2.12 Drones en la agricultura

La agricultura de precisión se basa en la gestión específica de cada zona de cultivo. Para ello, se emplean herramientas tecnológicas como el posicionamiento global, dispositivos de riego, fertilizantes y plaguicidas variables, así como sensores climatológicos del cultivo, aunque existen diversas herramientas tecnológicas que ayudan en esto, debido a la forma en que operan y la facilidad de su utilización se están trabajando en drones especializados para su utilización en los campos agrícolas (González, 2015).

Los de drones en la aplicación de agroquímicos en los cultivos tienen la capacidad de utilizar de 10 a 20 litros por hectárea dependiendo del producto lo que significa un ahorro significativo de agua, tienen la capacidad de tener un área de aplicación exacta lo que evita contaminaciones en áreas cercanas, además de que al ser un vehículo volador pequeño este no tiene problemas para entrar a áreas de acceso difícil, pero al tener poca capacidad de almacenamiento la aplicación en grandes áreas se le dificulta (Frances, 2019).

El sistema de pulverización que utilizan los drones tienen mejor eficiencia que la utilizada tradicionalmente aumentando el porcentaje de absorción, cobertura, densidad y uniformidad de gotas (Xiao *et al.*, 2020), por lo que a mayor aprovechamiento se puede obtener mayor eficiencia de los agroquímicos utilizados y disminuir las cantidades a utilizar.

Aunque en la actualidad existen varias marcas y modelos de drones utilizados para la aplicación de agroquímicos, la más popular hasta el momento es la marca DJI siendo esta la más utilizada por los agricultores en el estado de Sinaloa, en esta marca existen varios modelos en los que varía la forma de aplicación del líquido, la capacidad de líquido, etc. El modelo AGRAS T40 es el utilizado en el estado teniendo una pulverización precisa por su sistema de ajuste del tamaño de gota que va desde las 50 hasta las 300 μm , con una autonomía de vuelo de hasta 25 minutos. equipado con un tanque de 40 litros lo que minimiza las recargas y maximiza la eficiencia operativa, siendo en una herramienta indispensable para aplicaciones agrícolas a gran escala (AGRAS T40, 2024).

III JUSTIFICACION

El maíz es el cultivo de grano que requiere mayor cantidad de fertilizantes para su producción, estos son los insumos más costosos en la producción del maíz. Uno de los factores más importantes para el desarrollo del cultivo de maíz es su nutrición, la cual se hace por medio de fertilizantes los cuales pueden ser tanto sintéticos como orgánicos, estos ayudan a aumentar la producción. Por ello es importante el aprovechamiento máximo y la obtención de fertilizantes que sean capaces de brindar los nutrientes requeridos a la planta, con menor costo de producción, una forma de asegurar la nutrición completa de los cultivos es mediante la fertilización foliar la cual se usa como complemento a la fertilización de suelo. Investigar mezclas de fertilizantes foliares de bajo costo (sintéticos y orgánicos) aplicados en cultivos de maíz optimizaría su producción. Además, la aplicación de los fertilizantes foliares mediante drones facilitaría al agricultor la aplicación de los mismos ya que es algo reciente que se viene utilizando en el campo y requiere ser optimizado su uso.

IV Hipótesis

La fertilización foliar mediante la mezcla de fertilizantes sintéticos y orgánicos aplicada con drones dará un mayor aprovechamiento de estos fertilizantes en el cultivo de maíz.

V OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Aumentar la producción de maíz mediante fertilización foliar a base de una mezcla de fertilizantes sintéticos y orgánicos utilizando drones para su aplicación.

5.2 Objetivos específicos

1. Seleccionar el mejor fertilizante foliar sintético y orgánico en el cultivo de maíz con aplicación tradicional.
2. Evaluar la mezcla del mejor fertilizante foliar sintético con el mejor fertilizante foliar orgánico en maíz con aplicación tradicional y dron.

VI MATERIALES Y METODOS

6.1 Ubicación del sitio.

Las siembras de maíz se llevaron a cabo en el campo experimental del centro interdisciplinario de investigación para el desarrollo integral regional de Sinaloa (CIIDIR SINALOA) ubicado en Guasave, Sinaloa.

6.2 Primer experimento para la selección del mejor fertilizante foliar sintético y orgánico en el cultivo de maíz.

6.2.1 Preparación del terreno y riego.

La preparación del terreno se realizó en los meses de noviembre-diciembre del 2022 en donde se rastreó para eliminar la maleza del terreno, se barbecho y se marcaron los surcos a una distancia de 80cm, después se colocaron mangueras de riego por goteo (Fig 1).



Figura 1. Rastreo y colocación de cinta de riego para la preparación del terreno.

6.2.2 Fertilización y siembra

Debido a los resultados del análisis de suelo se realizaron 2 aplicaciones de nitrógeno mediante la utilización de Urea al 46% donde la primera aplicación se realizó dos semanas antes de la siembra y la segunda a los 40 días después de la siembra, ambas aplicaciones con una dosis de 200 kg de Urea por hectárea.

La siembra de maíz se realizó el 18 de enero del 2023 en condiciones de campo utilizando el híbrido de maíz DEKALB-4050®.



Figura 2. Siembra de maíz utilizando sembradora maquinaria de precisión marca óptima.

6.2.3 Descripción de tratamientos y diseño experimental

El experimento se planteó utilizando un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones para cada tratamiento, cada repetición consistió en 4 surcos con una separación entre surcos de 0.80 m y 10 m de largo.

Se establecieron 7 tratamientos donde se probaron 3 fertilizantes foliares sintéticos, 3 orgánicos y agua como testigo para determinar su eficacia en el cultivo de maíz, en los sintéticos utilizados fueron Bayfolan Forte, Urea más quelato de Fe y Zn y 20-30-10 y para los orgánicos se utilizaron lixiviados a partir de algas, lombricomposta y Hormonamin.

La descripción de los tratamientos para la selección del mejor fertilizante foliar sintético y orgánico se hizo de acuerdo al cuadro 3.

Cuadro 3. Descripción de tratamientos para la selección del mejor fertilizante foliar sintético y el mejor fertilizante foliar orgánico aplicado de manera tradicional (con mochila aspersora comercial).

No. d tratamiento	Tratamiento	Descripción de tratamiento
1	Testigo 1	Utilización de agua.
2	Sintético (Urea más quelatos de Fe y Zn)	Aplicación de fertilización foliar con urea más quelatos de Fe y Zn aplicado de manera tradicional.
3	Sintético (Bayfolan Forte)	Aplicación de fertilización foliar con sintético Bayfolan Forte aplicado de manera tradicional.
4	Sintético (20-30-10)	Aplicación de fertilización foliar con sintético 20-30-10 aplicado de manera tradicional.
5	Orgánico (Hormonamin)	Aplicación de fertilizante foliar orgánico Hormonamin aplicado de manera tradicional.
6	Orgánico (algas)	Aplicación de fertilizante foliar orgánico a base de algas aplicado de manera tradicional.
7	Orgánico (Lombricomposta)	Aplicación de fertilizante foliar orgánico Lombricomposta aplicado de manera tradicional.

6.2.4 Aplicación de fertilizantes foliares

Se realizaron 2 aplicaciones foliares a los 65 y 80 días después de la siembra, ambas aplicaciones se realizaron con mochila aspersora.

Las dosis utilizadas de los diferentes fertilizantes foliares fueron las recomendadas por el proveedor las cuales se explican en el cuadro 4.

Cuadro 4. Descripción de dosis aplicadas por hectárea de los diferentes tratamientos aforados a 200L de agua. kg ha⁻¹.

Tratamiento	Dosis aplicada
Agua	200 L ha ⁻¹
Urea más quelatos de Fe y Zn	1.5 kg ha ⁻¹ de Urea + 0.5 kg ha ⁻¹ de Fe + 0.5 kg ha ⁻¹ de Zn
Bayfolan Forte	3 L ha ⁻¹
20-30-10	2 kg ha ⁻¹
Hormonamin	3 L ha ⁻¹
Algas	3 L ha ⁻¹
Lombricomposta	3 L ha ⁻¹

6.2.5 Concentración nutrimental de los tratamientos utilizados

El contenido de nutrientes para cada fertilizante foliar se muestran en los siguientes cuadros.

Cuadro 5. Concentración nutrimental del fertilizante foliar Bayfolan Forte.

Bayfolan Forte	
Nutrimento	Concentración
Nitrógeno	11.47 %
Fosforo	8 %
Potasio	6 %
Boro	0.036 %
Cobre	0.040 %
Fierro	0.050 %
Molibdeno	0.005 %
Zinc	0.080%
Azufre	0.23%
Calcio	0.025%
Cobalto	0.002 %
Manganeso	0.036 %
Magnesio	0.025 %
Ácido indol acético	0.003 %

Cuadro 6. Concentración nutrimental del fertilizante foliar 20-30-10

20-30-10	
Nutrimento	Concentración
Nitrógeno	20%
Fosforo	30%
Potasio	10%
Calcio	65 ppm
Magnesio	65 ppm
Azufre	480 ppm
Boro	65 ppm
Cobalto	12 ppm
Cobre	65 ppm
Fierro	250 ppm
Manganeso	125 ppm
Molibdeno	6 ppm
Zinc	250 ppm
Fitohormonas (giberelinas)	12 ppm

Para el tratamiento Urea más quelatos se realizó un análisis nutrimental al follaje previo a la aplicación de los fertilizantes foliares para conocer su estado y aplicar los nutrientes que se tengan en deficiencia, donde las dosis a aplicar para este tratamiento se muestran en cuadro 7.

