



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

DIRECCIÓN DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

Trabajo de Tesis

**Efecto del nitrógeno en adición de
Azospirillum brasilense y bioactivadores de
microorganismos del suelo en el cultivo del
maíz (*Zea mays* L.) Dorado F1 y su
rentabilidad, Matagalpa, 2023**

Autores

Br. Deyner Alexis Ramos Castro
Br. Jeysell Ninoska Rodríguez Sánchez

Asesores

Ing. M.Sc. Rodolfo de Jesús Munguía Hernández
Ing. M.Sc. Martha del Rosario Gutiérrez Castillo
Ing. Fernando David Mendoza González

Presentado a la consideración del honorable comité
evaluador como requisito final para optar al grado de
Ingeniero Agrícola

Managua, Nicaragua
Octubre, 2024

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable comité evaluador designado por la Dirección de Ciencias Agrícolas como requisito final para optar al título profesional de:

Ingeniero Agrícola

Miembros del Comité Evaluador

M.Sc. Andrea Maria Zamora

Jarquin
Presidente

Ing. Elvin Antonio Lagos Pineda

Secretario

Ing. Everth Francisco Herrera Fuentes

Vocal

Lugar y fecha: Managua, Nicaragua, octubre 2024

DEDICATORIA

A Dios por guiarme y sostenerme a lo largo de este camino que ha sido muy difícil, tú has sido mi refugio seguro, mi inspiración divina y en ti he encontrado la sabiduría y el consuelo para enfrentar cada desafío, permitiéndome la salud y la fortaleza para terminar con éxito la carrera.

A mis padres Ulises Rodríguez y Paula Sánchez por vuestro amor incondicional y sacrificio, han sido el cimiento sobre el cual he construido mis sueños. Vuestra confianza en mí ha sido la motivación para esforzarme siempre más, sin vuestro apoyo constante nada de esto hubiera sido posible. Padres este título también les pertenece.

A mis hermanos Ulises, Paula y Emmanuel, gracias por compartir este viaje conmigo, vuestras risas, consejos y ánimos me han impulsado a superar obstáculos y a celebrar cada logro con alegría compartida.

A mi tío Román Aguilar, a mis amistades Ivania Calero, Wesley Martínez, Deyner Castro y a todas las personas que me apoyaron durante esta etapa de mi vida, cada gesto de apoyo, grande o pequeño ha hecho una diferencia significativa en mi camino.

Br. Jeysell Ninoska Rodríguez Sánchez

DEDICATORIA

A mi abuelo Q.E.P.D. Leónidas Castro.

Br. Deyner Alexis Ramos Castro

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirnos la salud y el entendimiento para poder alcanzar este logro y a nuestras familias por el apoyo para salir adelante.

A nuestros asesores de tesis MSc. Rodolfo Munguía Hernández y MSc. Martha Gutiérrez Castillo por compartir sus conocimientos y darnos la oportunidad de llevar este trabajo de culminación.

A nuestro co-asesor de tesis Ing. Fernando Mendoza por el apoyo material e insumos y área para la fase de campo, por compartir sus conocimientos.

De manera especial a la Universidad Nacional Agraria por habernos permitido formarnos como profesionales.

A los docentes que nos brindaron sus conocimientos y dedicación, cada uno de ustedes han sido una fuente de sabiduría a lo largo de nuestra carrera académica.

Les agradecemos a Jhacsel Aguilar y Carlos Riveras por vuestra generosa ayuda y apoyo durante la etapa de campo, su disposición fue fundamental para el éxito de nuestra investigación.

Br. Jeysell Ninoska Rodríguez Sánchez

Br. Deyner Alexis Ramos Castro

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE ANEXOS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1. Generalidades del maíz	4
3.2. Clasificación taxonómica y morfología	6
3.3. Fenología del cultivo	7
3.3.1. Fase vegetativa	8
3.3.2. Fase reproductiva	8
3.4. Requerimientos edafoclimáticos	9
3.5. Nutrición y fertilización	10
3.6. Proceso de mineralización	11
3.7. Microorganismo	13
3.8. Fitohormonas reguladoras de crecimiento	14
3.8.1. Auxinas	14
3.8.2. Giberelina	15

3.9. Bioactivadores	16
3.9.1. Descripción de los bioactivadores de estudio	17
3.10. Antecedentes del uso de <i>A. brasilense</i>	18
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	20
4.1. Ubicación del estudio	20
4.2. Diseño de los tratamientos	20
4.3. Manejo del ensayo y metodología	22
4.3.1. Manejo agronómico	22
4.3.2. Primer ensayo experimental	22
4.3.3. Segundo ensayo experimental	23
4.3.4. Muestreo de suelo	23
4.4. Datos evaluados	24
4.4.1. Altura de la planta (cm)	24
4.4.2. Diámetro del tallo (cm)	24
4.4.3. Numero de hojas	24
4.4.4. Altura de la primera mazorca (cm)	24
4.4.5. Biomasa seca de maíz (kg)	24
4.4.6. Peso fresco por mazorca con el raquis y brácteas (g)	25
4.4.7. Peso fresco por mazorca con el raquis y sin brácteas (g)	25
4.4.8. Longitud de la mazorca sin brácteas (cm)	25
4.4.9. Diámetro de la mazorca sin brácteas (cm)	25
4.4.10. Unidades formadoras de colonias por (UFC/g suelo)	25
4.4.11. Grados Brix en el grano (°Bx)	26
4.4.12. Contenido de nitrógeno en grano y tejido vegetal	26
4.4.13. Tamaño de mazorca	26
4.5. Análisis de datos	27
4.6. Manejo de factores no sujetos a evaluación	27

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
5.1. Altura de la planta (cm)	29
5.2. Diámetro del tallo de la planta (mm)	30
5.3. Número de hojas por plantas	31
5.4. Altura de inserción a la primera mazorca	32
5.5. Peso de la mazorca con brácteas y sin brácteas	33
5.6. Longitud y diámetro de la mazorca sin brácteas	35
5.7. Biomasa y contenido de nitrógeno	36
5.8. Contenido de nitrógeno en grano	39
5.9. Contenido de Grados Brix (%) en granos de maíz	40
5.10. Población de <i>Azospirillum</i> sp. en raíz de planta	42
5.11. Tamaño de mazorca	44
5.12. Análisis económico de presupuesto parcial	45
VI. CONCLUSIONES	47
VII. RECOMENDACIONES	48
VIII. LITERATURA CITADA	49
IX. ANEXOS	54

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1. Especificaciones técnicas del inoculante GRAP NOD.A®	14
2. Composición de la solución de los bioactivadores de microorganismos del suelo.	17
3. Fuentes de nutrientes, dosis y momentos de aplicación según los tratamientos	21
4. Parámetros físicos y químicos de suelo aplicado por laboratorio de suelo y agua de la UNA	23
5. Altura de planta en dos ciclos	29
6. Diámetro del tallo de la planta en dos ciclos	31
7. Números de hojas en dos ciclos	32
8. Altura de inserción de la primera mazorca en dos ciclos	33
9. Peso de la mazorca con y sin brácteas en los dos ciclos de producción	34
10. Longitud y Diámetro de la mazorca en ambos ensayos experimentales	35
11. Materia seca en kg por planta en el ciclo uno y dos	36
12. Valores de la biomasa con poblaciones máximas y mínimas estimadas	37
13. Contenido de nitrógeno (%) en tallos y hojas de maíz en ciclo uno y dos	38
14. Contenido estimado de nitrógeno orgánico aportado por hectárea	39
15. Contenido de nitrógeno en grano (%) en base de muestras de 0.20 gramos	40
16. Grados Brix (%) en granos de Maíz en Estado fresco y cocidos días después de la cosecha (ddc)	41
17. Población de Azospirillum sp. en unidades formadoras de colonias por gramos de muestra (UFC/g)	43
18. Cosecha de mazorcas en estado de elote en diferentes tamaños en el Municipio de San Isidro, Matagalpa, 2023	45
19. Análisis de la relación beneficio costo a partir del presupuesto parcial por cada tratamiento para el segundo ciclo de maíz	46

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Fases y etapas del desarrollo del maíz, tomado de Ciampitti et al. (2016).	9
2. Mapa de ubicación de la huerta donde se llevó a cabo el ensayo.	20
3. Diagrama del muestreo de suelo en el área del ensayo.	23

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS	PÁGINA
1. Plano de campo del diseño experimental (BCA)	54
2. Cotos variables por tratamiento	54
3. Beneficio neto total por tratamiento	55
4. Aplicación de tratamientos, San Isidro, Matagalpa, 2023.	55
5. Productos utilizados en los tratamientos	56
6. Control de maleza y aporque de Maíz, San Isidro, Matagalpa, 2023.	56
7. Mediciones de variables de Crecimiento, San Isidro, Matagalpa, 2023.	56
8. Extracción de muestras de raíces para la determinación de poblaciones de Azospirillum sp, en UFC/g, San Isidro, Matagalpa, 2023.	57
9. Mediciones de variable de calidad de mazorca, San Isidro, Matagalpa, 2023.	57
10. Cosecha.	58
11. Mediciones de peso fresco de tejido de la planta para la estimación de Biomasa, San Isidro, Matagalpa, 2023.	58
12. Mediciones de Grados Brix, en granos de maíz Var. dorado F1, San Isidro, Matagalpa, 2023.	59
13. Resultados de laboratorio del contenido de nitrógeno (%) en tallos y hojas de maíz en el ciclo 1	60
14. Resultados de laboratorio del contenido de nitrógeno (%) en tallos y hojas de maíz en ciclo 2	60
15. Resultados de laboratorio del contenido de nitrógeno en grano (%), Ciclo 1	61
16. Resultados de laboratorio del contenido de nitrógeno en grano (%), Ciclo 2	61
17. Poblaciones de Azospirillum sp, en UFC/g en raíces de plantas en el ciclo 1.	62
18. Poblaciones de Azospirillum sp, en UFC/g en raíces de plantas en el ciclo 2.	63
19. Resultado de Análisis físico-químico de suelo en finca ubicada en el municipio de San Isidro, departamento de Matagalpa, 2023.	64

RESUMEN

La presente investigación fue desarrollada en el Municipio de San Isidro, Matagalpa con el objetivo de comparar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de urea 46 % con o sin adición de *Azospirillum brasilense* y de bioactivadores de microorganismos del suelo en diferentes dosis y momentos de aplicación en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), variedad Dorado F1, en dos ciclos de producción sobre el crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad del grano. Se evaluaron los tratamientos: T1 (Biomax Solum[®], Biomax Magnum[®], H-85[®], GRAP NOD.A[®] (*Azospirillum brasilense*) y se redujo un 15 % de nitrógeno), T2 (Biomax Solum[®], Biomax Magnum[®], H-85[®] y se redujo el 15 % del nitrógeno), T3 (GRAP NOD.A[®] y se redujo el 15 % de nitrógeno), T4 (Testigo se aplicó la dosis de 100 % del nitrógeno utilizado en el manejo convencional de la finca) y T5 (Biomax Solum[®], Biomax Magnum[®], H-85[®], GRAP NOD.A[®] y 100 % de nitrógeno). Se estableció un experimento unifactorial bajo un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) con cuatro bloques con espaciamiento de un metro entre ellos, la parcela experimental fue de 50 m² (10 x 5) m, para un total de 1 075 m², el maíz se sembró a 0.25 metro entre planta y un metro entre surco. Evaluándose las variables altura, diámetro y número de hojas por plantas, altura de inserción de la mazorca, peso de mazorca con y sin brácteas, diámetro y longitud de la mazorca, peso de materia seca, número de mazorcas, grados Brix, contenido de nitrógeno en hoja, tallo y grano y Unidades Formadoras de Colonias de *Azospirillum* sp. los resultados mostraron que el Testigo (T4) superó en altura de planta y de la primera inserción de la mazorca al resto de tratamientos, mientras que los tratamientos con bioactivadores más *A. brasilense* y Urea 46 % destacaron en diámetro y número de hojas por planta. El T5 presentó las poblaciones más altas de *Azospirillum* sp. en raíces de plantas en ambos ciclos. Se observó una ligera reducción en Grados Brix en estado fresco y una disminución mayor durante la cocción. En los tratamientos inoculados de *A. brasilense* y los bioactivadores aumentaron el contenido de nitrógeno en grano, el T2 obtuvo la mayor cantidad de nitrógeno en la materia seca en el primer ciclo y T4 para el segundo, siendo este mismo el que mostró el mayor porcentaje de mazorcas grandes y medianas, y un Beneficio-Costo de 2 264.7 %, destacándose como el mejor manejo de producción.

Palabras clave: Bioactivadores, Biomax Solum[®], Biomax Magnum[®], H-85[®] y GRAP NOD.A[®].

ABSTRACT

This research was developed in the Municipality of San Isidro, Matagalpa with the objective of comparing the effect of applying different doses of 46% urea with or without the addition of *Azospirillum brasilense* and soil microorganism bioactivators at different doses and times of application in the cultivation of corn (*Zea mays* L.), variety Dorado F1, in two production cycles on the growth, development, yield and quality of the grain. The following treatments were evaluated: T1 (Biomax Solum®, Biomax Magnum®, H-85®, GRAP NOD.A® (*Azospirillum brasilense*) and 15% nitrogen reduction), T2 (Biomax Solum®, Biomax Magnum®, H-85® and 15% nitrogen reduction), T3 (GRAP NOD.A® and 15% nitrogen reduction), T4 (Control where 100% of the nitrogen used in conventional management of the farm was applied) and T5 (Biomax Solum®, Biomax Magnum®, H-85®, GRAP NOD.A® and 100% nitrogen). A unifactorial experiment was established under a Randomized Complete Block (BCA) design with four blocks with one meter spacing between them, the experimental plot was 50 m² (10 x 5) m, for a total of 1,075 m², corn was planted at 0.25 meter between plants and one meter between furrows. Evaluating the variables height, diameter and number of leaves per plant, insertion height of the cob, weight of cob with and without bracts, diameter and length of the cob, dry matter weight, number of cobs, Brix degrees, nitrogen content in leaves, stem and grain and Colony Forming Units of *Azospirillum* sp. The results showed that the Witness (T4) surpassed the rest of the treatments in plant height and first insertion of the cob, while the treatments with bioactivators plus *A. brasilense* and Urea 46% stood out in diameter and number of leaves per plant. T5 presented the highest populations of *Azospirillum* sp. in plant roots in both cycles. A slight reduction in Brix Degrees was observed in the fresh state and a greater decrease during cooking. In the treatments inoculated with *A. brasilense* and the bioactivators, the nitrogen content in grain increased, T2 obtained the highest amount of nitrogen in the dry matter in the first cycle and T4 for the second, being this one the one that showed the highest percentage of large and medium cobs, and a Benefit-Cost of 2 264.7%, standing out as the best production management.