Cuadro 7. Concentración de nutrientes para el tratamiento Urea más quelatos.

Nutrimento	Concentración
Nitrógeno (Urea)	46%
Zinc	21%
Hierro	21%

Cuadro 8. Concentración nutrimental del fertilizante foliar Hormonamin.

Hormonamin	
Nutrimento	Concentración
Nitrógeno	2.15%
Fosforo	1,270 ppm
Potasio	3005.2 ppm
Calcio	2690.84 ppm
Magnesio	236 ppm
Sodio	290 ppm
Hierro	118.84 ppm
Cobre	109.37 ppm
Zinc	100.8 ppm
Manganeso	124.24 ppm
Aminoácidos (15 diferentes)	76.265 gr/100 gr de proteína

Para conocer la concentración de nutrientes en los tratamientos orgánicos a base de lixiviado de algas y por lombricomposta se realizaron análisis físico-químicos los cuales se presentan en el cuadro 9.

Cuadro 9. Análisis físico-químico y nutrimental de los lixiviados de compostas y algas a utilizar.

Tratamiento	N %	P ppm	K %	Ca %	Mg ppm	Na ppm	pH
Algas	0.65	25.107	0.266	0.233	495	150	8.4
Lombricomposta	0.6	24.21	0.139	0.195	250	105	8.2



Figura 3. Primera aplicación de los tratamientos a los 65 días después de la siembra.

6.3 Segundo experimento para evaluar la mezcla del mejor fertilizante foliar sintético con el mejor orgánico seleccionado mediante su aplicación con dron y de manera tradicional

6.3.1 Preparación del terreno y riego

La preparación del terreno se llevó a cabo en octubre del 2023, se eliminó la maleza mediante un rastreo posteriormente se barbecho, se marcaron los surcos a una distancia de 80 cm y se colocaron las mangueras para el riego por goteo.

6.3.2 Fertilización y siembra

Se aplicó una fertilización única de nitrógeno previo a la siembra utilizando 450 kg ha⁻¹ de Urea al 46%, donde después de la aplicación se rastreo para asegurar la incorporación al suelo, la siembra se llevó a cabo el 7 de noviembre del 2023 utilizando el híbrido de maíz DEKALB-4050.

6.3.3 Descripción de tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos se obtuvieron de un diseño factorial 4x2 con 3 repeticiones por tratamiento, donde se probaron 4 diferentes niveles de fertilización y 2 métodos de aplicación. Para los niveles de fertilización se evaluaron los fertilizantes foliares seleccionados, Bayfolan Forte como sintético, Hormonamin como orgánico, una mezcla de ambos y agua como testigo. Para los niveles de fertilización se utilizaron una mochila aspersora convencional y un dron comercial AGRAS T40.

El muestreo fue dentro de la parcela útil de los tratamientos la cual consistía en 5 metros lineales y dos surcos centrales.

La descripción de los tratamientos para evaluar la mezcla del mejor fertilizante foliar sintético y orgánico seleccionado se encuentran en el cuadro 10.

Cuadro 10. Descripción de tratamiento para la evaluación de mezcla utilizando el mejor fertilizante foliar sintético y orgánico seleccionado, comparando la aplicación tradicional y con dron.

Fertilizante foliar	Método de aplicación	
	Dron	Mochila aspersora
Agua	Agua con dron	Agua con mochila
Bayfolan Forte	Bayfolan Forte con dron	Bayfolan Forte con mochila
Hormonamin	Hormonamin con dron	Hormonamin con mochila
Mezcla de Bayfolan Forte más Hormonamin	Mezcla con dron	Mezcla con mochila

Cuadro 11. Descripción de los tratamientos para la evaluación de mezcla utilizando el mejor fertilizante foliar sintético y orgánico seleccionados.

Tratamiento	Tratamiento	Modo de aplicación	Dosis aplicada
T1	Testigo (agua)	Dron	20 L ha ⁻¹
T2	Sintético seleccionado	Dron	3 L ha ⁻¹ más 17 litros de agua
T3	Orgánico seleccionado	Dron	3 L ha ⁻¹ más 17 litros de agua
T4	Sintético + orgánico seleccionados	Dron	3 L ha ⁻¹ de sintético + 3 L ha ⁻¹ orgánico seleccionados más 14 litros de agua
T5	Testigo (agua)	Mochila aspersora	200 L ha ⁻¹ de agua
T6	Sintético seleccionado	Mochila aspersora	3 L ha ⁻¹ más 197 litros de agua
T7	Orgánico seleccionado	Mochila aspersora	3 L ha ⁻¹ más 197 litros de agua
T8	Sintético + orgánico seleccionados	Mochila aspersora	3 L ha ⁻¹ de sintético + 3 L ha ⁻¹ orgánico seleccionados 194 litros de agua

Las variables que se evaluaron fueron altura de planta, altura de mazorca, peso específico de grano, peso seco de mazorca, producción de grano y absorción de nutrimentos.

6.3.4 Aplicación de fertilizantes foliares

Se realizaron 2 aplicaciones de los fertilizantes foliares a los 44 y 64 días después de la siembra.

Las dosis utilizadas de los diferentes fertilizantes se muestran en el cuadro 12.

Cuadro 12. Descripción de dosis y concentraciones aplicadas por hectárea de los diferentes tratamientos utilizados.

Fertilizante / método de aplicación	Dosis aplicada	Concentración de la solución utilizada (fertilizante-agua)
Agua / dron	20 L ha ⁻¹ de agua	0%
Bayfolan Forte / dron	3 L ha ⁻¹ más 17 litros de agua	15%
Hormonamin / dron	3 L ha ⁻¹ más 17 litros de agua	15%
Mezcla / dron	3 L ha ⁻¹ de Bayfolan Forte + 3 L ha ⁻¹ de Hormonamin más 14 litros de agua	30%
Agua / mochila aspersora	200 L ha ⁻¹ de agua	0%
Bayfolan Forte / mochila aspersora	3 L ha ⁻¹ más 197 litros de agua	1.5%
Hormonamin / mochila aspersora	3 L ha ⁻¹ más 197 litros de agua	1.5%
Mezcla / mochila aspersora	3 L ha ⁻¹ de Bayfolan Forte + 3 L ha ⁻¹ de Hormonamin más 194 litros de agua	3%

Las dosis utilizadas para la aplicación con dron fueron aforadas a 20 L ha⁻¹ mientras que para la aplicación con mochila aspersora fueron de 200 L ha⁻¹.



Figura 4. Primera aplicación foliar a los 44 días después de la siembra utilizando dron.

6.4 Muestreo del suelo

Se realizó un muestreo de suelo antes de la siembra. Se tomó aproximadamente 1 kg de suelo, específicamente a la parte lateral del lomo del surco. Las muestras se embolsaron y etiquetaron, para proceder a su preparación y análisis en laboratorio. Las muestras se secaron bajo sombra a temperatura ambiente, sobre papel de estraza; posteriormente se molieron y se pasaron por un tamiz con malla de 2 mm, para su posterior análisis en el Laboratorio de Nutrición Vegetal perteneciente al CIIDIR-SINALOA. Las características físicas y químicas de cada muestra, se determinarán mediante los criterios establecidos en la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-2000), publicada en el Diario Oficial de la Federación.

6.5 Análisis físico-químicos de los fertilizantes foliares orgánicos

Se llevó a cabo análisis para evaluar el pH, Conductividad eléctrica, % de materia orgánica, Fosforo, Potasio, Calcio, Magnesio y Nitrógeno total que se tienen en los diferentes fertilizantes foliares orgánicos que se aplicaran en ambos experimentos.

6.6 Variables a evaluar durante el cultivo de maíz

Las variables de respuesta se midieron en la etapa de floración aproximadamente a los 90 días después de la siembra, a excepción de los análisis foliares.

6.6.1 Altura de planta.

Se mide mediante una estaca graduada, la altura se tomará desde el suelo hasta la parte más alta de la planta para el muestreo se tomarán 5 plantas que estén dentro de la parcela útil (es el área en el que se tomaran todas las muestras y se encuentra dentro de los 2 surcos centrales por 5 metros de largo para evitar confusión por el efecto orilla).



Figura 5. Toma de altura de planta utilizando un estadal graduado.

6.6.2 Altura de mazorca.

Se mide mediante una estaca graduada, la altura se tomará desde el suelo hasta la parte donde se encuentra el inicio de la mazorca en la planta, para el muestreo se tomarán 5 plantas que estén dentro de la parcela útil.

6.6.3 Peso específico de grano

Esta variable consiste en seleccionar 1000 granos de cada una de las unidades experimentales y pesar en una balanza granataria para reportar cada uno de los datos en unidades por mil gramos, las mazorcas de maíz de las cuales se tomarán los 1000 granos deben de ser tomadas de la parcela útil.

6.6.4 Producción de grano (cosecha)

Se desgranaron las mazorcas cosechadas utilizando una desgranadora comercial, las muestras se tomaron de la parcela útil y el resultado se escala a $t\ ha^{-1}$.

6.7 Análisis de las propiedades físico-químicas del suelo y de la composta.

El grado de acidez o alcalinidad de un suelo está determinado por la reacción del suelo (pH); la determinación de esta propiedad química se basará en la actividad del ion hidrógeno con la utilización de un potenciómetro.

La conductividad eléctrica se hizo a través del método AS-18, con un conductímetro, cuyo material tiene la capacidad de transportar la corriente eléctrica empleando el sobrenadante de la mezcla del suelo y medir la cantidad de sales solubles presentes en dicha muestra de suelo.

Para el análisis de la textura del suelo, se llevó a cabo el procedimiento de Bouyoucos a través del método AS-09. Este nos dará los porcentajes de arena, limo y arcilla presentes en la muestra para posteriormente obtener el resultado en el Triángulo de Texturas.

6.7.1 Análisis de fósforo

El análisis de fósforo fue determinado por el Método de Olsen correspondiente al AS-10 de la Norma Oficial Mexicana, utilizando una solución extractora de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) con $\text{pH}=8.5$, además de una solución reductora de molibdato de amonio $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ más ácido ascórbico. Las lecturas de los datos se tomaron en un colorímetro de UV visible a 882 nm X.

Posteriormente fue leída una curva de calibración de fosfato de potasio monobásico (KH_2PO_4) con concentraciones conocidas que van de 0.1, 0.2, 0.4, 0.6 y 0.8 partes por millón (ppm); posteriormente se realizaron los cálculos en base a la curva de calibración obtenida tomando en cuenta la siguiente fórmula:

$$P(\text{mg K} - 1 \text{ de suelo}) = CC \times \frac{V_i}{P} \times \frac{V_f}{a}$$

Donde:

CC=mg L^{-1} de P en la solución. Se obtiene graficando la curva de calibración (absorbancia contra mg L^{-1}) e interpolando en la misma, los valores de absorbancia de las muestras analizadas a las cuales previamente se les ha estado el valor promedio de los blancos, ó por medio de una regresión simple.

V_i = volumen de la solución extractora adicionada.

p = peso de la muestra de suelo seca al aire.

V_f = volumen final de la solución colorimétrica a leer.

a = alícuota de la muestra empleada para la cuantificación.

La determinación de materia orgánica del suelo, se evaluó a través del contenido de carbono orgánico con el método de Walkley y Black (1934), correspondiente al método AS-07 de la Norma Oficial Mexicana. Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo, por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado. Después de 30 min de reposo, la mezcla se diluye,

se adiciona ácido fosfórico para evitar interferencias de Fe_{3+} y el dicromato de potasio residual es valorado con sulfato ferroso. Los cálculos se realizan bajo la siguiente fórmula:

$$\%C \text{ Organico} = \frac{B - T}{g} (n)(0.39)m c f$$

Donde:

B = volumen de sulfato ferroso gastado para valorar el testigo (mL).

T = volumen de sulfato ferroso gastado para valorar la muestra (mL).

N = normalidad exacta del sulfato ferroso (valorar por separado al momento de analizar las muestras).

g = peso de la muestra empleada (g).

mcf = factor de corrección de humedad.

% Materia orgánica = % C Orgánico x 1.724

6.8 Análisis nutrimental en el follaje de la planta

Se tomaron muestras de follaje para el análisis foliar antes y después de cada aplicación de cada tratamiento y repetición, tomándose 5 hojas de 5 plantas dentro de la parcela útil, las hojas tomadas para el muestreo fueron tomadas de la mitad de la planta, cerca de la mazorca.

En estas muestras se midieron las concentraciones de nutrientes como el Nitrógeno total, Fosforo total, Potasio, Hierro, Zinc, Calcio, Zinc, Cobre y Magnesio.

Para la recolección del follaje se tomaron las muestras en bolsas de papel para evitar la producción de hongos, una vez recolectadas las muestras se trasladaron al laboratorio donde fueron lavadas con agua destilada para eliminar residuos de polvo y agroquímicos, se secaron en un horno a $72^{\circ}C$ por 72 horas, cada muestra seca, se procesó por medio de un molino eléctrico marca Thomas. Una vez teniendo

las muestras de follaje secas se utilizaron para determinar los nutrientes que hay en estas utilizando diferentes técnicas.

6.8.1 Determinación de Nitrógeno total

El primer paso para la determinación de Nitrógeno fue hacer una digestión húmeda en las muestras y se realizó la determinación por el Método Kjeldahl. La digestión húmeda para este nutrimento consiste en pesar 0.1 g de muestra de hoja seca y molida; el material se colocó en un matraz Kjeldahl y luego se adicione 1.5 mL de la mezcla de ácidos sulfúrico-salicílico. Se mezclaron los reactivos junto con la muestra, para homogenizar el material a digerir y se dejó reposar por 24 h. Después se adicione 0.2 g de la mezcla de sulfatos (Na_2SO_4 , selenio metálico y CuSO_4) y se colocó en el digestor, se calentó ligeramente a una temperatura controlada por 5 min; posteriormente, se aumentó la temperatura hasta observar el vire de color en la muestra de negro a verde oscuro (temperatura no mayor a 360°C). Una vez que la solución tenga una coloración verde clara (aspecto acuoso); se continuó calentando por 1 h más hasta obtener un volumen aproximado de 3 mL. Al finalizar la digestión se dejó enfriar las muestras digeridas y se agregaran 10 mL de agua destilada.

La solución digerida, se pasó al equipo de destilación, se adicionarán 10 mL de NaOH al 50% y se empezó el calentamiento. Al destilado se le agregaron 20 mL de solución de ácido bórico al 4% mas 0.2 mL (3-5 gotas) del indicador verde de bromocresol-rojo de metilo, hasta alcanzar un volumen aproximado de 50 mL a la salida del refrigerante. Posteriormente se tituló cada muestra con la solución de H_2SO_4 al 0.05 N, hasta que se tuvo un vire de color a levemente rosado. Al mismo tiempo se realizó una titulación a una muestra blanco, anotando los mL gastados en cada muestra para realizar los cálculos correspondientes. Por ultimo para calcular el porcentaje se utilizó la siguiente formula:

$$\%N \text{ total} = (mL \text{ H}_2\text{SO}_4)(N \text{ H}_2\text{SO}_4) \left(\frac{1.4}{0.1g \text{ de muestra}} \right) \quad N \text{ H}_2\text{SO}_4 = \text{Normalidad H}_2\text{SO}_4$$

6.8.2 Determinación de Fosforo

Se pasó a una alícuota de 1.0 mL del filtrado a un matraz volumétrico de 25 mL, mediante el método de Vanadato-Molibdato amarillo. Posteriormente se agregaron 0.5 mL de ácido nítrico (1:2 de agua destilada), 0.5 mL de solución de vanadato de amonio y 0.5 mL de solución de molibdato de amonio. Una vez agregados los reactivos a la solución de filtrado, se aforó con agua destilada a la marca de 25 mL, se agitó y se dejó reposar por 30 min. Al transcurrir ese tiempo, la solución se pasó a tubos de colorímetro y se tomó la absorbancia en el espectrofotómetro de luz UV visible a 470 nm.

6.8.3 Determinación de potasio.

Los materiales filtrados obtenidos mediante la digestión húmeda para fósforo, también se utilizó para la determinación de potasio. Para ello, se tomó 1 mL de la solución a matraces volumétricos de 50 mL y fueron aforados con agua destilada. De esta solución se tomó directamente la lectura de las muestras en porcentaje de transmitancia.

Se utilizó el método de emisión de llama-flamometría. Previo a la lectura el equipo de flamometría se ajustó con las curvas de calibración 5, 15, 20, 25 y 30 ppm con longitudes de onda de 766.5 nm. Los cálculos se hicieron en base a la curva de calibración obtenida tomando en cuenta la siguiente fórmula:

$$\% K = \frac{(Lectura\ de\ transmitancia)(Vol.\ Digestion)(Vol.\ Dilusion)(100)}{(Pendiente)(Peso\ de\ la\ muestra\ (g))(Alícuota)}$$

6.8.4 Determinación de calcio y magnesio.

A partir de la solución obtenida después de la digestión para fósforo, se colocaron alícuotas de 1 mL en matraces volumétricos de 25 mL y para diluirse fueron aforados con agua destilada. De esta misma, se realizó una segunda dilución, la cual consiste en colocar alícuotas de 1 mL en matraces volumétricos de 10 mL, a los cuales se le agregó 1 mL del reactivo óxido de lantano y se llevó al volumen final con agua destilada. Serán bien mezcladas y después se hicieron los

ajustes correspondientes al espectrofotómetro de absorción atómica (Spectr AA, 50B, marca Varian) tomando en cuenta la escala de absorbancia. Los cálculos se hicieron mediante la siguiente fórmula:

$$\% Ca, Mg = \frac{(Absorbancia)(Vol. Digestion)(Vol. Dilucion)(100)}{(Pendiente)(Peso de la muestra(gr))(Alícuota)}$$

6.8.5 Determinación de fierro, manganeso, zinc y cobre.

De la solución anterior también, proveniente de la digestión húmeda realizada para la determinación del fósforo, ya filtrada se tomó directamente (sin realizar diluciones), las lecturas en el espectrofotómetro de absorción atómica, previamente se utilizó una curva de calibración con las concentraciones siguientes: para Fierro (Fe) se utilizó de 1-10 ppm, Manganeso (Mn) 1-10 ppm, Cobre (Cu) 1-5 ppm y para Zinc (Zn) se usó la concentración de 0.1-1.3 ppm. Los cálculos se hicieron mediante las curvas de calibración, utilizando un factor obtenido de la pendiente, considerando siempre las diluciones hechas durante la determinación de cada micronutriente, y se obtuvieron los resultados en base a la siguiente fórmula:

$$\% Fe, Mn, Cu y Zn = \frac{(Absorbancia)(Vol. digestion)(100)}{(Pendiente)(Peso de la muestra(gr))(Alícuota)}$$

6.9 Interpretación de variables

Para la interpretación de las variables de respuestas se hizo un análisis de varianza ANOVA, para el análisis de las diferencias entre los tratamientos se utilizó una prueba Tukey con un alpha de 0.05 de significancia en todos los experimentos utilizando el paquete SAS.