Keywords: Bioactivators, Biomax Solum®, Biomax Magnum®, H-85® y GRAP NOD.A®.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento continuo de la población mundial ha dado lugar a una creciente demanda en la producción de alimentos, especialmente en el caso del maíz (*Zea mays* L.) considerado como uno de los tres cereales principales más importante a nivel global en la alimentación. La producción de maíz es una práctica que se ha ejercido por más de 7 000 años de antigüedad y a lo largo del tiempo ha sido afectada por diversos factores lo que ha generado resultados negativos en el ámbito económico como social, tanto a nivel local como mundial por lo que la problemática de los bajos rendimientos en este cereal representa un gran desafío que superar para la agricultura en la tendencia de la revolución verde (Paliwal et al., 2001).

A nivel global en el ciclo agrícola 2022 – 2023 la producción de maíz fue de 1 154.99 millones de toneladas métricas, para el ciclo 2023 – 2024 el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, 2023) evaluó una producción de 1 214.47 millones de toneladas aumentando un 5.15 % con respecto a la producción anterior (Producción Agrícola Mundial, 2023).

La gestión inapropiada de la nutrición por un asesoramiento técnico insuficiente o la falta de nuevas tecnologías nutricionales influyen en la producción de maíz, pudiendo reducir fácilmente los rendimientos por hectárea, según Lafitte (1993), la producción de maíz se puede reducir en un rango del 10 % al 30 % por deficiencia de nutrientes esenciales para el desarrollo óptimo del cultivo, por ende, es crucial optimizar la nutrición vegetal del maíz con base a principios de fertilización agrícola.

En 2018 a nivel global se estimó que la adaptación de fertilizantes nitrogenados sintéticos fue de aproximadamente 20 millones de toneladas (Acción Internacional por los Recursos Genéticos [GRAIN], 2021). La manipulación de grandes cantidades de fertilizantes sintéticos con el propósito de aumentar la productividad del suelo ha generado efectos negativos en los ciclos biogeoquímico lo que ha conllevado a una degradación del suelo, “más del 50 % de Nitrógeno (N) aplicado en los suelos es perdido por diferentes medios (volatilización – lixiviación)”, estos suelen generar daños a largo plazo y de alcance mundial tales como: contaminación de las aguas subterráneas, producción de gases de efecto invernadero, calentamiento global, lluvias ácidas y cambios anormales del pH del suelo (Adesemoye y Kloepper, 2009).

El aumento de la actividad biológica del suelo contribuye en la mejora de la salud de este mismo, mejora el ciclo de los nutrientes obteniendo un impacto positivo con el medio ambiente reduciendo el uso de fertilizantes sintéticos. Los bioactivadores producidos por los microorganismos del suelo son sustancias que estimulan el crecimiento, diversidad y actividad de los microorganismos benéficos presente en la rizosfera de las raíces de las plantas lo que conlleva a un aumento en la producción de los cultivos mediante la modificación de procesos fisiológicos mejorando la eficiencia del uso de los nutrientes y tolerancia al estrés abiótico y biótico (Almeida et al., 2018).

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, se ha considerado que esta investigación tiene la alternativa de mejorar la eficiencia del nitrógeno y reducir el uso de fertilizantes químicos nitrogenados con la incorporación de *Azospirillum brasilense* y el uso de bioactivadores de microorganismo del suelo, es una estrategia para lograr una agricultura sostenible y rentable para pequeños, medianos y grandes productores a nivel nacional.

El presente estudio se demostrará la mejora nutrimental, su dinámica y efecto de estos factores de estudio sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo estudiado y su rentabilidad económica.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto y rentabilidad de la aplicación de nitrógeno en combinación o no con *A. brasilense* y bioactivadores de microorganismos del suelo en la variedad Dorado F1, en dos ciclos de producción de maíz, Matagalpa 2023.

2.2. Objetivos específicos

- Comparar a través de la respuesta agronómica el efecto de la aplicación nitrogenada con y sin la adición de *A. brasilense*, Biomax solum[®], Biomax magnum[®] y H-85[®].
- Estimar la absorción de nitrógeno en el rendimiento de materia seca y granos de maíz en estado lechoso, basado en el análisis del contenido de nitrógeno por tratamiento.
- Valorar las Unidades Formadoras de Colonias de *A. brasilense* en la rizosfera de la planta de maíz variedad Dorado F1, durante dos ciclos continuos de producción.
- Determinar la rentabilidad de la aplicación de nitrógeno con y sin *A. brasilense* y bioactivadores de microorganismos del suelo a través de la relación Beneficio-Costo, como una alternativa tecnológica.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Generalidades del maíz

La planta de maíz pertenece a la familia Poaceae, según estudios, este cereal es nativo de América Latina y su producción se ha ejercido en un 86 % de los países del mundo, lográndose apreciar que posee la capacidad de adaptarse en diversos climas, suelo y altitudes (Paliwal et al., 2001), este mismo autor también menciona que en su fisiología, el proceso de fotosíntesis es del tipo C4 que le confiere una elevada producción de carbohidratos que son de gran importancia en su ciclo de vida.

En Nicaragua participan en la producción de maíz unos 181 000 productores, el 79 % son pequeños y medianos agricultores que contribuyen a la producción total (Instituto Nacional Tecnológico [INATEC], 2018). Los suelos que conforman los departamentos de Jinotega, Matagalpa y Nueva Segovia son los que a lo largo del tiempo han sido mayormente cultivados y representan el 47.1 % del área sembrada a nivel nacional, logrando cosechar un 67 % de la producción de maíz en el país (Castillo y Bird, 2013), en el periodo 2021-2022 se obtuvo una producción aproximada de 372 727 toneladas métricas a nivel nacional (Ministerios de Fomento Industria y Comercio [MIFIC], 2022).

La producción, comercialización y procesamiento de la materia prima del maíz engloba una extensa gama de actividades que demandan significativamente mano de obra, esta demanda de empleo resultante no solo contribuye a incrementar los ingresos en la industria, sino que también ofrece oportunidades sustanciales para la generación de empleo en la sociedad, desempeñando así un papel fundamental en el fomento del desarrollo económico (Agrofy News, 2011). Nicaragua, es uno de los países de Centroamérica que presenta ventaja ante los demás países basada en una baja inversión de costo de producción unitario en el cultivo del maíz (Saín et al., 2002), dicha producción contribuye en un 0.88 % en el Producto Interno Bruto (PIB) (Etcheverría y Barahona, 2018).

La innovación de nuevas herramientas agrícolas como el desarrollo de nuevas variedades por medio del mejoramiento de semillas de maíz a garantizado la seguridad alimentaria y maximizado las producciones por lo que estos avances han sido una de las principales claves en la mejora de la sostenibilidad social, ambiental y económica (Vilsack, 2021).

La producción de maíz tiene diferentes usos desde el consumo humano (alimentos y bebidas), animal (forraje) hasta el uso industrial (producción de biocombustible etanol) que últimamente se ha venido difundiendo rápidamente (Fraguio, 2014). Además de consumirse cosido, asado o crudo, el maíz presenta 10 formas más comunes en las que las personas consumen este cereal, según Agrícola JAMA (2019) son: “Aceite de maíz, harina de maíz, palomitas de maíz, snacks salados, cereal, jarabes de maíz, goma de mascar y caramelos, fécula de maíz, gelatinas y producto dietéticos”

El grano del maíz se caracteriza por ser uno de los cereales con alto valor nutricional con contenidos de “70-87 % carbohidratos, 6-13 % proteínas, 4 % grasas, 2-6 % aceite, 1-3 % azúcar”, valores que lo destacan en ser una de las fuentes de alimento de alta demanda a nivel mundial logrando aportar 365 Kcal de energía por cada 100 g (WIKIFARMER, 2023).

La producción del maíz desempeña un papel crucial en la mitigación del cambio climático al contribuir a la captura de carbono durante la fotosíntesis, la planta absorbe dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera y lo convierten en biomasa orgánica, que actúa como una fuente de carbono cuando se deposita en el suelo, esta capacidad de secuestro de carbono no solo es esencial para la producción de alimentos y otros productos agrícolas, sino que también reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, mejora la sostenibilidad ambiental de la agricultura y contribuye en la conservación del suelo aumentando los contenidos de materia orgánica (Etcheverría y Barahona, 2018).

Las actividades del sector agropecuario son muy importantes, pero el inadecuado desarrollo puede provocar emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O), que se liberan por el uso excesivo de fertilizantes químicos, y estas emisiones plantean desafíos ambientales y acarrear implicaciones económicas y sociales significativas (Sandoval et al., 2003).

3.2. Clasificación taxonómica y morfología

Linneo (1753), describe la taxonomía del maíz como:

Reino: Plantae	Orden: Poales	Género: Zea
División: Magnoliophyta	Familia: Poaceae	Especie: <i>Zea mays</i> L
Clase: Liliopsida	Subfamilia: Panicoideae	Subespecie: <i>Zea mays</i> L.
Subclase: Commelinidae	Tribu: Andropogoneae	ssp, may

La Raíz es el órgano de la planta que se encuentra en el interior el suelo el cual cumple con la función de adsorción de agua y nutrientes de igual manera otorga el anclaje a la planta en el suelo, es fasciculada y está constituida por tres tipos de raíces: Seminales, Permanentes y Nodales (Somarriba, 1998).

El Tallo cumple con la función de servir como medio de transporte de los nutrientes y de sostenimiento a las hojas y fruto de la planta, no posee ramificaciones y está conformado por nudos y entrenudos los cuales se elongan con respecto a su crecimiento que es totalmente vertical pudiendo lograr alcanzar hasta los 4 metros de longitud (Ortas, 2008).

Las Hojas según Somarriba (1998), menciona que el crecimiento de la planta de maíz se caracteriza por la aparición de sus hojas en el nudo del tallo y se envuelven alrededor de este último, la hoja es un órgano de la planta que está conformado por la vaina, la lígula y la lámina, su desarrollo se disponen de forma alterna a lo largo del tallo y pueden variar en número según la variedad (pp. 8–9).

La Inflorescencia Femenina y Masculina se inserta en la base de cada hoja se localiza una yema axilar que al lograr desarrollarse puede generar una rama lateral conocida como pedúnculo con múltiples nudos y entrenudos corto, en cada nudo se origina una hoja (brácteas) las cuales estas envuelven la mazorca como protección, la inflorescencia adopta la forma de una espiga con un raquis cilíndrico y grueso, estas flores poseen un estilo largo que sobresale de las brácteas para facilitar la captura del polen y la fecundación del óvulo dando lugar al desarrollo del fruto, en su etapa tierna esta estructura se llama chilote - elote, mientras que madura se conoce como

mazorca pudiendo variar significativamente sus características físicas en acorde a la variedad (Avila et al., 2014).

Según INATEC (2018) describe como fruto a la mazorca conformada por el conjunto de granos en hileras adherido al eje de la espiga llamado raquis (olote), otras características, mencionada por Somarriba (1998) es que los granos de maíz pueden variar con respecto a su color, figura y dimensiones en acorde a la variedad que se produzca. Ysuspartes.com (2024) describe que los granos se encuentran protegido por las brácteas (tuzas) con la función de proteger las flores femeninas ante agentes externos y el raquis es el que proporciona un soporte estructural evitando que los granos se desprendan.

La aparición de la inflorescencia masculina conocida como panoja, se hace evidente usualmente entre las últimas hojas de la planta aproximadamente una semana antes de que los estilos de la inflorescencia femenina se manifiesten, en el inicio de la liberación del polen alrededor de dos a tres días antes, los nodos superiores del tallo se alargan propulsando el crecimiento de la panoja que alcanza su altura definitiva, esta estructura se compone de un eje central en el cual se desarrolla una espiga en los dos tercios superiores bajo la cual se forman múltiples ramificaciones delgadas que semejan plumas denominadas espigas laterales, tanto la espiga central como las laterales generan estructuras llamadas espiguillas, estas producen dos flores con tres estambres largos y un pistilo (Faiguenbaum y Mouat, 2024).

Otros autores Avila et al. (2014), mencionan que “la inflorescencia masculina libera una gran cantidad de granos de polen para asegurar la fecundación de los óvulos en el cultivo, llegando a producir de 10 hasta 25 millones de granos de polen, hay que recordar que en el caso de maíz existe un gran porcentaje de polinización cruzada lo que hace del maíz una planta típicamente Alógama” (pp. 24).

3.3. Fenología del cultivo

La fenología es la ciencia que se encarga de comprender los diferentes períodos de crecimiento que atraviesan las plantas, desde la germinación hasta su muerte natural, estos procesos están divididos en distintas fases y etapas por lo que es crucial observar y comprender cada una de ellas ya que nos permite organizar calendarios agrícolas y planificar las actividades agrarias de manera efectiva (Probo Chile - Pro. Biológicos, 2022).