Se compararon las variables para analizar cuál es la diferencia de resultados entre ambos tipos de fertilizantes con el testigo, para evaluar cuales son los mejores.

VII Resultados

7.1 Análisis de suelos previo a la siembra

Los resultados del análisis de suelo antes de la siembra se muestran en el cuadro 13. Estos nos indican que tiene una textura de suelo franco con un pH neutro, la conductividad eléctrica nos indica que hay un bajo contenido de sales, con un contenido de materia orgánica baja y adecuado contenido de cationes, un alto contenido de fósforo y los demás nutrientes se presentan en un rango normal para el tipo de suelo.

Cuadro 13. Resultados de análisis físico-químicos del suelo, previo a la siembra en el campo experimental CIIDIR Sinaloa.

Propiedades	Resultados
Potencial Hidrogeno: pH	7.2
Conductividad Eléctrica: CE (mmhos/cm)	0.09
Materia Orgánica: % MO	1.44
Nitratos: NO ₃ (ppm)	50
Fósforo: Olsen P (mg kg ⁻¹)	24.63
Potasio: K (Cmol kg ⁻¹)	1.20
Calcio: Ca (Cmol kg ⁻¹)	17.65
Magnesio: Mg (Cmol kg ⁻¹)	4.0
Sodio: Na (Cmol kg ⁻¹)	0.70
Hierro: Fe (ppm)	8.20
Cobre: Cu (ppm)	4.50
Zinc : Zn (ppm)	5.54
Manganeso : Mn (ppm)	10.54
Arena %	48.5
Arcilla %	21.5
Limo %	30.0

7.2 Experimento para la selección del mejor fertilizante foliar sintético y orgánico en el cultivo de maíz

7.2.1 Análisis Nutricional del follaje previo a las aplicaciones foliares

Se realizó un análisis de nutrimentos en el follaje de las plantas previo a la aplicación de los fertilizantes foliares para conocer la concentración de estos en el cultivo los cuales se presentan en el cuadro 14.

Cuadro 14. Análisis de concentración de nutrientes en el follaje previo a las aplicaciones de fertilizantes foliares.

Nitrógeno %	Fosforo %	Potasio %	Calcio %	Magnesio %	Fierro ppm	Cobre ppm	Zinc ppm	Manganeso ppm
3.12	0.405	1.45	2.93	0.95	61	37	55.7	43.5

Una vez analizados los nutrientes que se encontraban en el follaje se optó por llevar a cabo un tratamiento en base a estos resultados se optó por hacer una fertilización foliar a base de urea, hierro y Zinc, y se decidió que estos fueran acompañados de Urea ya que se ha reportado que esta ayuda a la penetración de nutrientes en aplicaciones foliares.

7.2.2 Análisis de absorción de nutrimentos después de la primera aplicación foliar

En la evaluación de nutrientes en el follaje el tratamiento que dio mayor concentración de nitrógeno (N) fue el 20-30-10 con 3.95% mostrando diferencia estadística con los demás, mientras que el fertilizante foliar orgánico que dio mayor concentración fue el Hormonamin con 3.31%.

En la concentración de fosforo (P) en el follaje no hubo diferencia estadística, pero la concentración del testigo con agua dio más baja con 0.281% mientras que los demás tratamientos tuvieron un rango entre 0.351% y 0.326%.

Para potasio (K) el tratamiento con mayor concentración fue el Bayfolan con 1.85% mostrando diferencia significativa con todos los demás, y el fertilizante foliar orgánico con mayor concentración fue el Hormonamin con 1.57%.

El tratamiento con mayor concentración de calcio (Ca) en el follaje fue el sintético Bayfolan con un porcentaje de 2.41 y el de mayor concentración orgánico fue el Hormonamin con 2.03%.

En la evaluación de magnesio (Mg) los tratamientos con mayor concentración fueron el Bayfolan con 1.11%, Hormonamin con 1.09% y el 20-30-10 con 1.08% mostrando diferencia estadística con los demás.

En el análisis de micronutrientes para la concentración de cobre (Cu) los tratamientos que dieron diferencia estadística con los demás fueron los sintéticos Bayfolan con 41 ppm y Urea más quelatos con 39.33 ppm, mientras que el orgánico con mayor concentración fue el Hormonamin con 33.66 ppm.

Para la concentración de hierro (Fe) hubo diferencia estadística entre la mayoría de los tratamientos teniendo el sintético Bayfolan con 185.33 ppm como el de mayor concentración, mientras que el orgánico con mayor concentración fue el Hormonamin con 106.67 ppm.

En la evaluación de Zinc (Zn) el tratamiento sintético con mayor concentración fue el Bayfolan con 84.66 ppm mostrando diferencia estadística con todos los demás tratamientos, en los fertilizantes foliares orgánicos el que presento mayor concentración fue el Hormonamin con 70 ppm.

Por ultimo para el nutriente manganeso (Mn) los tratamientos con mayor concentración fueron los sintéticos 20-30-10 con 69.33 ppm, Bayfolan con 63.66 ppm y el orgánico Hormonamin con 63 ppm, mostrando diferencia estadística con los demás.

Cuadro 15. Análisis de concentración de macro y micro nutrientes en follaje después de la primera aplicación para la selección del mejor fertilizante foliar sintético y orgánico en el cultivo de maíz.

Tratamiento	N%	P%	K%	Ca%	Mg%	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm
Agua	2.27c	0.281 ^a	1.12d	1.98c	0.68c	21d	78.66d	50.33c	37.33b
Urea más quelatos	2.39c	0.328 ^a	1.39bcd	2.12abc	0.8bc	37.33a	151.33b	75.3ab	39.66b
Bayfolan	3.22b	0.351 ^a	1.85a	2.41a	1.11a	41a	185.33a	84.66a	63.66a
20-30-10	3.95a	0.326 ^a	1.75ab	2.34ab	1.08a	37.33ab	155.33b	80.3ab	69.33a
Hormonamin	3.31b	0.331 ^a	1.57abc	2.09bc	1.09a	33.66bc	106.67c	70b	63a
Algas	3b	0.343 ^a	1.17cd	2.03bc	0.97ab	30c	97cd	57c	43.66b
Lombricomposta	3b	0.331 ^a	1.37bcd	1.97c	0.89b	30.33c	91.66cd	48c	34.33b

Medias con letras iguales en cada columna no presentan diferencia estadística significativa, según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

7.2.3 Análisis de absorción de nutrimentos después de la segunda aplicación foliar

En la evaluación de concentración de nitrógeno (N) en el follaje después de la segunda aplicación foliar los tratamientos dieron resultados similares entre 4.05% y 3.6% a excepción del agua que dio 2.9%, aunque estadísticamente hubo diferencia entre los tratamientos el rango en los que se encuentran no implica una gran diferencia nutricional.

En cuanto a la concentración de fósforo (P) del follaje el tratamiento con mayor concentración fue Urea más quelatos con una concentración de 0.42%, seguido de los tratamientos Hormonamin, Bayfolan y 20-30-10 que dieron resultados muy parecidos alrededor del 0.38%.

Para la concentración de potasio (K) los tratamientos con mayor concentración fueron el Bayfolan y el 20-30-10 con 1.82 y 1.80 %, seguido del tratamiento orgánico Hormonamin con 1.67%.

Respecto a la concentración de calcio (Ca) el tratamiento con mayor concentración fue el Bayfolan con un 2.68% teniendo diferencia estadística con los demás, mientras que los tratamientos orgánicos no dieron diferencia estadística entre si estando entre 1.8-1.9%.

En la evaluación de manganeso (Mg) no hubo diferencia estadística entre los tratamientos a excepción del agua y Urea más quelatos de zinc que tuvieron una concentración menor a los demás, el rango de los demás tratamientos esta entre 1.15 y 1.03%.

En la evaluación de micronutrientes en el follaje para el caso del cobre (Cu) el tratamiento con mayor concentración fue el Hormonamin con 47.33 ppm mostrando diferencia estadística con los demás, seguido del Bayfolan con 33.66 ppm.

Para los nutrientes hierro (Fe) y zinc (Zn) el tratamiento que mostro mayor concentración fue el Bayfolan mostrando diferencia estadística con los demás tratamientos con una concentración de 178 ppm para hierro y 93.66 ppm para zinc, en ambos nutrientes el tratamiento orgánico que mostro mayor concentración fue el Hormonamin con 106 ppm para hierro y 79.66 ppm para zinc.