3.3.1. Fase vegetativa

La Germinación es el proceso en que la semilla absorbe agua, se hincha e inicia el metabolismo de sus reservas de proteínas generando el desarrollo del eje embrionario. El periodo de esta etapa es altamente correlacionado con la humedad del suelo y profundidad de siembra el cual ocurre entre los 4 y 5 días después de la siembra (Somarriba, 1998).

Ciampitti et al. (2016) describen la fenología del maíz de la siguiente manera (Figura 1).

La Emergencia es la etapa en la cual ocurre el momento en que se aprecia sobre el nivel del terreno los primeros centímetros de desarrollo de la planta, logrando destacar primeramente la exposición de la hoja inicial llamada cotiledonal.

El estadio V1 – posee una sola hoja de punta redonda, lígula visible en su base.

El estadio V2 – Dos hojas presentes, raíces nodales comienzan a emerger y raíces seminales presentan senescencia.

El estadio V4 – Cuatro hojas presentes, raíces nodales adquieren predominio sobre las raíces seminales y son más relevantes en la adsorción de nutrientes y agua.

El estadio V6 – Seis hojas presentes con lígula visible, se inicia la elongación del tallo.

El estadio V10 – Diez hojas presentes se forman las raíces de anclaje.

El estadio V14 – Catorce hojas presentes ocurre dos semanas antes de la floración se muestra una alta sensibilidad al estrés térmico e hídrico.

El estadio VT – aparición de la panojase define el numero potencial de granos por hilera los estigmas pueden emerger o no.

3.3.2. Fase reproductiva

De acuerdo Ciampitti et al. (2016) describe la fenología de la fase reproductiva de la siguiente manera (Figura 1).

El estadio R1 – Da inicio la floración alcanza su máxima altura se aprecia los estigmas fuera de las brácteas hay polinización y puede el ovulo formar el embrión, se inicia el proceso del desarrollo del grano de maíz.

El estadio R2 – Ampolla, los estigmas comienzan a oscurecerse y secarse aproximadamente, los granos se tornan en color blanco, con 85 % de humedad, inicia el proceso de llenado de grano (acumulación de almidón y nutrientes).

El estadio R3 – Grano Lechoso, los granos adquieren un color amarillo y fluido lechoso (acumulación de almidón).

El estadio R4 – Grano Pastoso, el almidón acumulado en los granos adquiere una consistencia pastosa (26 a 30 días después de la floración), granos con 70 % de humedad, comienzan a dentarse en su extremo superior.

El estadio R5 – Grano Dentado, la mayoría muestran dientes en su superficie, contiene 55 % de humedad, el contenido de almidón continúa aumentando.

El estadio R6 – Madurez Fisiológica, se forma una capa negra en la base del grano lo que impide el movimiento de materia seca y nutriente y alcanzan el máximo peso y están fisiológicamente maduros, contenido de humedad de 30-35 %.

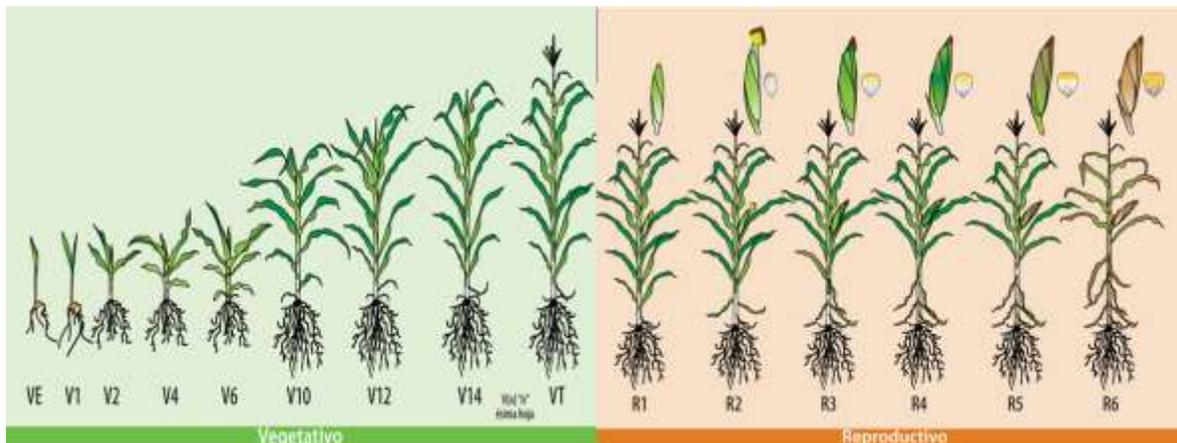


Figura 1. Fases y etapas del desarrollo del maíz, tomado de Ciampitti et al. (2016).

3.4. Requerimientos edafoclimáticos

El cultivo de maíz presenta un buen desarrollo vegetativo en suelo con un potencial de Hidrogeno (pH) ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos (6 – 7.5), altitudes de hasta 1000 metros sobre el nivel del mar (msnm) siendo el rango adecuado entre los 200 msnm y 800 msnm,

la precipitación óptima para el desarrollo de la planta oscila entre 700 mm y 800 mm (INATEC, 2018).

Las temperaturas adecuadas para el crecimiento de la planta promedia en el rango entre 25 a 30 °C (Ortas, 2008). Los suelos que son de textura media (Franco), de buen drenaje, con una alta profundidad activa y una buena capacidad de retención de humedad son los más idóneos para la producción de maíz (Deras, 2012).

3.5. Nutrición y fertilización

Según Mengel y Kirkby (2000) mencionan que la “nutrición vegetal puede definirse como el suministro y absorción de compuesto químicos necesarios para el crecimiento y el metabolismo” óptimo de la planta, durante su ciclo de vida requiere de 16 elemento minerales clasificados en macro y micro nutrientes que en su conjunto representan el 3 % del material constitucional de la planta mientras que el agua en un 70 % y de material orgánico 27 %, este mismo autor explica que los procesos que ocurren dentro de la planta para la transformación de los nutrientes absorbidos ya sea en material orgánico o fuentes de energías se les llaman procesos metabólicos (pp.11-18).

Según Cruz (2023), menciona que el comportamiento de los nutrientes de los cuales absorbe la planta como por ejemplo el Nitrógeno, Fósforo y Potasio, se ha encontrado que el 75 %, 80 % y 20 % de la cantidad absorbida por la planta es exportada a través de la cosecha del grano, mientras que el 25 %, 20 % y el 80 % restantes permanecen en los residuos de la planta. En relación con el Sulfato, Calcio y Magnesio se ha determinado que el 65 %, 15 % y el 10 % se translocan a los granos de la planta por lo que estas cantidades son exportadas a través de los granos, mientras que el 35 %, 85 % y 90 % restantes permanecen el resto de la planta, por lo que pueden ser reincorporado en el suelo para mejorar las propiedades del suelo.

El nitrógeno es el macronutriente más importante debido a que la deficiencia de este elemento genera mayor reducción o limitación en el desarrollo de la planta en comparación a los demás nutrientes (Goswami et al., 2016, p.4). Este elemento es requerido por la planta para la síntesis de la clorofila y como parte de ella está altamente involucrada en el proceso de la fotosíntesis, es un componente de las vitaminas, compuesto energéticos y de igual manera es un componente esencial de los aminoácidos (FERTINOVA[®], 2016).

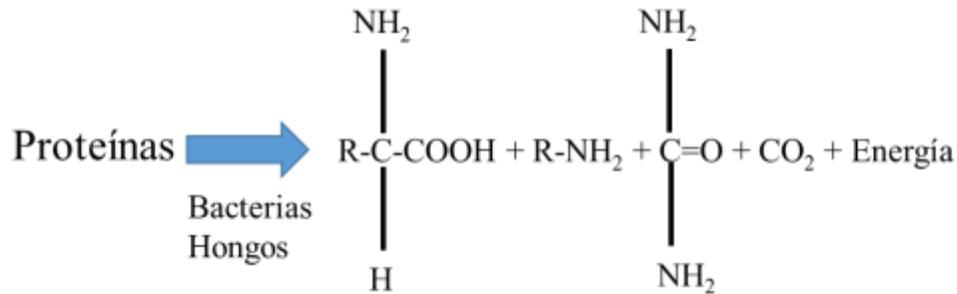
Orchardson (2020) indica que del 100 % de nitrógeno el 78 % se encuentra en la atmósfera de forma gaseosa y Coraspe-León et al, (2009) indican que el nitrógeno es un elemento que las plantas lo absorben en forma de nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+). Entre los fertilizantes químicos granulados, el que se considera una de las fuentes que proporciona mayor concentración de nitrógeno es la Urea con un 46 %, este fertilizante es el resultado de una reacción altamente controlada entre gas amoníaco (NH_3^+) y dióxido de carbono (CO_2) con temperaturas y presiones muy altas, su composición química es $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, cuenta con una solubilidad en agua a temperatura de 20 °C de 1.080 g/l. Cuando la urea entra en contacto con el suelo, una enzima que se encuentra en abundancia en el suelo llamada ureasa, cumple con la función de transformar rápidamente la urea en amoníaco (NH_3^+) en un proceso llamado hidrólisis el cual ocurre pocos días después de la aplicación siempre y cuando el suelo contenga cierto porcentaje de humedad (International Plant Nutrition Institute [IPNI], 2017).

3.6. Proceso de mineralización

Según García (2007), Álvarez y Rimski-Korsakov (2016) y Sánchez (1981) mencionan que este proceso consiste en la transformación del nitrógeno orgánico a inorgánico asimilable para la planta mediante actividades biológicas las que se describen en tres etapas: aminación, amonificación y nitrificación.

La aminación es el proceso en que cierto grupo de microorganismo heterótrofos que poseen la capacidad de secretar enzimas proteasas como las bacterias aeróbicas (“*Bacillus subtilis*, *B. cereus*, *B. mesentericus*, *B. megaterium* y *Pseudomonas* sp.”), anaeróbicas (“*Clostridium putrificum*, *C. sporogenes*, y *C. tetani*.”) y hongos (“*Cephalothecium roseum*, *Trichoderma Ronngi*, *Aspergillus* spp., y *Penicillium* spp.”) (Fassbender y Bornemisza, 1987), son los que se encarga de la proteólisis de las proteínas de la materia orgánica obteniendo el N-amino y fuentes de energía (Carbono) adquirida por estos agentes para su crecimiento, este proceso está altamente influenciado por condición fisicoquímicas del suelo como: pH, humedad, Temperatura y Oxígeno (Mengel y Kirkby, 2000).

En este proceso las proteínas son transformadas a aminas, aminoácidos y urea, procesos que se pueden esquematizar de la siguiente manera (Tisdale et al., 1993, citado por Perdomo y Barbazán, 2013).



En el proceso de amonificación se da la transformación de los aminoácidos, aminas y urea en amonio el cual la planta lo puede absorber, en esta etapa participan nuevamente la serie de microorganismo mencionados anteriormente y se da por los procesos bioquímicos de desaminación, se produce el amonio, más diferentes tipos de ácidos grasos y descarboxilación, se producen las aminas metiladas. El amonio resultante puede seguir diferentes rutas como: “1) absorbido por las plantas; 2) adsorbido por minerales arcillosos o por la materia orgánica; 3) fijados por minerales 2:1 no expandibles; 4) inmovilizados por microorganismo; 5) lixiviado a través del suelo; y 6) oxidados hasta el nivel de nitratos” (Fassbender y Bornemisza, 1987).

De acuerdo con Freitag et al. (2005) citado por Cerón y Aristizabal (2012), indica que la nitrificación es el proceso que implica la oxidación secuencial del amonio (NH_4^+) a nitrito (NO_2^-) es llevada a cabo por bacterias quimioautótrofas oxidantes del amonio (BOA), las cuales se agrupan en tres géneros principales: Nitrosomonas, Nitrospira y Nitrosococcus, después de la conversión del amonio a nitrito en el proceso de nitrificación, continúa la oxidación del nitrito (NO_2^-) a nitrato (NO_3^-) gracias a la acción de bacterias oxidantes de nitrito (BON), las cuales se clasifican en cuatro géneros: Nitrobacter, Nitrospina, Nitrococcus y Nitrospira (pp. 289-290).

Simon, (2002); Zumft, (1997) y Hayatsu et al., (2008), citados por (Cerón y Aristizabal, 2012), describen que la desnitrificación se considera uno de los procesos más cruciales en el ciclo del nitrógeno, ya que conduce a la reintroducción del nitrógeno previamente fijado en la atmósfera mediante procesos de respiración microbiana, este proceso resulta en la reducción desasimilatoria de nitratos y nitritos a óxidos nitrosos (N_2O) y nitrógeno atmosférico (N_2), siguiendo una secuencia que va de la siguiente forma ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$). Existen aproximadamente 50 géneros conocidos de bacterias desnitrificantes que juegan un papel fundamental en este proceso, su actividad es más notable cuando el suelo tiene un bajo contenido de oxígeno, mientras que se inhibe cuando hay un exceso de oxígeno (pp. 289-290).

3.7. Microorganismo

Según Correa (2013) describe que los microorganismos son los componentes más importantes del sistema suelo, “la mayoría de las especies vegetales en los ecosistemas terrestres establecen relaciones más o menos estrechas con microorganismos rizosféricos que les permiten acceder a nutrientes esenciales para su crecimiento” (p.1). Mientras tanto Delgado (2016) explica que las funciones más importantes generadas por los microorganismos en el suelo son: suministro directo de nutrientes, transformación de los compuestos orgánicos a inorgánicos, solubilización de algunos elementos, mejoramiento de las propiedades físicas del suelo, reacciones antagónicas aumentando la supresión del suelo, entre otros (p.1).

Según Albanesi (2013), menciona que otra forma en que algunos microorganismos aportan beneficios a las plantas es a través del proceso de fijación biológica de nitrógeno (FBN) la cual es realizada por un complejo llamado nitrogenasa que forma parte de algunos microorganismos (Bacterias) la cual cumple con la función de fijar el nitrógeno del 78 % que se encuentra en atmosfera y catalizar la conversión del nitrógeno atmosférico (N_2) a amoníaco (NH_3), la nitrogenasa consta de dos subunidades, la primera es la ferro proteína (Fe – proteína) reductasa que se encarga de la fijación y la segunda es la ferromolibdenoproteína (FeMo – proteína) que realiza la función de reducir el (N_2) a forma aprovechable por la planta, proceso que requiere grandes cantidades de energía con un valor de 16 ATP por dinitrógeno fijado (p.319).

Sánchez (1981) explica que la fijación asimbiótica de nitrógeno es un proceso generado por altas poblaciones de algas verdes azules, *Azotobacter* y *Beijerinckia* spp, que se pueden encontrar en diferentes medios: follaje, rizosfera y suelo, en la rizosfera se genera una relación entre las raíces y las bacterias que existen en el suelo las cuales estimulan el desarrollo vegetativo por su mecanismo de fijación de nitrógeno atmosféricos por lo que son denominadas bacterias promotoras del crecimiento vegetal (p. 188).

Zeffa et al. (2019) fundamentan que *Azospirillum* es un género de bacterias libres del que se han descrito 19 especies y puede asociarse con más de 113 especies de plantas de 35 familias botánicas y es uno de los “grupos de bacterias pueden habitar en la rizosfera de la planta, colonización externa o asociación endófitamente, considerada uno de los mejores géneros de bacterias promotoras del crecimiento vegetal” (p.2).

El género de *Azospirillum* favorece a las plantas con las cuales están asociadas contribuyendo en el crecimiento vegetal, efecto que se da por diferentes mecanismos generados por la bacteria los cuales incluyen: Biosíntesis y liberación de aminoácidos, auxina (ácido indolacético), citoquinina y giberelina estimulando el desarrollo de la planta mayormente pronunciado en el sistema radicular lo que conlleva a una mejor adsorción de agua y nutrientes; también se caracteriza por la capacidad de fijar y proporcionar nitrógeno atmosférico (N₂) a la planta asociada a través del proceso de Fijación Biológica de Nitrógeno (BNF) (p.2).

En Nicaragua, se comercializa el producto GRAP NOD.A[®], fabricado por la empresa AGROCETE BRASIL, que contiene el organismo benéfico de *A. brasiliense*, puede estimular el crecimiento de las plantas, fijación biológica de nitrógeno, solubilización de nutriente, producción de medios de transporte de nutrientes, en el cuadro 1 se presentan la especificación técnica del preparado comercial:

Cuadro 1. Especificaciones técnicas del inoculante GRAP NOD.A[®]

Producto comercial	Característica microbiológica			
	Género	Especie	Cepa	Unidades formadoras de Colonia: UFC
GRAP NOD.A [®]	<i>Azospirillum</i>	<i>brasiliense</i>	AbV5	2x10 ⁸ UFC/ml
			AbV6	

Fuente: Agrocete Brasil (2024).

3.8. Fitohormonas reguladoras de crecimiento

3.8.1. Auxinas

Dobbelaere et al. (1999) mencionado por Jordán y Casaretto (2006a) describen que las auxinas son un grupo de hormona vegetal que regula el crecimiento de la planta a través de la división, crecimiento y diferenciación celular. El ácido indol-3-acético es la principal auxina natural en las plantas, los efectos más notables por esta hormona es el crecimiento radicular, aumento del peso seco de la raíz, así como la formación de pelo radicales lo que genera una clara ventaja facilitando la adsorción simultanea de agua y nutrientes necesario para el desarrollo óptimo,

debido a que la bacteria *Azospirillum* produce esta fitohormona mayormente en la rizosfera, es relativamente este órgano el que se ve mayormente beneficiado (Albanesi, 2013, p.336).

3.8.2. Giberelina

Hedden y Phillips (2000) citado por Goswami et al, (2016) plantean que es un grupo de fitohormonas componente de 136 moléculas de estructura diferentes, que benefician a la planta en germinación de semilla, alargamiento de tallo, cuajados de frutos y en la floración (p.9). Mientras que Albanesi (2013) menciona que Bottini *et al.* (1989) fueron los primeros en reportar la producción de giberelina (GA1 y GA3) por *Azospirillum*, este mismo autor describe sobre el estudio de Bashan y de-Bashan (2010) donde relatan que las giberelinas contribuyen en una mejor eficiencia de germinación y en un alto desarrollo en la altura de la planta.

3.8.3. Citoquinina

Según (Wong et al., 2015) citado por (Goswami et al., 2016) describe que las citoquininas están altamente influenciadas en los procesos tales como: “formación de la vasculatura embrionaria, la señalización nutricional, la expansión de las hojas, la ramificación, la producción de clorofila, el crecimiento de las raíces, la promoción de la germinación de las semillas y el retraso de la senescencia” (p.7).

3.8.4. Etileno

Es la única hormona vegetal en forma de gas la cual en cantidades mínimas su efecto es apreciado, este regula la expansión celular en las hojas y de igual manera favorece la germinación de las semillas, su efecto mayormente notorio es en la maduración de los frutos siendo este altamente utilizado para las anticipaciones de cosechas antes de tiempo (Jordán y Casaretto, 2006b, pp.1-4). Sin embargo, los niveles inadecuados de etileno generan: “abscisión de las hojas, senescencia de las hojas, clorosis, marchitez de las flores, etc” (Goswami et al., 2016, p.13).

3.8.5. Aminoácidos

“Intervienen en la regulación endógena y del crecimiento y desarrollo vegetal” de la planta estimulando las funciones fisiológicas, a partir de estos compuestos se originan las proteínas requeridas en el desarrollo de la planta desde la germinación hasta la reproducción, “los

principales aminoácidos para la nutrición de las plantas son la Metionina, Glutamato, Arginina, Alanina, Glicina” (Villanueva, 2020, p.5).

3.8.6. Sideróforos

Estos compuestos se caracterizan por ser de bajo peso molecular y de gran importancia en los suelos donde los contenidos de hierro aprovechables para la planta son bajos, estos compuestos son capaces de quelar el hierro no disponible para la planta (Fe^{+3}) reduciéndolo a una forma aprovechable (Fe^{+2}) logrando que sea soluble y transportándolo hacia la rizosfera a través de la membrana celular, siendo este nutriente aprovechado por la bacteria o la planta (Goswami et al., 2016 p.9). El efecto generado por este compuesto sintetizado por el *Azospirillum* también tiene beneficio indirecto ayudando en la disponibilidad de fósforo, debido a que el hierro (Fe^{+3}) y aluminio (Al^{+3}) son los principales elementos fijadores de fósforo volviendo este no aprovechable para la planta.

3.9. Bioactivadores

Los bioactivadores de microorganismos del suelo son compuestos de sustancias orgánicas derivados de fuentes vegetales, diseñados para estimular y amplificar la actividad biológica del suelo a través de su función principal que es proporcionar nutrientes y sustratos específicos con el fin de potenciar las poblaciones microbianas que contribuyen en la mejora de la salud del suelo a través de diferentes roles, como la descomposición de materia orgánica, la regulación de procesos biogeoquímicos y la mejora de las propiedades físicas del suelo, en esencia, actúan como impulsores biológicos que fortalecen la red microbiana del suelo, contribuyendo así a un entorno más saludable y productivo para el crecimiento de las plantas [Una Célula en el Cosmo (COSMOCEL[®], s.f.)].

Entre las sustancias orgánicas bioactivadoras se encuentran los ácidos húmicos y fúlvicos ambos de origen vegetal, según Fertilab (2018) menciona que los ácidos húmicos, son una amalgama de compuestos con distintos pesos moleculares y propiedades similares, son solubles en agua y representan una importante fuente de carbono. Estos compuestos ofrecen una amplia gama de beneficios para las plantas y el suelo, destacando su capacidad para estimular el crecimiento de microorganismos beneficioso actuando como sustratos e impulsando así la salud y fertilidad del suelo.

El ácido fúlvico, desempeña un papel crucial en la mejora de la actividad biológica en el suelo, este compuesto de baja masa molecular en comparación con el ácido húmico exhibe una notable solubilidad en agua y presenta una variación de color que oscila entre tonos amarillos y marrones, proporciona un porcentaje significativo de carbono, sirviendo como fuente nutricional esencial para los agentes microbianos presentes en el suelo (Artal, 2021).

Según Fertilab (2018) describe que el ácido húmico posee un contenido de carbono de 62 % y el ácido fúlvico un 45 %, este aporte no solo alimenta a los microorganismos beneficiosos, sino que también fomenta y potencia la actividad biológica del suelo (p.2).

3.9.1. Descripción de los bioactivadores de estudio

Según la industria COSMOCEL[®] describe que los Biomax son una nueva línea de bioactivadores de suelo que potencia de manera significativa la disponibilidad de los diferentes nutrientes a través de procesos coordinados e interconectados entre suelo, microorganismo y plantas.

Cuadro 2. Composición de la solución de los bioactivadores de microorganismos del suelo

Componentes	Biomax solum [®] % P/P	Biomax Magnum [®] % P/V	H-85 [®] % P/P
Nitrógeno (N)	8.5	27	
Azufre (S)	18	0.06	
Materia Orgánica	1.2	1.2	
Potasio (K ₂ O)		0.25	
Zinc (Zn)		0.1	
Ácidos Húmicos y Ácidos Fúlvicos derivados de Leonardita; y otros extractos especiales.			85

Fuente: COSMOCEL[®] (2019, 2021).

3.10. Antecedentes del uso de *A. brasilense*

Villa-Castro et al. (2014), expresan que en suelos cultivados por sorgo se aislaron tres cepas de *A. brasilense* en el norte de Tamaulipas, se evaluó el efecto de estas tres cepas en dos híbridos de maíz (Pionner 30P49 y 30F52), las cepas fueron designadas como Patrón 9, IPN-33 y IPN-35, en el estudio se evaluaron seis semillas por cada tratamiento y por repetición sometiénolas a una concentración de bacterias de 1×10^9 (UFC/ml). En los resultados de la evaluación la cepa designada como patrón 9 mostró los mejores resultados donde con respecto al testigo, se presentó una diferencia significativa en la variable de peso seco de raíz y altura de la planta por lo que esto sustenta los beneficios generados por la bacteria siendo el principal el desarrollo radicular de la planta.

En el departamento de Canindeyú, Paraguay, evaluaron diferentes dosis de Nitrógeno (0, 30, 60, 90, 120 y 150 kg de N ha⁻¹) en el cultivo del maíz var. Amylacea, con o sin la aplicación del inoculante *A. brasilense* a dosis de 3 ml por kg de semilla. Según los resultados, el tratamiento con dosis de 150 kg de N ha⁻¹ más *A. brasilense* presento la mejor rentabilidad con 132 %, obteniendo el mayor rendimiento con respecto al demás tratamiento, superando 1.54 veces la producción con respecto al testigo el cual tuvo una rentabilidad del 77 %. Este mismo tratamiento sin *A. brasilense* presento un rendimiento 1.06 superior al de testigo, lo que demuestra que la bacteria *A. brasilense* mejora la eficiencia del uso del nitrógeno (Santacruz, 2017).

En Brasil, Zimmer et al. (2022), reportan un metaanálisis sobre la repuesta del maíz a la inoculación de las cepas Ab-V5 y Ab-V6 de *A. brasilense*, para ello analizaron resultados de 103 ensayos de campos realizados en 54 diferentes sitios; estos autores concluyeron que la inoculación ha estimulado significativamente el desarrollo radicular, lo que es decisivo para incrementar los rendimientos de grano y las concentraciones de N en hojas y granos, en consecuencia, los beneficios de la inoculación no se han restringido a efectos cuantitativos, ya que también han aumentado el valor nutricional del maíz.

Otro estudio en Brasil valoró el efecto de la *A. brasilense* (cepa Ab-V5) sobre la promoción del crecimiento y la eficiencia en el uso del nitrógeno de genotipos de maíz, demostrándose que la inoculación con *A. brasilense* presentaron mejoras en los rasgos químicos, mayor crecimiento de la planta, mejor desarrollo radicular, aumento de eficiencia de uso de nitrógeno (NUE) en

condiciones limitadas de N y aumento de la biomasa vegetal. Estos efectos se deben a que el organismo proporciona la fitohormona Ácido Indol Acético (AIA), la cual se encontró a altas concentraciones (Zeffa et al., 2019).

Fuentes et al., (2023) reporta resultados del estudio de niveles de fertilización nitrogenada con *A. brasilense* en el cultivo de maíz tierno (híbrido IAC 125), obteniendo respuestas positivas en el índice de área foliar y el rendimiento de espiguillas (elote tierno) comerciales. Mientras tanto, el contenido de nitrógeno en la hoja y las propiedades químicas de las espiguillas no se vieron afectados por la inoculación, mientras que la fertilización nitrogenada tuvo efectos positivos en todas las variables, excepto en el contenido de azúcares totales.

En la actividad agrícola, *A. brasilense* ha experimentado un aumento significativo en formulaciones comerciales con alrededor de 20 millones de dosis anuales en cultivos extensivos en Latino América posicionándose como el segundo microorganismo más utilizado en la región, demostrado una frecuencia de éxito del 75-80 %, impactando en la eficiencia del uso de nutrientes y generando ahorros en fertilizantes, especialmente en maíz, trigo y soja. Las formulaciones más comunes se centran en el tratamiento de semillas, aunque también se exploran aplicaciones foliares. Investigaciones agronómicas han permitido estudiar su supervivencia y optimizar formulaciones, pero a pesar de la aparición de nuevas especies, *A. brasilense* sigue siendo la base del 100 % de los productos hasta el 2020 (Biologicals Latam, 2022).