En la medición de concentración de manganeso (Mn) los tratamientos con mayor concentración fueron Bayfolan, 20-30-10 y Hormonamin estando en un rango de 56 a 59 ppm, mientras que tratamiento testigo (agua) dio una concentración de 33.66 ppm.

Cuadro 16. Análisis de concentración de macro y micro nutrientes en follaje después de la segunda aplicación para la selección del mejor fertilizante foliar sintético y orgánico en el cultivo de maíz.

Tratamiento	N%	P%	K%	Ca%	Mg%	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm
Agua	2.27c	0.281a	1.12d	1.98c	0.68c	21d	78.66d	50.33c	37.33b
Urea más quelatos	2.39c	0.328a	1.39bcd	2.12abc	0.8bc	37.33a	151.33b	75.3ab	39.66b
Bayfolan	3.22b	0.351a	1.85a	2.41a	1.11a	41a	185.33a	84.66a	63.66a
20-30-10	3.95a	0.326a	1.75ab	2.34ab	1.08a	37.33ab	155.33b	80.3ab	69.33a
Hormonamin	3.31b	0.331a	1.57abc	2.09bc	1.09a	33.66bc	106.67c	70b	63a
Algas	3b	0.343a	1.17cd	2.03bc	0.97ab	30c	97cd	57c	43.66b
Lombricomposta	3b	0.331a	1.37bcd	1.97c	0.89b	30.33c	91.66cd	48c	34.33b

Medias con letras iguales en cada columna no presentan diferencia estadística significativa, según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

El tratamiento que dio una mayor absorción en la mayoría de los nutrimentos es el Bayfolan Forte siendo este un sintético y de los fertilizantes foliares orgánicos que presento una mayor absorción fue el Hormonamin.

7.2.4 Altura de planta y mazorca

Como se observa en el cuadro 17, el rango de altura de planta entre los tratamientos es de 2.5 a 2.6 m lo cual no muestra una diferencia estadística entre sí, para la variable altura de mazorca tampoco se muestra diferencia estadística entre los tratamientos y esta variable tiene un rango de 1.06 a 1.17m.

Cuadro 17. Altura de planta y mazorca a los 127 días después de la siembra para la selección del mejor fertilizante foliar sintético y orgánico en el cultivo de maíz.

Tratamiento	Altura planta (m)	Altura mazorca (m)
Agua	2.5a	1.1567a
Urea más quelatos	2.3633a	1.0333a
Bayfolan	2.3983a	1.0617a
20-30-10	2.5983a	1.1433a
Hormonamin	2.5916a	1.1733a
Algas	2.5283a	1.0683a
Lombricomposta	2.5533a	1.1367a

Medias con letras iguales en cada columna no presentan diferencia estadística significativa, según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

7.2.5 Peso específico de grano y producción de grano

El peso por cada 1000 granos el tratamiento de agua (testigo) fue el que dio mayor peso con 287.51 gr mientras que el tratamiento con menor valor fue Urea más quelatos el cual tuvo 252.01 g a pesar de esto no hubo diferencia estadística entre los tratamientos.

Cuadro 18. Efecto de los diferentes tratamientos de fertilizantes foliares en el peso por cada 1000 granos.

Tratamiento	Peso 1000 granos (g)
Agua	287.51a
Urea más quelatos	252.01a
Bayfolan Forte	268.19a
20-30-10	279.11a
Hormonamin	273.37a
Algas	266.41a
Lombricomposta	277a

Medias con letras iguales en cada columna no presentan diferencia estadística significativa, según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

Como se puede observar en la figura 6, el rango para la producción fue de 7.65 a 10.41 t ha⁻¹ siendo el tratamiento Bayfolan el que dio los valores más altos en producción.

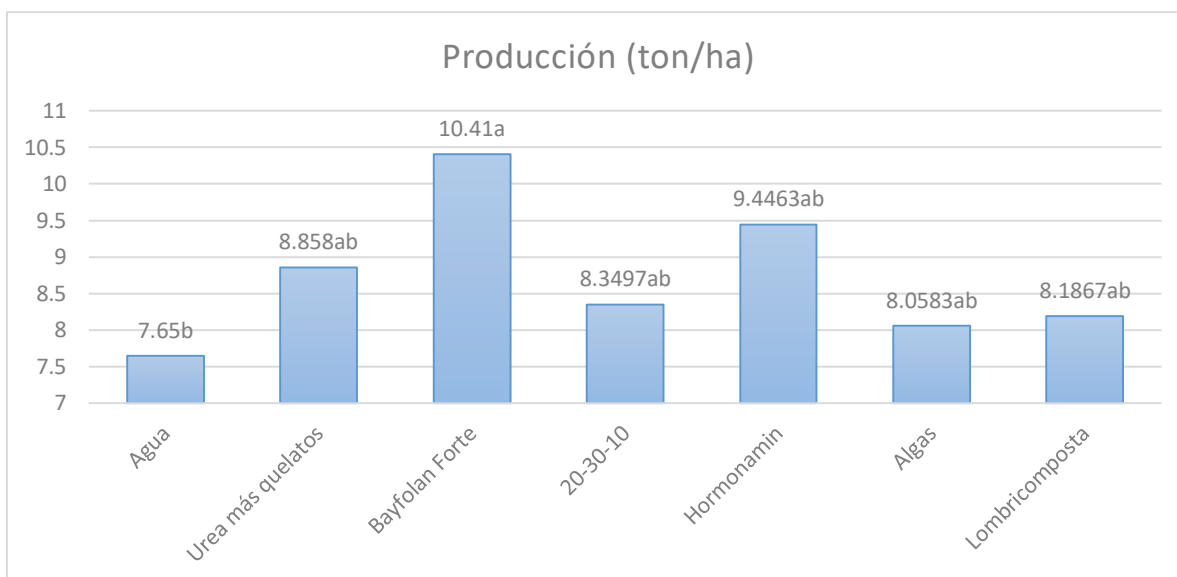


Figura 6. Producción en $t\ ha^{-1}$ para la selección del mejor fertilizante foliar sintético y orgánico aplicado de manera tradicional.

7.2.6 Selección del mejor fertilizante foliar sintético y orgánico evaluados en el cultivo de maíz

Al considerar las variables evaluadas se seleccionó como mejor fertilizante foliar sintético el tratamiento Bayfolan Forte y como mejor orgánico el tratamiento Hormonamin.

7.3 Experimento para evaluar la mezcla del mejor fertilizante foliar sintético con el mejor orgánico seleccionado mediante su aplicación con dron y de manera tradicional

Como se observa en la figura 7 la solución aplicada con el dron tiene un tamaño de gota más pequeño además de tener una mayor área humedecida que con la aplicación tradicional donde se tiene un tamaño de gota más grande y una parte del follaje a la que no llega la solución.



Figura 7. Comparativa de tarjetas hidrosensibles y follaje después de las aplicaciones foliares con ambos métodos de aplicación.

7.3.1 Análisis de absorción de nutrimentos después de la primera aplicación foliar

Para los nutrientes nitrógeno (N), fosforo (P) y magnesio (Mg) no hubo diferencia estadística entre los fertilizantes foliares utilizados ni la mezcla, solamente con el testigo.

Para el potasio (K) hubo diferencia estadística para todos los tratamientos presentando una mayor absorción el Bayfolan Forte con 1.72%, donde el que presento menor absorción fue el testigo con 1.04%.

En la medición de magnesio (Mg) se tuvo al tratamiento Bayfolan Forte presento una absorción de 1.2265% teniendo diferencia estadística con la mezcla de fertilizantes y el testigo, y el tratamiento Hormonamin solamente presento diferencia estadística con el testigo.

En la evaluación de absorción de micronutrientes en el follaje después de la primera aplicación foliar no hubo diferencia estadística entre los tratamientos Bayfolan Forte, Hormonamin y la mezcla para el cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn) y manganeso (Mg), y todos presentaron diferencia estadística con el testigo.

Para el micronutriente cobre (Cu) los 3 tratamientos que no presentaron diferencia estadística tuvieron una concentración alrededor de los 42 ppm mientras que en el testigo se tuvo 27.6 ppm.

En la medición de hierro (Fe) los tratamientos Bayfolan Forte, Hormonamin y la mezcla presentaron una concentración entre los 124 y 127 ppm y el testigo 81.16 ppm.

Para el nutriente zinc (Zn) los tratamientos Bayfolan Forte, Hormonamin y la mezcla tuvieron una concentración del 81 al 83 ppm mientras que el testigo presento una concentración de 53.66 ppm

Para la concentración de manganeso (Mg) que presentaron los tratamientos Bayfolan Forte, Hormonamin y la mezcla estuvieron entre las 57 y 63 ppm y en el testigo se presentó una concentración de 42.5 ppm

En cuanto al método de aplicación los nutrientes que presentaron diferencia estadística fueron el Potasio (K), Calcio (Ca), cobre (Cu) y el manganeso (Mn) dando una mejor absorción con la aplicación con dron.

Cuadro 19. Análisis de concentración de macro y micro nutrientes en follaje después de la primera aplicación para la evaluación de la mezcla del mejor fertilizante foliar sintético con el mejor orgánico.

Tratamiento	N %	P%	K%	Ca %	Mg%	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm
Agua	2.49b	0.39b	1.72d	1.77b	1.126c	27.66b	81.16b	53.66b	42.5b
Bayfolan Forte	2.93a	0.45a	1.72a	2.41a	1.226a	42.33a	127.33a	83.33a	59a
Hormonamin	2.92a	0.4333a	1.55b	2.34a	1.14ab	42.5a	126.83a	83.33a	57.16a
Mezcla	2.98a	0.4650a	1.43c	2.25a	1.115b	43a	124.17a	81.5a	63a
Método de aplicación									
Dron	2.83a	0.43a	1.49a	2.29a	1.064a	40a	114.92a	75.66a	60.66a
Mochila	2.89a	0.43a	1.37b	2.09b	1.072a	37.5b	114.83a	75.75a	50.16b

Medias con letras iguales en cada columna no presentan diferencia estadística significativa, según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

7.3.2 Análisis de absorción de nutrimentos después de la segunda aplicación foliar

En la evaluación de la concentración de nitrógeno (N) en el follaje de la planta después de la segunda aplicación foliar los tratamientos Bayfolan Forte,

Hormonamin y la mezcla de estos estuvieron entre el 4.46% y 4.70% y no presentaron diferencia estadística entre sí, pero si con el tratamiento testigo ya que este presentó una concentración de 4.16%.

Para la concentración de fósforo (P), potasio (K) y magnesio (Mg) los tratamientos Bayfolan Forte, Hormonamin y la mezcla de estos no tuvieron diferencia estadística entre sí, oscilando su concentración entre 0.64% y 0.69% para fósforo, 1.65% a 1.69% para potasio y 1.06% a 1.08% para magnesio, mientras que en el tratamiento testigo se obtuvo una concentración de 0.43%, 1.16% y 0.73% respectivamente.

Para la medición de calcio (Ca) en el follaje únicamente el tratamiento Bayfolan Forte tuvo diferencia estadística con el testigo, mientras que los tratamientos Hormonamin y la mezcla de los fertilizantes no tuvieron diferencia estadística con ninguno de los demás tratamientos.

Para la medición de cobre (Cu) no hubo diferencia estadística entre los tratamientos Bayfolan Forte, Hormonamin y la mezcla de estos.

La evaluación de hierro (Fe) el tratamiento que presentó una mayor absorción fue el Hormonamin con una absorción de 169.17 ppm mostrando diferencia estadística con el tratamiento Bayfolan Forte y con el testigo, mientras que la mezcla de los fertilizantes no mostró diferencia estadística con el Hormonamin ni el Bayfolan Forte.

En la medición de zinc (Zn) el tratamiento que presentó una mayor absorción fue la mezcla de los fertilizantes teniendo diferencia estadística con los tratamientos Bayfolan Forte y el testigo, mientras que el Hormonamin solo presentó diferencia estadística con el testigo.

En cuanto al contenido de molibdeno (Mn) no hubo diferencia estadística entre los tratamientos Bayfolan Forte, Hormonamin y la mezcla de estos, presentando una concentración entre los 81 y 84 ppm, mientras que el tratamiento testigo tuvo 54.66 ppm.

Para el método de aplicación los nutrientes que presentaron diferencia estadística fueron el Fosforo (P), Potasio (K), Hierro (Fe) y el Molibdeno (Mn) teniendo una mejor absorción con la aplicación con dron.

Cuadro 20. Análisis de concentración de micronutrientes en follaje después de la segunda aplicación para la evaluación de la mezcla del mejor fertilizante foliar sintético con el mejor orgánico.

Tratamiento	N %	P%	K%	Ca %	Mg%	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm
Agua	4.16b	0.43b	1.16b	1.72b	0.73b	34.83b	89.16c	58c	54.66b
Bayfolan	4.70a	0.64a	1.69a	2.34a	1.07a	59a	1.45b	83.66b	81.5a
Hormonamin	4.54a	0.67a	1.65a	1.99ab	1.06a	62.33a	169.17a	87.83ab	84.16a
Mezcla	4.46a	0.69a	1.69a	2.07ab	1.08a	61.33a	1.58ab	91.66a	81.5a
Método de aplicación									
Dron	2.83a	0.43a	1.49a	2.29a	1.064a	40a	114.92a	75.66a	60.66a
Mochila	2.89a	0.43a	1.37b	2.09b	1.072a	37.5b	114.83a	75.75a	50.16b

Medias con letras iguales en cada columna no presentan diferencia estadística significativa, según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

7.3.3 Altura de planta y mazorca

El rango de altura de planta entre los tratamientos es de 2.93 a 3.01 m lo cual no mostro diferencia estadística entre los tratamientos, en la altura de mazorca tampoco hubo diferencia estadística y los rangos estuvieron entre los 1.4 y 1.46m, para la forma de aplicación tampoco se presentó diferencia estadística para ambas variables.

Cuadro 21. Altura de planta y mazorca a los 126 días después de la siembra para la evaluación de la mezcla del mejor fertilizante foliar sintético con el mejor orgánico.

Tratamiento	Altura planta	Altura mazorca
Agua	2.9533a	1.4058a
Bayfolan	3.0117a	1.4567a
Hormonamin	2.9608a	1.4467a
Mezcla	2.9333a	1.4167a
Método de aplicación		
Dron	3.0296a	1.4725a
Mochila aspersora	2.9a	1.3904a

Medias con letras iguales en cada columna no presentan diferencia estadística significativa, según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

7.4 Peso específico de grano y producción de grano

En el peso por cada 1000 granos no se tuvo diferencia estadística entre ninguno de los tratamientos ni en el método de aplicación, encontrándose el peso de estos en un rango de 340-360 g.

Cuadro 22. Peso por cada 1000 granos de los tratamientos para la evaluación de la mezcla de los mejores fertilizantes foliares seleccionados con aplicación tradicional y dron.

Tratamiento	Peso 1000 granos
Agua	344.17a
Bayfolan Forte	344.17a
Hormonamin	351.67a
Mezcla Bayfolan Forte + Hormonamin	340a
Método de aplicación	
Dron	350a
Mochila aspersora	340a

Medias con letras iguales en cada columna no presentan diferencia estadística significativa, según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

Como se muestra en la figura 8 la producción en $t\ ha^{-1}$ no tuvo diferencia estadística significativa entre los tratamientos Bayfolan Forte, Hormonamin y la mezcla de estos la cual se encontraba entre las 11.83-12.67 $t\ ha^{-1}$, y solamente la mezcla de los fertilizantes foliares no presento diferencia estadística con el tratamiento testigo (agua).

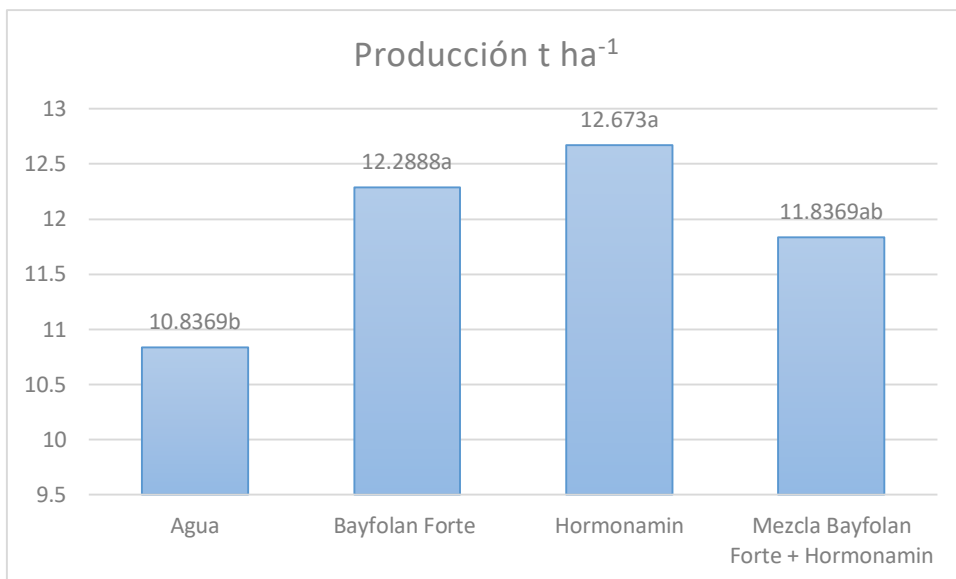


Figura 8. Comparación de los diferentes niveles (fertilizantes) estudiados en el diseño factorial evaluación en t ha⁻¹ para la evaluación de la mezcla del mejor fertilizante foliar sintético y orgánico seleccionados.

En la figura 9, se puede observar que en el método de aplicación se tuvo una diferencia estadística en la media de producción cuando los fertilizantes se aplicaban con dron que cuando se aplicó con mochila aspersora.