En el año 2023 se establecieron dos ensayos experimentales, se usó la variedad de maíz Dorado F1, el primero, en el ciclo de producción de primera a partir de la segunda semana del mes de junio, el segundo en la época de postrera a partir de la segunda semana del mes de septiembre, la cosecha de maíz tierno se realizó aproximadamente 65 días después de la germinación (ddg).

Se utilizó un arreglo unifactorial bajo un diseño de bloque completamente al azar (BCA), con cinco tratamientos y de cuatro repeticiones se conformando un total de 20 unidades experimentales (UE), cada UE tenía un área de 50 m² conformada por cinco surcos de 10 metro de longitud con un espaciamiento entre planta de 0.25 m y un metro entre surco. El área total del experimento fue de 1 075 m², considerándose un metro entre bloque. Se definieron los tres surcos centrales como parcela útil donde se realizaron mediciones de las variables agronómicas.

La descripción de cada tratamiento se explica en el cuadro 3 donde se establecen las dosis, productos y momentos de su aplicación. En el primer ciclo productivo fueron aplicados todos los productos según el tratamiento, mientras que en el segundo ciclo no se aplicó *A. brasilense* para estudiar el efecto residual; la decisión de no aplicar GRAP NOD.A[®] en la época de postrera se basó en la expectativa de que este microorganismo persistiera en el suelo, permitiendo así que las poblaciones se mantuvieran viables.

En el caso de nitrógeno en particular el tratamiento testigo T4 y T5 consistió en el plan de fertilización convencional de la finca, que responde a la dosis de 142 kg de N ha⁻¹ (equivalente a 4.8 qq de urea por mz), en el resto de los tratamientos se aplicó una dosis en un 15 % menos.

Cuadro 3. Fuentes de nutrientes, dosis y momentos de aplicación según los tratamientos

Tratamiento	Producto	Dosis	Unidad de medida	Días después de la germinación (ddg)				
				7	11	12	20	34
T1	Urea 46 %	264	kg/ha		88		88	88
	Biomax Solum [®]	5.7	l/ha	5.7				
	Biomax Magnum [®]	9.1	l/ha	4.6		4.6		
	GRAP NOD.A [®]	284.7	cc/ha	284.7				
	H-85 [®]	2.3	kg/ha	2.3				
T2	Urea 46 %	264	kg/ha		88		88	88
	Biomax Solum [®]	5.7	l/ha	5.7				

	Biomax Magnum®	11.4	l/ha	5.7	5.7	
	H-85®	3.4	kg/ha	1.7	1.7	
T3	Urea 46 %	264	kg/ha		88	88 88
	GRAP NOD.A®	284.7	cc/ha	284.7		
T4 (Testigo)	Urea 46 %	310.5	kg/ha		104	104 104
	Urea 46 %	310.5	kg/ha		104	104 104
T5	Biomax Solum®	5.7	l/ha	5.7		
	Biomax Magnum®	5.7	l/ha	5.7		
	GRAP NOD.A®	284.7	cc/ha	284.7		
	H-85®	2.3	kg/ha	2.3		

4.3. Manejo del ensayo y metodología

4.3.1. Manejo agronómico

El Maíz Dulce Dorado F1 es un híbrido de alto vigor, con alturas promedio de dos metros que produce mazorca de alta calidad de color amarillo intenso, con una uniformidad en el llenado de grano. La longitud de la mazorca sin brácteas oscila de 20 a 22 cm mostrando un alto potencial en el rendimiento. Presenta resistencia intermedia contra el *Exserohilum turcicum*, mancha del asfalto y roya. El tiempo de germinación de la semilla es de cinco días y su tiempo de cosecha es aproximadamente a los 85 días ddg en su total madurez fisiológica y aproximadamente a los 65 días en estado fresco o tierno (Agroshow, 2024).

4.3.2. Primer ensayo experimental

Para la preparación del área de siembra se realizó primeramente la limpieza de maleza del terreno con una aplicación de glifosato en una dosis de 2 l mz^{-1} , posteriormente se aplicaron dos pases de romplona y la siembra a espeque. Para el manejo de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) se utilizó el Lavakill realizando tres aplicaciones en una dosis de 300 cc mz^{-1} (20, 35 y 60 ddg), para el control del gusano alambre y gallina ciega se utilizó previo a la siembra el insecticida Lorsban en una dosis de 1 l mz^{-1} y para el manejo de diferentes enfermedades como la mancha de asfalto entre otras se realizó una sola aplicación de Amistar Xtra a dosis de 350 cc mz^{-1} (55 ddg).

Con respecto a la nutrición de la planta se aplicó Fertigro® en una dosis de 5 l mz^{-1} + Rootex® a dosis de 1 kg mz^{-1} aplicado a través de fertirriego a los 12 ddg, Trazex zinc® a dosis de ½ kg

mz⁻¹ + Maxikare® en una dosis de ½ litro a los 21 ddg, Agro K® en una dosis de 1 kg mz⁻¹ + Trazex-Boro® a dosis de 250 g mz⁻¹ disuelto en un volumen de agua de 200 l a los 65 ddg y completo 12-30-10 en una dosis de 2 qq mz⁻¹, en una sola aplicación 11 ddg.

Las aplicaciones granuladas (Urea + completo) se realizaron en banda y las líquidas se asperjaron utilizando una bomba mochila. El aporque se realizó a los 11 ddg.

4.3.3. Segundo ensayo experimental

Se realizó en la misma área del primer ensayo, se manejaron los mismos tratamientos, el manejo agronómico del cultivo siguió la misma estrategia en términos de nutrición y protección que en el primer ensayo experimental, sin embargo, en este ciclo no se realizó la preparación del terreno, solamente se hizo limpieza y siembra directa al espeque.

4.3.4. Muestreo de suelo

Antes de establecer el ensayo experimental de campo, se realizó un muestreo de suelo siguiendo una trayectoria en zig-zag (Figura 3), en cada punto se extrajo una submuestra a 30 cm de profundidad de las nueve submuestras se mezclaron uniformemente para obtener una muestra compuesta de suelo de 1 kg, esta se colocó en una bolsa de polietileno debidamente etiquetada, la que fue enviada para su análisis físico-químico (cuadro 4) al Laboratorio de suelo y agua [LABSA] ubicado en la Universidad Nacional Agraria [UNA].

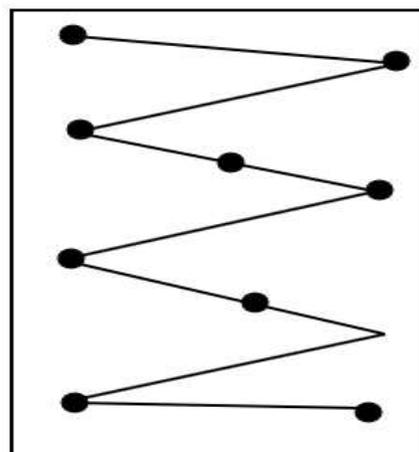


Figura 3. Diagrama del muestreo de suelo en el área del ensayo.

Cuadro 4. Parámetros físicos y químicos de suelo aplicado por laboratorio de suelo y agua de la UNA

Propiedades	Indicador de evaluación	Método de análisis
Química	Potencial de hidrogeno (pH H ₂ O)	GLOSOLAN-SOP-06
	Materia orgánica (MO)	GLOSOLAN-SOP-02
	Conductividad eléctrica (CE)	GLOSOLAN-SOP-07
	Fósforo disponible (P)	GLOSOLAN-SOP-10
	Calcio disponible (Ca ⁺²)	KSSL-4B1a1b (Modificado)
	Magnesio disponible (Mg ⁺²)	KSSL-4B1a1b (Modificado)

	Potasio disponible (K ⁺)	KSSL-4B1a1b (Modificado)
	Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	KSSL-4B1a
	Microelementos (Fe, Zn, Cu, Mn)	MELICH 1
Física	Textura: % de arena, de limo y de arena	Método de Bouyoucos

4.4. Datos evaluados

4.4.1. Altura de la planta (cm): Se midió con una cinta métrica desde la base de las plantas hasta la última lígula superior desarrollada. Fue realizado en el primer ciclo a los 19, 33 y 47 ddg, mientras que en el segundo ciclo a los 22, 35 y 50 ddg.

4.4.2. Diámetro del tallo (cm): Se midió el diámetro del tallo a 5 cm desde la base de la planta mediante un vernier. En el primer ciclo productivo, se midieron a los 19, 33 y 47 ddg, En el segundo ciclo se efectuaron a los 22, 35 y 50 ddg.

4.4.3. Numero de hojas: Se contabilizo el número de hojas con lígula completamente formadas, en 10 plantas por repetición. En el primer ciclo se registró a los 19, 33 y 47 ddg. En el segundo ciclo se realizó a los 22, 35 y 50 ddg.

4.4.4. Altura de la primera mazorca (cm): La altura de la primera inserción se determinó desde el nivel de la superficie hasta la base de la espiga mediante el uso de una cinta métrica. En el primer ciclo, se determinó a los 47 ddg, mientras que, en el segundo ciclo se realizó a los 50 ddg.

4.4.5. Biomasa seca de maíz (kg): En el primer ciclo de producción se seleccionaron al azar cinco plantas completas por tratamiento y repetición y se registraron los pesos frescos en kilogramos. Para el peso seco, se procedió a extraer muestras de 200 a 300 gramos de tallo y también de hojas, las que fueron empacadas en bolsas Kraff, trasladada al laboratorio de Fisiología Vegetal-UNA y sometidas a un proceso de deshidratación en un horno de aire forzados marca Selecta, con una temperatura de 65 °C hasta obtener un peso constate, con los datos obtenidos se realizó el cálculo de la biomasa seca en kilogramos por hectárea, se llevó a cabo a los 65 ddg.

Para el segundo ensayo experimental se seleccionaron al azar 10 plantas por tratamiento y repetición, se siguió la misma metodología descrita anteriormente.

4.4.6. Peso fresco por mazorca con el raquis y brácteas (g): Se utilizó una balanza electrónica digital marca Scout-Pro Sp60001, con capacidad máxima de 6 000 gramos y precisión de 1 g. En el primer ciclo se seleccionó al azar 10 mazorca, en el segundo ciclo, cinco mazorcas, se llevó a cabo a los 65 días después de la germinación.

4.4.7. Peso fresco por mazorca con el raquis y sin brácteas (g): Para determinar el peso fresco de la mazorca recién cosechada, se procedió a eliminar sus brácteas, utilizando la misma balanza electrónica digital marca Scout-Pro Sp60001. En el primer ciclo se utilizaron cinco mazorcas y para el segundo ciclo se utilizó 10 mazorcas, se realizó a los 65 ddg.

4.4.8. Longitud de la mazorca sin brácteas (cm): Mediante el empleo de una cinta métrica, se procedió a medir la longitud de la mazorca, excluyendo el pedúnculo, desde la base del raquis hasta su ápice. En el primer ciclo se utilizaron cinco mazorcas y en el segundo ciclo se tomaron 10 mazorcas, se llevó a cabo a los 65 días después de la germinación.

4.4.9. Diámetro de la mazorca sin brácteas (cm): La medición del diámetro de la mazorca se realizó con el uso de un vernier, en la parte central de la mazorca a los 65 días después de la germinación.

4.4.10. Unidades formadoras de colonias por (UFC/g suelo): En cada uno de los tratamientos, se realizó un muestreo destructivo seleccionando aleatoriamente 4 plantas utilizando una cinta métrica se delimitó un área de 600 cm² en un costado de la planta seleccionada, se procedió a la excavación con una coba, mediante el uso de un cuchillo se desenterró con precaución las raíces seleccionadas, en ambos ciclos se extrajo una raíz con una longitud superior a los 20 cm y un peso de aproximadamente 50 gramos por tratamientos, las muestras se colocaron en bolsas de plástico debidamente etiquetadas y se almacenaron en un termo con hielo para preservar su estado, las muestras fueron ingresadas al día siguiente al laboratorio de Microbiología-UNA. La recolección de las muestras en ambos ciclos se llevó a cabo entre los días 55 y 60 después de la germinación.

El procedimiento de aislamiento de la bacteria se realizó mediante la técnica de siembra en placas por extensión en superficie en medio Rojo Congo (RC) adaptado este proceso para tejido vegetal de la Red de Control de Calidad de Inoculantes [REDCAI la REDCAI Nro 2] 2010.

4.4.11. Grados Brix en el grano (°Bx): En el Laboratorio de Fisiología Vegetal-UNA se llevaron las muestras de mazorca un día después de la cosecha para determinar la concentración de azúcar a través del porcentaje de los grados Brix (°Brix), se procedió a dividirla en tres partes tomando en el extremo basal. Se utilizó un refractómetro portable con una escala de medición 0-30 % °Bx, se procedió conforme a las instrucciones:

Calibración: Se colocó una gota de agua destilada sobre el prisma del refractómetro y se ajustó con el tornillo de graduación hasta obtener un resultado de 0 % p/p en la línea indicadora. Este procedimiento se realizó al momento de determinar los grados Brix en grano fresco y grano cocido.

Muestra grano fresco: se extrajeron aleatoriamente 15 granos en estado fresco y con el uso de un mortero se trituraron, con un colador se extrajo el líquido de la muestra. De esta, se tomaron dos gotas y se colocaron en el prisma del refractómetro y se procedió a la lectura a temperatura ambiente para la corrección de °Bx, según la temperatura ambiente de trabajo de la muestra para su corrección se utilizó la tabla International Sugar Jouman 39, 245 (1937), proceso que se realizó en todas las muestras por cada tratamiento.

Muestra grano cocido: Nuevamente se extrajeron aleatoriamente 15 granos fresco, los que se depositaron en un beaker de capacidad de 250 ml para el proceso de cocción en una estufa eléctrica, en el que se le agregó 100 ml de agua por cada una de las muestras hasta que llegaron al punto de ebullición. Para la lectura de °Bx se realizó el mismo procedimiento realizado en la muestra de grano fresco.