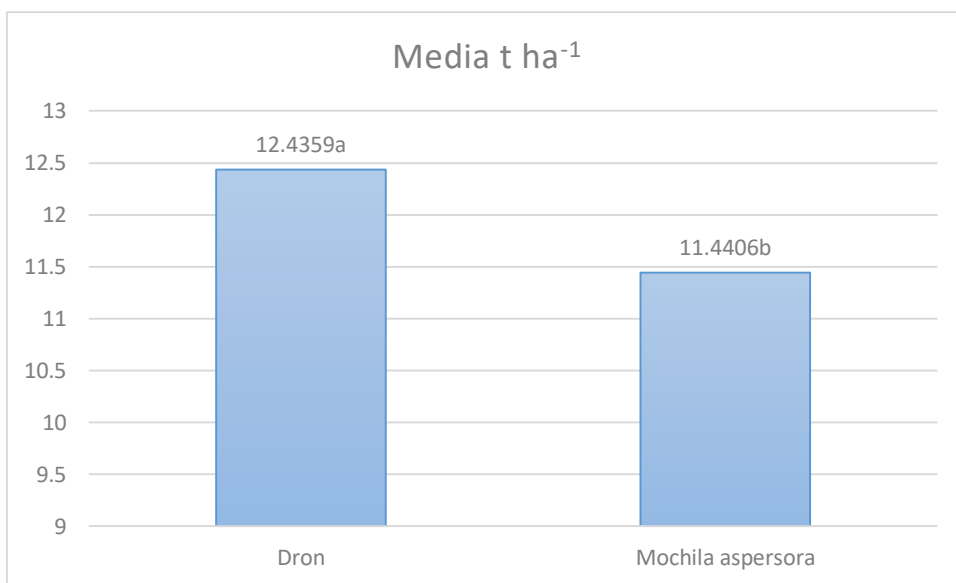


Figura 9. Comparación de los factores (métodos de aplicación) en la evaluación en el método de aplicación en producción para la evaluación de la mezcla del mejor fertilizante foliar sintético y orgánico seleccionados.

VIII. Discusión

En el análisis de suelos previo a la siembra donde se midieron las propiedades físico-químicas de este se encontraron concentraciones de Fosforo, Potasio y Calcio adecuados para cultivos agrícolas según lo reportado por Bernier (1999). Además de presentar una textura franco o aluvión según la FAO (2009).

Patil *et al.* (2018) reporta que al aplicar fertilizantes foliares la mayoría de los nutrientes terminan de absorberse en 5 días, pero algunos otros como el hierro y molibdeno llegan a tardar hasta 20 días en absorberse por completo por lo que la colecta del follaje para realizar el análisis nutrimental de la planta después de las aplicaciones foliares fueron a los 7 días.

La concentración de nutrientes en el follaje después de las aplicaciones foliares para la selección del mejor fertilizante foliar sintético y orgánico coinciden con los rangos reportados para el follaje de maíz por Correndo *et al.*, (2012) donde los rangos son para N (3.0-5.0%), P (0.3-0.8%), K (2.0-5.0%), Ca (0.25-1.6), Mg (0.3-1.0%), Cu (5-25 ppm), Fe (30-300 ppm), Zn (15-100 ppm), Mn (20-160 ppm).

En la selección del mejor fertilizante foliar sintético y orgánico las variables de crecimiento de altura de planta y altura de mazorca, no presentaron diferencia estadística significativa, pero en los tratamientos que presentaron una mayor absorción de nutrimentos se observaba un color verde más intenso, además de presentar un mayor desarrollo en las plantas.

Para la selección del mejor fertilizante foliar sintético y orgánico el rendimiento de grano el único tratamiento que presentó diferencia estadística con el testigo (agua) fue el Bayfolan Forte, los demás no presentaron diferencia entre sí. Sin embargo, se observó una tendencia a mayor rendimiento en los tratamientos que presentaron mayor absorción de nutrimentos en el follaje.

En el experimento donde se evaluó la mezcla de los fertilizantes foliares seleccionados aplicados con dron y mochila la planta no mostro quemadura en el follaje por alta concentración de nutrimentos con el tratamiento mezcla de Bayfolan más Hormonamin aplicado con dron a pesar de que la concentración utilizada fue de 6 L en 20 de agua (30% fertilizante-agua), esto posiblemente se deba al tamaño de gota y la cobertura que proporciona el dron, ya que mientras más esparcido este la solución aplicada favorece a que la planta no sufra quemaduras.

Para la fertilización foliar el utilizar soluciones con una gran concentración de nutrimentos no significa que se obtenga mayor absorción nutrimental por la planta, si no que depende de otros factores para su absorción.

Según lo reportado por Ethan *et al.*, (2017) la aplicación de fertilizantes foliares con un tamaño de gota muy pequeño no es tan favorable para la absorción de estos por lo que en los tratamientos aplicados con dron se tenía la incertidumbre si el tamaño de gota con el este asperja sería favorable para la absorción de nutrientes por el follaje ya que al tener un tamaño de gota muy pequeño estas tienden a evaporarse más rápido debido a la película tan delgada que se forma y al no estar tanto tiempo en contacto con la hoja una parte de los fertilizantes no se absorberían, a pesar de esto los resultados obtenidos en los análisis nutrimentales del follaje después de las aplicaciones mostraron una que la absorción que se tuvo al aplicar los fertilizantes foliares con dron dieron una mayor absorción en la mayoría de los nutrientes que con la aplicación tradicional, esto posiblemente a que el dron al sobrevolar los cultivos logra que una mayor parte del el área foliar se cubra por la solución aplicada y aunque se evapore más rápido el área de absorción es mayor.

Para la evaluación de la mezcla de los fertilizantes foliares seleccionados nuevamente la concentración que se encontraba en el follaje después de las aplicaciones coinciden con lo reportado por Correndo *et al.*, (2012) mencionando que los rangos para los nutrientes son para N(3.0-5.0%), P (0.3-0.8%), K (2.0-5.0%), Ca (0.25-1.6), Mg (0.3-1.0%), Cu (5-25 ppm), Fe (30-300 ppm), Zn (15-100 ppm),

Mn (20-160 ppm), donde después de la segunda aplicación foliar se muestra un aumento en el porcentaje de Nitrógeno y Fosforo comparada con la concentración que se tenía después de la primera aplicación, esto debido a que la etapa fenológica de la planta estaba por entrar a floración donde la planta requiere mayor cantidad de nutrientes.

A pesar de utilizar la misma cantidad de fertilizante en ambos métodos de aplicación, la aplicación con dron presento diferencia estadística en los nutrientes Potasio, Calcio, Cobre y Manganeso en la primera aplicación foliar y para la segunda aplicación los nutrientes que obtuvieron mayor absorción cuando se aplicó el fertilizante foliar con dron fueron Fosforo, Potasio, Calcio, Cobre, Hierro y Manganeso.

En la evaluación de la mezcla de los fertilizantes foliares seleccionados no se tuvieron diferencias estadísticas para las variables altura de planta, altura de mazorca entre los fertilizantes utilizados ni en el método de aplicación.

Para el peso por cada 1000 granos no se obtuvo diferencias estadísticas significativa entre los tratamientos lo cual coinciden con los resultados obtenidos por de Jakab *et al.*, (2017) donde evaluó diferentes fertilizantes foliares aplicados de manera tradicional por separados y mezclas en donde tampoco obtuvo diferencia estadística en el peso por cada 1000 granos de maíz.

La aplicación de los fertilizantes foliares con dron presento un mayor rendimiento (12.43 t ha^{-1}) que la aplicación con tradicional (11.44 t ha^{-1}), esto coincide con lo reportado por (Ciampitti *et al.*, 2010) donde evaluó diferentes fertilizantes foliares aplicados de manera tradicional y los tratamientos que presentaron una mayor absorción de nutrientes tuvieron un mayor rendimiento en el grano de maíz.

Los resultados de producción de grano coinciden con los de Jakab *et, al.*, (2017) donde algunas mezclas de fertilizantes foliares dieron mayor rendimiento que cuando se aplicaron por si solos utilizando aplicación tradicional.

IX. Conclusiones

La utilización de una mayor cantidad de nutrientes en las aplicaciones foliares no implica una mayor absorción de estos en la planta.

La aplicación de fertilizantes foliares con dron da una mayor absorción en la mayoría de nutrientes comparado con la aplicación tradicional.

La disposición y el tamaño de gota que da el dron hace que la planta de maíz no presente daño al aplicar una gran concentración de fertilizante en la solución.

La aplicación de fertilizantes foliares con dron aumentó significativamente la producción de grano de maíz comparada con la aplicación tradicional.

Los fertilizantes foliares sintéticos y orgánicos mezclados no presentaron diferencia estadística en la absorción nutrimental ni en la producción de grano comparados con la aplicación individual.