4.4.12. Contenido de nitrógeno en grano y tejido vegetal: Para la determinación del contenido de nitrógeno en las muestras secas de tejidos vegetales (tallo - hoja) de maíz, fueron enviadas al laboratorio de agua y suelo LABSA-UNA.

4.4.13. Tamaño de mazorca: Se seleccionaron una mazorca grande y una mediana representativas por parcela, con el objetivo de categorizar el resto de las mazorcas cosechadas. Esta clasificación permitió estandarizar las mediciones y facilitar el cálculo del rendimiento total por tratamiento.

4.5. Análisis de datos

Los datos de las variables agronómicas que se evaluaron fueron sometido a un procesamiento de datos estadístico con el programa de RStudio, se realizó un análisis individual de cada experimento, generando un análisis de varianza (ANDEVA) y separación de medias a través de la prueba de rango múltiples de TUKEY (α 0.05) para cada una de las variables agronómica de interés.

Modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde,

Y_{ij} = Es el dato correspondiente a las medidas de las diferentes variables agronómicas. Es decir, representa a la j-esima observación de cada una de las variables registrada del i-esimo tratamiento evaluado.

$i = 1, 2, 3, \dots, T = 5 \rightarrow$ tratamientos.

$j = 1, 2, 3, \dots, r = 4 \rightarrow$ bloque.

μ = Media poblacional para cada una de las variables.

τ_i = Efecto del i-esimo tratamiento por cada una de las variables.

β_j = Efecto debido al j-isemo bloque.

ε_{ij} = Efecto aleatorio de variación generado en el experimento.

4.6. Manejo de factores no sujetos a evaluación

A diferencia del primer ciclo de producción, en el segundo ciclo, establecido durante la temporada lluviosa, todas las plantas de los tratamientos experimentaron afectaciones debido a la enfermedad de la mancha de asfalto. Las precipitaciones en este periodo incrementaron la incidencia de hongos responsables de dicha patología, lo cual impactó negativamente en el desarrollo del cultivo y en los valores de varias variables evaluadas, obteniendo resultados inferiores a diferencia del primer ciclo de producción donde no se registraron incidencias de la mancha de asfalto.

Además, las diferencias en los valores obtenidos entre ciclos pueden atribuirse de manera de suposición y no concluyente, tanto a la incidencia de la enfermedad como a variaciones en el manejo de la preparación de suelo y el control de malezas. En el primer ciclo, se realizó una preparación de suelo, mientras que en el segundo ciclo únicamente se empleó siembra directa sobre los mismos surcos del primer ciclo, sin intervención adicional de labranza. En el segundo ciclo también se aplicó herbicida para la limpieza del terreno, práctica que no fue necesario en el primer ciclo, las condiciones climáticas distintas entre ciclos también pudieron influir en estos resultados de dichas variables.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Altura de la planta (cm)

Morán y Perezardon (2000), mencionan que la altura de la planta es un indicador clave de su velocidad de crecimiento, determinada por la elongación del tallo que acumula los nutrientes producidos durante la fotosíntesis, estos nutrientes se transfieren al fruto, las plantas más altas suelen tener un mejor desarrollo en el campo, pero es importante mantener un equilibrio entre la altura y el diámetro de la parte aérea. Las concentraciones de nutrientes minerales y azúcares de reserva son los factores fisiológicos más importantes que influyen en el desarrollo de las plantas (Citado por Martínez, 2015).

Según las separaciones de medias por Tukey con un 95 % de confianza, se observó que, en ambos ensayos experimentales el testigo (T4) exhibió una altura significativamente mayor en comparación con los demás tratamientos (cuadro 5). En el primer ensayo experimental a los 47 (ddg), el testigo T4 destacó con una altura promedio de 188.12 cm, seguido por los tratamientos T5 y T2 con 184.27 y 183.07 cm respectivamente, en el segundo ensayo experimental a los 50 ddg, el T4 mantuvo la mayor altura con un valor de 193.82 cm.

Cuadro 5. Altura de planta en dos ciclos

Tratamiento	Ciclo 1			Ciclo 2		
	19 (ddg)	33 (ddg)	47 (ddg)	22 (ddg)	35 (ddg)	50 (ddg)
T1	21.75 (a)	48.57 (b)	174.27 (c)	18.03 (b)	37.91 (ab)	178.78 (b)
T2	20.72 (b)	48.75 (b)	183.07 (ab)	17.88 (b)	38.13 (ab)	178.12 (b)
T3	22.15 (a)	52.09 (a)	177.15 (bc)	18.08 (b)	36.63 (b)	179.56 (b)
T4 (Testigo)	22.45 (a)	54.10 (a)	188.12 (a)	19.31 (a)	41.01 (a)	193.82 (a)
T5	22.03 (a)	51.06 (ab)	184.27 (a)	18.32 (ab)	36.37 (b)	175.60 (b)
Prueb > F	0.000884	0.00488	0.000418	0.05245	0.0283	0.00906
CV %	8.69	14.74	8.43	12.85	18.39	13.27

Nota: Medias con letras iguales son igual estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05$)

La respuesta del tratamiento T4 aplicándose nitrógeno a los 34 ddg puede ser un factor crítico en el desarrollo vertical de las plantas debido a la alta tasa de crecimiento observada después de este período que indica una mayor demanda de este nutriente al cual hay que satisfacer con la aplicación de 142 kg de N ha⁻¹ siendo más efectiva que en los tratamientos (T1, T2 y T3) con una dosis menor de 121 kg de N/ha⁻¹.

Este estudio coincide con el realizado por Martínez (2015), donde se observó una tendencia significativa hacia una mayor altura en las plantas sometidas a fertilización química (160-46-30) sin la adición de *A. brasilense* con una diferencia en altura de 25 cm con respecto a los tratamientos que recibieron fertilización química combinada con la bacteria.

5.2. Diámetro del tallo de la planta (mm)

Blessing y Hernández (2009), detallan que el diámetro del tallo es un factor crucial que considerar en las plantaciones de maíz debido a su impacto en la resistencia de las plantas ante condiciones climáticas adversas, un mayor diámetro del tallo proporciona una mayor fortaleza estructural, lo que reduce el riesgo de que los tallos se doblen o quiebren bajo la presión del viento (Citado por Aguirre y Vargas, 2018).

En ambos ciclos se observó un período de estabilidad en el desarrollo del diámetro del tallo de las plantas a partir de los 33 ddg (cuadro 6).

De acuerdo con el análisis de medias mediante Tukey con un nivel de confianza del 95 % a la variable diámetro del tallo, en el primer ciclo, se destacó el tratamiento T5 con un valor significativo de 25.8 mm, seguido por el tratamiento T4 cuyo valor alcanzó los 25.2 mm a los 47 ddg. Este patrón se repitió en el segundo ensayo experimental, donde nuevamente el tratamiento T5 exhibió el mayor diámetro de tallo, registrando 22.71 mm, seguido por los tratamientos T4 y T1 con valores de 22.25 mm y 22.18 mm respectivamente a los 50 ddg (cuadro 6).

Los resultados muestran que a dosis ligeramente diferentes de Bioactivadores y la adición de *A. brasilense* según tratamientos T1, T2, T3 y T5, no se observó un impacto específico en el crecimiento del diámetro del tallo de la planta, por lo que de acuerdo a los datos se determinó que las dosis mayores de nitrógeno desempeñaron un papel crucial en el mayor desarrollo del tallo como se evidencia en la tendencia hacia mayores diámetros del tallo en los tratamientos con dosis más altas de nitrógeno.

Cuadro 6. Diámetro del tallo de la planta en dos ciclos

Tratamiento	Ciclo 1			Ciclo 2		
	19 (ddg)	33 (ddg)	47 (ddg)	22 (ddg)	35 (ddg)	50 (ddg)
T1	12.08 (b)	23.30 (bc)	23.97 (b)	10.22 (b)	21.75 (bc)	22.18 (ab)
T2	12.12 (b)	23.37 (bc)	23.65 (b)	10.07 (b)	21.85 (abc)	21.87 (bc)
T3	12.45 (ab)	23.90 (c)	23.07 (b)	10.02 (b)	20.95 (c)	21.13 (c)
T4	13.08 (a)	24.25 (ab)	25.20 (a)	11.35 (a)	22.37 (ab)	22.25 (ab)
T5	13.30 (a)	24.95 (a)	25.80 (a)	10.37 (b)	22.87 (a)	22.71 (a)
Prueb > F	0.0159	0.000395	2.93E-06	0.00117	0.00772	0.00587
CV %	15.75	9.67	10.1	15.17	10.99	8.3

Nota: Medias con letras iguales son igual estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05$).

Santacruz (2017) condujo una investigación donde encontró que la aplicación o no de *A. brasilense* no presentó diferencias significativas en la variable diámetro del tallo, similar respuesta tuvo en diferentes dosis de nitrógeno y en su interacción.

5.3. Número de hojas por plantas

Las hojas son estructuras verdes que emergen de los tallos de las plantas, cumpliendo dos funciones esenciales para su supervivencia, la fotosíntesis, un proceso mediante el cual las plantas utilizan la luz solar para convertir el dióxido de carbono y el agua en glucosa y oxígeno, y la transpiración, que consiste en la pérdida de agua a través de pequeños poros en la superficie de las hojas, ayudando a regular la temperatura de la planta y mantener su equilibrio hídrico. Estas funciones son fundamentales para el crecimiento y la salud de las plantas, permitiéndoles adaptarse y prosperar en su entorno (Somarriba, 1998).

El análisis de varianza y separación de medias aplicadas a la variable número de hojas en el primer ciclo a los 47 ddg y en el segundo ciclo a los 50 ddg no se encontraron diferencias significativas por lo que los valores fueron similares (cuadro 7).

En ambos ciclos de producción, se identificó un período en el que el número de hojas aumentó significativamente, correlacionándose con el desarrollo en la altura de la planta a partir de los 33 y 35 ddg (Cuadro 6).

Cuadro 7. Números de hojas por planta en los dos ciclos

Tratamiento	Ciclo 1			Ciclo 2		
	19 (ddg)	33 (ddg)	47 (ddg)	22 (ddg)	35 (ddg)	50 (ddg)
T1	4.07	4.70 (a)	14.35	3.90 (a)	4.23	13.37
T2	3.95	4.27 (b)	13.92	3.37 (b)	4.40	13.15
T3	4.00	4.85 (a)	14.12	3.97 (a)	4.43	12.97
T4	4.02	4.82 (a)	14.35	4.00 (a)	4.65	13.25
T5	4.02	4.70 (a)	14.52	3.75 (a)	4.40	12.97
Prueb > F	0.958267	0.0275	0.125	0.000859	0.475	0.269
CV %	17.88	18.75	7.64	19.28	22.63	7.21

Nota: Medias con letras iguales son igual estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05$).

5.4. Altura de inserción a la primera mazorca

La altura de inserción de la mazorca es una variable de importancia para la cosecha mecanizada del maíz, ya que facilita este proceso, además, esta característica agronómica no solo ayuda en la cosecha, sino que también influye en el rendimiento del cultivo (Baca, 1989).

Al realizar el análisis de varianza, se determina que en el primer ciclo productivo las plantas no se presentaron diferencias significativas con respecto a la altura de inserción de la primera mazorca, se observó una notable consistencia en los valores entre 88.35 y 82.92 cm. En el segundo ciclo, se obtuvo diferencias significativas (0.00662), siendo el T4 superior al resto de los tratamientos con una altura de inserción de la primera mazorca de 93.02 cm, mientras el resto de los tratamientos se ubicaron en segundo lugar, en el cual entre ellos no se presentó diferencias estadísticas (cuadro 8).

Estos resultados se asemejan con los valores obtenidos en un estudio realizado en Brasil donde evaluaron los factores de nitrógeno y *A. brasilense* combinación o no sobre el impacto en la altura de la inserción de la mazorca, en los datos se apreció que no hubo diferencias significativa entre los diferentes tratamientos evaluados, sin embargo el tratamiento en el cual se manejó una fertilización química de 30 kg/ha de nitrógeno los valores numéricos fueron superiores a los demás tratamiento (De Oliveira et al, 2015).

Cuadro 8. Altura de inserción de la primera mazorca en dos ciclos

Tratamiento	Altura Primera inserción (cm)	
	Ciclo 1	Ciclo 2
T1	82.92	83.54 (b)
T2	83.52	82.12 (b)
T3	84.77	85.18 (b)
T4	88.35	93.02 (a)
T5	85.47	80.54 (b)
Prueb > F	0.289	0.00662
CV %	14.07	18.33

Nota: Medias con letras iguales son igual estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05$).

5.5. Peso de la mazorca con brácteas y sin brácteas

Según, Peña (2011) menciona que el peso de las mazorcas con brácteas es un parámetro importante para los productores, una mayor cantidad de brácteas les ayuda a conservar el maíz durante condiciones ambientales adversas, asegurando que las mazorcas no sufran daños externos durante su ciclo de producción (Citado por Martínez, 2015).

El peso directo de las mazorcas sin brácteas es un indicador importante para los agricultores, permitiendo determinar la calidad y rendimiento de sus cultivos (Martínez 2015).

Los resultados presentados en el cuadro 9 revela que no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos en ambos ciclos de cultivo en lo que respecta al peso de las mazorcas con brácteas y sin brácteas. En ambos ciclos de producción, los valores de peso se mantuvieron consistentes, sin embargo, se destaca una diferencia notable por tratamiento, específicamente en el primer ciclo los valores de peso de cada tratamiento fueron mayores a los del segundo ciclo para estas variables, lo que significa que el peso de las mazorcas con brácteas tuvo una reducción entre 16.98 % a 26.76 %, mientras que las mazorcas sin brácteas se redujo su peso entre un 14.48 % a 21.41 %.

Cuadro 9. Peso de la mazorca con y sin brácteas en los dos ciclos de producción

Tratamiento	Peso de la mazorca con brácteas (g)		Peso de la mazorca sin brácteas (g)	
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 1	Ciclo 2
T1	460.9	377.51	303.35	252.64
T2	488.4	393.21	316.75	270.86
T3	445.4	369.76	304.3	251.6
T4	474.95	384.14	313.8	264.1
T5	481.5	369.72	316.25	248.54
Prueb > F	0.0751	0.609	0.5324	0.284
CV %	11.027	20.16	10.58	19.13

Nota: Medias con letras iguales son igual estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05$).

Este comportamiento mostrado en el peso de mazorcas con brácteas y sin brácteas, sus diferencias mostradas entre ciclos, se deben probablemente a la incidencia de la enfermedad de la mancha de asfalto la cual es producida por la interacción de tres hongos (*Phyllachora maydis*, *Monographella maydis* y *Coniothyrium phyllachorae*) que afecta principalmente las hojas, reduciendo su capacidad fotosintética y por ende la producción de carbohidratos esenciales para el desarrollo del fruto del maíz, pudiendo llegar a reducir el rendimiento en un 50 % resultado debido a que los granos no completan su desarrollo resultando un menor peso de las mazorcas (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura INTAGRI, s.f).

En un estudio realizado por Martínez en el 2015 quien evaluó la biofertilización sobre la productividad en maíz, no encontró diferencias significativas entre los tratamientos, mostrando medias de peso de mazorcas con brácteas de 522 a 625 g y mazorcas sin brácteas que presentaron medias de entre 420 a 550 g. En el mismo estudio reporta que la dosis de 160 kg de nitrógeno, 46 kg de fosforo y 30 kg de Potasio y la adición de *A. brasilense* incidieron en el peso de la mazorca las cuales presentaron una media de 610 g, mientras que 550 g fue el peso promedio de la mazorca sin brácteas, en contraste el tratamiento de solo la fertilización química que presentó valores de 567 g para mazorcas con brácteas y 537 g sin brácteas. Los resultados antes mencionados coinciden con los obtenidos en el presente estudio.

5.6. Longitud y diámetro de la mazorca sin brácteas

La longitud de la mazorca es una de la característica de gran importancia que condiciona la calidad de la producción, influyendo con la cantidad de granos por hileras por lo que esta variable está estrechamente correlacionada con el rendimiento (Endicott et al., 2023).

El diámetro de la mazorca está determinado por una combinación de factores genéticos y ambientales, como la calidad del suelo, la nutrición y el entorno, este tamaño no solo es importante por sí mismo, sino que también se utiliza como indicador del rendimiento de la planta, ya que está estrechamente vinculado con su longitud (Saldaña y Calero, 1991).

Los resultados del análisis de varianza demuestran que en las variables longitud y diámetro de la mazorca tanto en el primero como en el segundo ciclo de producción no se obtuvo diferencias significativas, lo que demuestra que en el desarrollo del fruto, los tratamientos donde se realizó la aplicación de nitrógeno con una dosis de 121 kg de N/ha en adición o no de los biofertilizantes, lograron resultados similares con respecto a los valores obtenidos del manejo convencional de la finca (T4) aplicándose la dosis de 142 kg de N/ha, por lo que se le atribuye que las aplicaciones adicionales de *A. brasilense* o bioactivadores pudieron mejorar la eficiencia de adsorción de nitrógeno a través de los diferentes mecanismos como la síntesis de fitohormonas, fijación biológica de nitrógeno, entre otros (cuadro 10).

Cuadro 10. Longitud y Diámetro de la mazorca en ambos ensayos experimentales

Tratamiento	Longitud de la mazorca (cm)		Diámetro de la mazorca (cm)	
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 1	Ciclo 2
T1	21.5	17.8	4.9	4.9
T2	21	18.8	5.1	5
T3	21.3	17.8	4.9	4.9
T4	21.4	18.4	5	4.9
T5	20.9	18.4	5	4.8
Prueb > F	0.304	0.0638	0.122153	0.7165
CV %	5.02	9.47	4.29	6.674

Nota: Medias con letras iguales son igual estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05$).

En la variable longitud de la mazorca se logra apreciar que en el segundo ciclo de producción los valores fueron muy inferior a los del primer ciclo de producción, efecto que probablemente se atribuye al perjuicio generado por la enfermedad de la mancha de asfalto.

5.7. Biomasa y contenido de nitrógeno

La cantidad de biomasa por aérea producida en los cultivos de maíz está influenciada por factores como la radiación fotosintéticamente activa, la humedad del suelo y la disponibilidad de nitrógeno, los que son claves para determinar el crecimiento de las plantas y, por ende, la producción total de biomasa (Wojcik, 2001, citado por Aguirre y Vargas, 2018).

La biomasa del maíz es una fuente importante que aporta materia orgánica, contribuye a la mejora de la fertilidad del suelo, aumenta la actividad microbiana del suelo, protege el suelo de la erosión y fomenta la sostenibilidad agrícola, además de su utilidad más común que sirve de alimento a muchos organismos (Marcos et al., 2015).

En el cuadro 11, se presentan las medias de los valores correspondiendo a la biomasa en materia seca por planta de cada uno de los tratamientos evaluados, el ANDEVA demostró que no hay diferencias significativas entre los tratamientos, presentando valores entre 0.18 a 0.20 kg/planta en el ciclo uno, mientras que en el ciclo dos los valores se mantuvieron en un intervalo entre 0.17 a 0.21 kg/planta.

Cuadro 11. Materia seca en kg por planta en el ciclo 1 y 2.

Tratamiento	Materia seca por planta (kg)	
	Ciclo 1	Ciclo 2
T1	0.18	0.17
T2	0.2	0.18
T3	0.15	0.17
T4	0.19	0.21
T5	0.2	0.18
Prueb > F	0.0619	0.0827
CV %	11.5	9.61

Nota: Medias con letras iguales son igual estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05$)

El tratamiento T4 fue el que presento un valor más alto en peso seco, por lo que puede ser atribuido a la mayor dosis de nitrógeno aplicada en este tratamiento, beneficiando un mayor

desarrollo en el área foliar de las hojas permitiendo un mejor proceso de fotosíntesis, logrando mayor fijación de carbono.

Los valores de biomasa por planta no presentan diferencias significativas, pero con poblaciones estimadas máximas (40 000) y mínimas (33 000) plantas por hectáreas (cuadro 12), los valores tornan un sentido diferente, mostrando diferencias considerables entre los tratamientos. En el ciclo uno, la biomasa estimada de los tratamientos T2 y T5 serían superior a los demás tratamientos con valores de 8 000 kg ha⁻¹ en escenarios de poblaciones máximas y en poblaciones mínimas los valores oscilan en 6 600 kg ha⁻¹, estos valores representan un alto aporte de materia orgánica con la reincorporación los residuos vegetales, reflejando una diferencia de 400 kg ha⁻¹ de biomasa con respecto al testigo T4. En el ciclo dos de producción la estimación tornaría valores distintos donde el testigo T4 refleja un valor estimado de 8 400 kg ha⁻¹ en el escenario de población máxima y en población mínima el valor es de 6 930 kg ha⁻¹ superando a los demás tratamientos.

Cuadro 12. Valores de la biomasa con poblaciones máximas y mínimas estimadas

Tratamiento	Ciclo 1 (Ms kg ha ⁻¹)		Ciclo 2 (Ms kg ha ⁻¹)	
	40 000 planta ha ⁻¹	33 000 plantas ha ⁻¹	40 000 planta ha ⁻¹	33 000 plantas ha ⁻¹
T1	7 200	5 940	6 800	5 610
T2	8 000	6 600	7 200	5 940
T3	6 000	4 950	6 800	5 610
T4	7 600	6 270	8 400	6 930
T5	8 000	6 600	7 200	5 940

Ms: Materia seca

Según estudios realizados por García et al. (2016) llevado a cabo en Brasil, obtuvieron resultados en que los tratamientos sometidos a una menor dosis de nitrógeno (90 kg. ha⁻¹) con inoculación de *A. brasilense* (100, 150 y 200 mL por 25 kg de semilla) con las cepas AbV5 y AbV6 en concentración de 2x10⁸, fuente procedente de la empresa AGROCETE[®], presentaron mayor promedio de biomasa a diferencia del testigo control en el cual fue sometido a la mayor dosis de Nitrógeno (180 kg. ha⁻¹ sin la adición de *A. brasilense*), sin embargo, un tratamiento similar en el que la fuente de *A. brasilense* es de diferente casa comercial, se evaluó con una

dosis de (90 kg de N. ha⁻¹ + 100 mL de *A. brasilense* por 25 kg de semilla) el cual curiosamente presentó menor valor de biomasa en comparación del tratamiento testigo.

Según los resultados del análisis de tejido de plantas de maíz realizados en el de laboratorio LABSA-UNA, el tratamiento que presentó mayor contenido de nitrógeno fue el T3 superando al Testigo y a los demás tratamientos, siendo el de bajo contenido el tratamiento T5 en los que respecta en el ciclo uno. En el ciclo dos de producción el tratamiento T3 presentó el mayor contenido de nitrógeno ante el resto de los tratamientos, caso semejante en el ciclo uno (Cuadro 13). En esta variable los valores obtenidos fueron distintos a los que se ha obtenido en las otras variables ya que en este caso en el ciclo dos los valores de contenido de nitrógeno (%) fueron superiores a los del ciclo uno, efecto que se le puede atribuir a una baja traslocación de este nutriente al desarrollo del fruto de la planta, esto será discutido más adelante.

Cuadro 13. Contenido de nitrógeno (%) en tallos y hojas de maíz en ciclo uno y dos

Tratamiento	Ciclo 1	Ciclo 2
T1	1.24	1.95
T2	1.31	1.84
T3	1.41	2.05
T4	1.01	1.86
T5	0.89	1.57

Según el estudio realizado por García et al. (2016) donde evaluaron el contenido de Nitrógeno (%) en el follaje de la planta, encontraron diferencia en los valores de los tratamientos sometidos a (90 kg de N. ha⁻¹) mas (100 y 150 mL de *A. brasilense* por 25 kg de semilla) respectivamente, obtuvieron resultados en qué dichos tratamientos superaron el testigo, sin embargo, el tratamiento (90 kg de N. ha⁻¹ + 200 mL de *A. brasilense* por 25 kg de semilla) demostró un valor muy similar al testigo. Caso semejante a nuestro estudio previo en el que los tratamientos en qué se inocularon con *A. brasiliense* mostraron resultados de % de nitrógeno mayores al testigo a excepción del (T5) que mostró un valor menor al testigo donde se le suministro mayor dosis de bioactivadores.

Cuadro 14. Contenido estimado de nitrógeno orgánico aportado por hectárea

Tratamiento	Ciclo 1 (kg N ha ⁻¹)		Ciclo 2 (kg N ha ⁻¹)	
	40 000 planta ha ⁻¹	33 000 plantas ha ⁻¹	40 000 planta ha ⁻¹	33 000 plantas ha ⁻¹
T1	89.28	73.66	132.6	109.4
T2	104.8	86.46	132.48	109.3
T3	84.6	69.8	139.4	115.01
T4	76.76	63.33	156.24	128.9
T5	71.2	58.74	113.04	93.26

Acorde a los resultados por tratamiento con relación a la materia seca (kg) y contenido de nitrógeno (%) por tratamientos, se realizó una relación de estimación de aportación de N orgánico considerando la reincorporación de los residuos vegetales. En el ciclo uno el tratamiento T2 presento un valor superior a los demás tratamientos en aportación con un valor de 104 kg de N/ha, seguido del tratamiento T1 con un valor de 89.28 kg de N/ha, superando al tratamiento Testigo (T4) el cual presento valores de 76.76 kg de N/ha. En ciclo dos de producción los valores de aportaciones de nitrógeno orgánico fueron superior a los de ciclo uno, donde el tratamiento testigo presentó superioridad con un valor de 156 kg de N/ha, mientras que los tratamientos T3, T1 y T2 presentaron similitud en sus valores con 139.40 kg, 132.60 kg y 132.48 kg de N/ha, respectivamente (Cuadro 14).

5.8. Contenido de nitrógeno en grano

Según los resultados del contenido de nitrógeno (%) en grano, en el ciclo uno los tratamientos T1 y T5 fueron lo que presentaron mayor contenido de nitrógeno con valores de 2.56 y 2.51 % respectivamente, mientras que en el tratamiento T3 el valor fue el menor, mientras que en el contenido de nitrógeno en hojas y tallo fue el que presento mayor valor, mientras que el T1 y T5 fueron inferiores en el contenido de N en el tejido vegetal (Cuadro 15).

Cuadro 15. Contenido de nitrógeno en grano (%) lechoso

Tratamiento	Ciclo 1	Ciclo 2
T1	2.56	2.2
T2	2.43	2.27
T3	2.27	2.24
T4	2.41	2.24
T5	2.51	2.17

En el ciclo 1, se observaron valores de nitrógeno inferiores a los del ciclo 2. Este comportamiento sugiere una posible relación hipotética en la cual el nitrógeno almacenado en la planta no se translocó de manera eficiente durante el llenado del fruto, como resultado, los contenidos de nitrógeno en tallo y hojas fueron superiores en el ciclo 2 en comparación con el ciclo 1, donde en este último los valores de nitrógeno en grano fueron más altos. Este fenómeno podría atribuirse a la incidencia de la enfermedad conocida como mancha de asfalto, que afecta el proceso de fotosíntesis la cual es crucial para el desarrollo del fruto, ya que proporciona la energía necesaria para la traslocación de nutrientes asimilados por las plantas, por lo que esta se ve limitada en la capacidad de mover el nitrógeno desde las hojas y el tallo hacia el grano, afectando así su contenido final en el grano.