X BIBLIOGRAFIA

- Adrián González, Gelberth Amarillo, Milton Amarillo, Francisco Sarmiento. 2015. Drones aplicados a la agricultura de precisión. Revista especializada en ingeniería.
- AGRAS T40 - One for All - DJI Agricultural Drones. (s. f.). DJI. <https://www.dji.com/mx/t40>
- Arnon, D. I., & Stout, P. R. (1939). MOLYBDENUM AS AN ESSENTIAL ELEMENT FOR HIGHER PLANTS. *Plant physiology*, 14(3), 599–602. <https://doi.org/10.1104/pp.14.3.599>
- ASERCA 2021. Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios Disponible en: <https://www.gob.mx/aserca/articulos/maiz-grano-cultivo-representativo-de-mexico?idiom=es#:~:text=El%20ma%C3%ADz%2C%20es%20uno%20de,importancia%20econ%C3%B3mica%2C%20social%20y%20cultural>.
- Assunção, A. G. L., Cakmak, I., Clemens, S., González-Guerrero, M., Nawrocki, A., & Thomine, S. (2022). Micronutrient homeostasis in plants for more sustainable agriculture and healthier human nutrition. *Journal of experimental botany*, 73(6), 1789–1799. <https://doi.org/10.1093/jxb/erac014>
- Bernier V, Rene (1999) Analisis de suelo metodologia e interpretacion [en línea]. Osorno: Serie Actas - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 2. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/8634>
- Brankov, Milan, Milena Simić, Željko Dolijanović, Miloš Rajković, Violeta Mandić, and Vesna Dragičević. 2020. "The Response of Maize Lines to Foliar Fertilizing" *Agriculture* 10, no. 9: 365. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090365>

- Ciampitti, Ignacio & Boxler, M. & Garcia, Fernando. (2010). Nutrición de Maíz: requerimientos y Absorción de nutrientes. Informaciones Agronomicas del Cono Sur. Int. Plant Nutr. Inst.. 4. Pp. 14-18.
- Correndo, Adrián & Garcia, Fernando. (2012). Concentración de nutrientes en planta como herramienta de diagnóstico. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica.
- Ethan C. Wyatt, Jacob T. Bushong, Natasha E. Macnack, Jeremiah L. Mullock, Randy Taylor, William R. Raun. 2017. Influence of Droplet Size of Foliar-Applied Nitrogen on Grain Protein Content of Hard Red Winter Wheat. Crop for age and turfgrass. Vol 3, No 1, pp 1-10. <https://doi.org/10.2134/cftm2016.10.0068>.
- Fassio, A., Carriquiry, A. ines, Tojo, C., & Romero, R. (1998). Maíz: Aspectos sobre fenología (1.ª ed., pp. 1–24). Uruguay: Unidad de Difusión e Información Tecnológica del INIA. Uruguay: Unidad de Difusión e Información Tecnológica del INIA.
- Fernández Victoria, Sotiropoulos Thomas y Brown Patrick. 2015. Fertilización foliar, principios y practica de campo. Asociación internacional de la industria de fertilizantes. p.p. 127.
- Frances Jones. (2019). Fumigación con drones, Pesquisa FAPESP, vol 283, pag 74-78, disponible en: <https://revistapesquisa.fapesp.br/folheie-a-edicao-283/>
- FAO (2009). Guía para la descripción de suelos. (4.ª ed.). Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentacion ROMA:
- Hu Y, Bellaloui N, Kuang Y. (2023). Factors affecting the efficacy of foliar fertilizers and the uptake of atmospheric aerosols, volume II. Front Plant Sci. Feb 10;14:1146853. doi: 10.3389/fpls.2023.1146853. PMID: 36844085; PMCID: PMC9951087.

- Jakab, P., Zoltán, G., Festó, D., & Komarek, L. (2017). Investigation of Foliar Fertilization in Maize Production. *Advanced Research In Life Sciences*, 1(1), 1-6. <https://doi.org/10.1515/arls-2017-0001>
- Jannin, L.; Arkoun, M.; Etienne, P.; Laîné, P.; Goux, D.; Garnica, M.; Fuentes, M.; Francisco, S.S.; Baigorri, R. and Cruz, F. 2013. Brassica napus growth is promoted by *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. Seaweed extract: microarray analysis and physiological characterization of N, C, and S metabolisms *J. Plant Growth Regul.* 1(32):31-52.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. (2022, 23 de marzo). INIFAP recomienda cultivar maíz con Paquete tecnológico en Morelos. [gob.mx. https://www.gob.mx/inifap/articulos/inifap-en-morelos-recomienda-cultivar-maiz-con-paquete-tecnologico](https://www.gob.mx/inifap/articulos/inifap-en-morelos-recomienda-cultivar-maiz-con-paquete-tecnologico)
- INIFAP 2010, Instituto nacional de Investigación Forestales, agrícolas y pecuarias, guía técnica para el área de influencia del campo experimental del valle de Culiacán.
- Inés Navarro, Ediciones mundi-prensa. 2003. *Química agrícola Tercera Ed.* 2 Macmillan, Castelló, 37 - 28001 Madrid .
- Isaias C. Dela Peña, (2022), Growth and Yield Performance of Transplanted Sweet Corn Applied With Organic–Based Foliar Fertilizer, *Journal of Positive School Psychology*, 2022, Vol. 6, No. 3, pp.4387–4393.
- INPOFOS. 2002, Instituto de potasio y el fosforo, Requerimientos nutricionales de los cultivos Requerimientos nutricionales de los cultivos. *Archivo agronómico* No. 3. 04 pp.
- Kaya C, Akram NA, Ashraf M, Sonmez O. 2018. Exogenous application of humic acid mitigates salinity stress in maize (*Zea mays* L.) plants by improving

some key physicochemical attributes. *Cereal Research Communications* 46 (1): 67–78. <https://doi.org/10.1556/0806.45.2017.064>

Machado, Hilda, Suset, A, Martín, G. J, & Funes-Monzote, F. R. (2009). Del enfoque reduccionista al enfoque de sistema en la agricultura cubana: un necesario cambio de visión. *Pastos y Forrajes*, 32(3),

Martínez-Gutiérrez, Aarón, Zamudio-González, Benjamín, Tadeo-Robledo, Margarita, Espinosa-Calderón, Alejandro, Cardoso-Galvão, João Carlos, & Vázquez-Carrillo, María Gricelda. (2022). Yield of corn hybrids in response to foliar fertilization with biostimulants. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(2), 289-301. Epub 01 de agosto de 2022. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i2.2782>

Meng Xu, Mengjiao Liu, Fan Liu, Nan Zheng, Sheng Tang, Jingjie Zhou, Qingxu Ma, Lianghuan Wu, A safe, high fertilizer-efficiency and economical approach based on a low-volume spraying UAV loaded with chelated-zinc fertilizer to produce zinc-biofortified rice grains, *Journal of Cleaner Production*, Vol 323, 2021, pp 129-188. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129188>.

Murillo Castillo, R. G., Piedra Marín, G., & León, R. (2013). Nutrient uptake by leaf. *Uniciencia*, 27(1), 232-244. Retrieved from <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/uniciencia/article/view/4952>

Patil, Basavaraj & Chetan, H. (2018). FOLIAR FERTILIZATION OF NUTRIENTS. *MARUMEGH Kisaan E-Patrika*. 3. 49-53..

Pino V, Edward. 2019. Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. *IDESIA*. Pp. 75-84.

Rajbir Singh, R.K. Gupta, R.T. Patil, R.R. Sharma, R. Asrey, A. Kumar, K.K. Jangra, Sequential foliar application of vermicompost leachates improves marketable fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria xananassa* Duch.), *Scientia Horticulturae*, Volume 124, Issue 1, 2010, Pages 34-39, doi.org/10.1016/j.scienta.2009.12.002.

Rodolfo Ríos-Hernández. (2021) Uso de los Drones o Vehículos Aéreos no Tripulados en la Agricultura de Precisión. *Ingeniería Agrícola*, vol. 11, núm. 4, e10, 2021 <https://www.redalyc.org/journal/5862/586268743010/html/>

Salomi Grace, M., A.V. Ramana, A. Upendra Rao and Govind Rao, S. 2020. Effect of Foliar Nutrition on Yield and Economics of Sweet Corn. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 9(7): 3886-3893. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.907.455>

Sanchez Ortega, Ivan, Pérez-Urria Carril, Elena, 2013, Maíz I (*Zea mays*) ,*Reduca* (Biología). Serie Botánica, *Revista Reduca*, Vol 7, Num 2 (2014) pp 151-171. Disponible en: <http://revistareduca.es/index.php/biologia/article/viewFile/1739/1776>

SIAP/SAGARPA. 2021. Sistema de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera/ Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Base de Datos Estadísticos de Producción. Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/

Omran, D. , Ibrahim, A., Mohamed, M., & Nossier, M. (2021). Evaluation of Some Adjuvants in Improving Foliar Fertilizers Efficiency. *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, 29(3), 953-967. doi: 10.21608/ajs.2021.95510.1416

Trinidad Santos, Antonio y Aguilar Manjarrez, Diana. 1999. Fertilización Foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. *Terra Latinoamericana*. Sociedad Mexicana de la ciencia de suelo, A.C. México. pp.247-255.

- Van Oosten, M. J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S., & Maggio, A. (2017). The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical And Biological Technologies In Agriculture*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s40538-017-0089-5>
- Xiao, Q., Du, R., Yang, L., Han, X., Zhao, S., Zhang, G., Fu, W., Wang, G., & Lan, Y. (2020). Comparison of Droplet Deposition Control Efficacy on *Phytophthora capsica* and Aphids in the Processing Pepper Field of the Unmanned Aerial Vehicle and Knapsack Sprayer. *Agronomy*, 10(2), 215. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020215>
- Zepeda R. , Carballo A., Alcantar G., Hernandez A., Hernandez J,. (2002) EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN FOLIAR EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE SEMILLA DE CRUZAS SIMPLES EN MAÍZ. *Revista Fitotecnia Mexicana* Vol. 25 Núm. 4 (2002). <https://doi.org/10.35196/rfm.2002.4.419>