Según el estudio realizado por García et al. (2016) donde también evaluaron el contenido de Nitrógeno (%) en grano de la mazorca, obtuvieron resultados en que la combinación de inoculante y dosis reducida de N en el tratamiento (90 kg de N. ha⁻¹ + 150 mL de *A. brasilense* por 25 kg de semilla) influyó en un mayor contenido de N. Los tratamientos de (90 kg de N. ha⁻¹ + 100 mL y 200 mL de *A. brasilense* por 25 kg de semilla) mostraron valores comparables a los tratamientos sin *A. brasilense*, independientemente de la dosis de N.

5.9. Contenido de Grados Brix (%) en granos de maíz

Los grados Brix en el maíz tienen gran importancia en la agroindustria alimentaria debido a que proporciona información crucial sobre el contenido de azúcar en el maíz en un momento dado, esta medida es fundamental para determinar la calidad, la madurez y el potencial de uso del maíz en diversas aplicaciones, un contenido de azúcar adecuado no solo mejora el paladar y la

aceptación del producto también puede ser relevante en aplicaciones culinarias y en la producción de alimentos y bebidas (Hidrolab, 2022).

En el ciclo uno los grados Brix (%) en los granos de maíz fueron evaluados en tres momentos distintos: uno y ocho días después de la cosecha (ddc) en estado fresco y a los nueve ddc en estado cocido. Inicialmente, se obtuvo diferencias significativas donde el T1 mostró el mayor contenido de azúcares en estado fresco (15.03 %) indicando su eficacia inmediata, seguido de T3 (14.81 %) y T2 (14.37 %), sin embargo, a los 8 días en estado crudo, T3 mantuvo el nivel más alto de azúcares (cuadro 16), sugiriendo una mejor preservación a mediano plazo; sin embargo, no difieren estadísticamente del resto de los tratamientos. A los nueve ddc en estado cocido las concentraciones disminuyeron drásticamente donde el T2 conservó mayor contenido de grado Brix (%) azúcares a largo plazo y en condiciones de cocción. Estos resultados sugieren que, aunque T1 es más eficaz inmediatamente después de la cosecha, T2 y T3 son más eficientes para la conservación de azúcares en los granos de maíz, especialmente cuando se considera el consumo en estado cocido.

Cuadro 16. Grados Brix (%) en granos de Maíz en Estado fresco y cocidos días después de la cosecha (ddc)

Tratamiento	Ciclo 1			Ciclo 2	
	Estado fresco		Cocido	Estado fresco	Cocidos
	1 ddc	8 ddc	9 ddc	1 ddc	2 ddc
T1	15.03 (a)	10.78	4.82	13.17	4.87
T2	14.37 (ab)	11.87	6.49	12.47	6.42
T3	14.81 (a)	12.39	5.77	13.32	6.72
T4	13.66 (bc)	11.07	4.07	13.42	5.27
T5	13.36 (c)	11.28	4.44	13.72	5.27
Prueb > F	0.0131	0.326	0.237	0.8594	0.3862
CV %	4.51	9.64	28.44	8.95	17.17

Nota: Medias con letras iguales son igual estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05$).

En el ciclo dos los grados Brix (%) fueron evaluados en dos momentos distintos: un ddc en estado fresco y a los dos ddc en estado cocido, en ambos estados los tratamientos no presentaron diferencias significativas. Se obtuvieron valores en los cuales, en el estado crudo (un ddc), los tratamientos exhibieron valores de grados Brix que varían entre 12.47 % y 13.72 %, esto indica una baja variabilidad en la concentración de azúcares en los granos de maíz donde el tratamiento

T5 muestra el valor más alto en grados Brix con un contenido de 13.72 %, mientras que el tratamiento T2 tiene el valor más bajo 12.47 % (Cuadro 16). En el estado cocido, todos los tratamientos experimentan una disminución en los grados Brix en comparación con el estado crudo, los valores oscilan entre 4.87 y 6.72, lo que indica una pérdida significativa de azúcares durante el proceso de cocción y posiblemente de valor nutricional, lo cual es importante considerar en términos de calidad y usos finales del maíz (cuadro 16).

Según Bartz y Brecht (2002), la disminución de ciertas propiedades del maíz después de cosechado se atribuye a factores biológicos internos como la respiración, los cambios en la composición (afectan el color, la textura, el sabor y el valor nutricional), los trastornos fisiológicos y la descomposición patológica y factores externos que abarcan la temperatura y la humedad relativa citado por Bello y Badejo (2017), adicionalmente indica que las concentraciones de azúcares en el maíz disminuyen según el tiempo y la temperatura de almacenamiento. Específicamente, a temperaturas más bajas, la pérdida del contenido total de azúcar es menor.

Según Cánoves et al. (2022) mencionan que a temperaturas superiores a 100 °C produce cambios significativos en la calidad nutricional y sensorial de los alimentos durante el proceso de esterilización de proteínas y la degradación de vitaminas, así como alteraciones en el sabor, color y textura. Estas pérdidas se acentúan durante la cocción, la evaporación y la deshidratación.

5.10. Población de *Azospirillum* sp. en raíz de planta

Es importante determinar las unidades formadoras de colonias por gramo de muestra en la zona radical de la planta del cultivo de maíz debido a que permite conocer la cantidad de microorganismos presentes que benefician su desarrollo, lo cual puede influir en la salud, rendimiento y la calidad de los alimentos producidos (Camacho y Meuer, 2015).

En el primer ciclo, los tratamientos muestran variaciones significativas en la población de *Azospirillum* sp. en las raíces de la planta. El tratamiento T1 presentó la población menor con 3×10^4 UFC/g, este bajo nivel podría indicar una menor efectividad del tratamiento en promover el crecimiento de *Azospirillum* sp. en las condiciones específicas del suelo, sin embargo, curiosamente el testigo T4 presentó un valor significativamente mayor con 7×10^5 UFC/g.

Finalmente, el tratamiento T5 mostró la población más alta con 14×10^5 UFC/g, sugiriendo que este tratamiento es el más efectivo para promover la población de *Azospirillum* sp. en las raíces de la planta de maíz.

En el segundo ciclo, se observan disminuciones en las poblaciones de *Azospirillum* sp. en comparación con el primer ciclo para todos los tratamientos, lo cual podría estar asociado con varios factores (Hongos, bacterias patógenas y falta de preparación de suelo), El tratamiento T1 presentó una disminución a 1×10^4 UFC/g (cuadro 17), lo que podría indicar que las condiciones no fueron favorables para mantener la población bacteriana en niveles altos, el tratamiento T2 también mostró una disminución significativa a 2×10^4 UFC/g de raíz, manteniendo una población mayor que T1, pero considerablemente menor que en el primer ciclo. El tratamiento T5, aunque también disminuyó, mantuvo una población relativamente alta con 4×10^4 UFC/g de raíz, lo que sugiere que este tratamiento puede ser más robusto en mantener la población bacteriana en comparación con los demás tratamientos.

Cuadro 17. Población de *Azospirillum* sp en unidades formadoras de colonias por gramos de muestra (UFC/g)

Tratamientos	UFC/g	
	Ciclo 1	Ciclo 2
T1	3×10^4	1×10^4
T2	18×10^4	2×10^4
T3	8×10^4	2×10^4
T4	7×10^5	1×10^4
T5	14×10^5	4×10^4

Comparando ambos ciclos, es evidente que todos los tratamientos experimentaron una disminución en las poblaciones de *Azospirillum* sp en el segundo ciclo. Esto podría estar relacionado con los factores mencionado anteriormente, los resultados sugieren que el tratamiento T5 es el más prometedor para promover y mantener altas poblaciones de *Azospirillum* sp. en las raíces de maíz, mientras que los otros tratamientos muestran variaciones significativas en su efectividad entre los ciclos. Futuras investigaciones podrían enfocarse en entender mejor los factores que influyen en la disminución de la población bacteriana entre ciclos y en optimizar las condiciones del suelo para mantener niveles altos de *Azospirillum* sp.

Los bioactivadores como Biomax solum[®], Biomax magnum[®] y H-85[®] contienen una mezcla de compuestos bioquímicos que mejoran la disponibilidad de nutrientes en el suelo a través de la estimulación de la actividad microbiana del suelo al proporcionar compuestos necesarios como la materia orgánica que es una fuente de carbono esencial para los microorganismos. Al igual estos bioactivadores generan un impacto en la planta con la aportación de nutrientes esenciales (nitrógeno y azufre) que promueve un metabolismo vegetal más eficiente, lo que se traduce en una mayor producción de compuestos metabólicos traducido a una mayor producción de exudados radiculares esenciales para la actividad microbiana en la rizosfera, proporcionando una mejor fuente de carbono y energía para los microorganismos benéficos atribuciones debido a una mayor tasa de fotosíntesis.

En la siembra continua de maíz, hongos y bacterias patógenas pueden sobrevivir en el suelo durante largos periodos debido a que estos no enfrentan interrupciones en su ciclo de vida, lo que les permite acumularse y lograr alterar las condiciones del suelo y competencia por recursos, esto hace menos favorable la supervivencia y actividad de *Azospirillum* sp, por otro lado los residuos radiculares actúan como una fuente rica de materia orgánica para las bacterias patógenas generando una competencia directamente con *Azospirillum* sp. por nutrientes y espacio. Estas dinámicas explican la disminución observada en la población de *Azospirillum* sp., en el segundo ciclo de producción de maíz con respecto al primero.

5.11. Tamaño de mazorca

De acuerdo con el análisis de varianza (ANOVA) reflejado en el cuadro 18, se determinó que no existe diferencia significativa en las cantidades de mazorcas de tamaño grande y mediana entre los tratamientos (0.291 y 0.793). Sin embargo, el tratamiento testigo (T4), obtuvo el mayor porcentaje de mazorcas grandes (73.72 %) y por ende el menor porcentaje de mazorcas medianas (26.28 %), este tratamiento es el plan de fertilización implementado en el manejo convencional de la finca destacando que refleja mayor productividad en la cosecha que se diferencia en mayor aporte de nitrógeno y de ahí una mayor producción.

Cuadro 18. Cosecha de mazorcas en estado de elote en diferentes tamaños en el Municipio de San Isidro, Matagalpa, 2023

Tratamiento	Mazorcas por hectárea		
	Grandes	Medianas	Total
T1	9 125.0 (59.69)	6 162.5 (40.31)	15 287.5
T2	10 733.3 (68.88)	4 850.0 (31.12)	15 583.3
T3	10 666.7 (66.86)	5 287.5 (33.14)	15 954.2
T4	15 850.0 (73.72)	5 650.0 (26.28)	21 500.0
T5	10 750.0 (64.37)	5 950.0 (35.63)	16 700.0
Prueb > F	0.291	0.793	0.362
CV %	37.94	29.11	27.60

Nota: Valor entre paréntesis es porcentaje, Medias con letras iguales son igual estadísticamente según Tukey ($\alpha=0.05$).

5.12. Análisis económico de presupuesto parcial

En la determinación de los costos variables por tratamiento se tomaron en cuenta rubros, como: costos de los insumos, mano de obra y equipos utilizados, los cuales están descritos en el anexo 2 y 3. Con respecto al costo por el uso de equipo utilizado (Bomba de mochila), se consideró una vida útil de ocho años, un tiempo de uso que responde a dos ciclos productivos y se utilizaron a lo más dos momentos por ciclo para la aplicación de los tratamientos.

La comercialización de maíz de la variedad Dorado F1, es la mazorca completa en estado lechoso, el cual el precio de venta va en dependencia de su calidad clasificadas en mazorcas grandes y medianas las que se vendieron a precios de C\$ 11.00 y C\$ 8.00 respectivamente. Los rendimientos de mazorcas grandes y medianas no fueron ajustados hacia abajo, debido a que el cultivo de estudio fue manejado por el productor, por lo que no habría diferencia entre los rendimientos del estudio y la producción que podría obtener el productor, según la metodología de presupuesto parcial Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, 1988).

En el cuadro 19, se aprecian los valores de costos variables y beneficios brutos y netos correspondientes a cada uno de los tratamientos, donde se determinó que los tratamientos T3 y T4 son los que presentan los costos variables más bajos (C\$ 8 938.83 y C\$ 9 284.44 respectivamente) siendo T4 el segundo más económico, valor debido a las diferencias en los

insumos aplicados en dicho tratamiento. El T4 presenta el beneficio neto más alto con (C\$ 210 256.56), esto indica que es el tratamiento más rentable, no solo en términos de ingresos totales sino también después de considerar los costos variables.

Cuadro 19. Análisis de la relación beneficio costo a partir del presupuesto parcial por cada tratamiento para el segundo ciclo de maíz

Variables	T1	T2	T3	T4	T5
Costos Variables (C\$)	15 197.67	16 043.11	8 938.83	9 284.44	15 149. 59
Beneficio Bruto (C\$)	149 675.00	156 866.67	159 633.33	219 550.00	165 850.00
Beneficio Neto (C\$)	134 477.33	140 823. 56	150 694.50	210 265. 56	150 700.41
Relación B/C (%)	885	878	1 686	2 265	995

La relación B/C es un indicador crucial para evaluar la eficiencia de cada tratamiento. El T4 destaca con una relación B/C de 2 264.71 % lo que significa que, por cada unidad monetaria invertida, se obtienen C\$ 2 264.71 de retorno, lo que lo hace más atractivos desde un punto de vista económico.

VI. CONCLUSIONES

En las variables de crecimiento como en altura de la planta y de la primera inserción de la mazorca el manejo convencional de la finca (T4) presento los mejores resultados, mientras que los tratamientos donde se aplicó bioactivadores + urea 46 % y *Azospirillum* sp destacaron con mejores resultados en el diámetro del tallo de la planta y el número de hojas por plantas en ambos ciclos.

Las colonias de *Azospirillum* sp en las raíces de las plantas, en el primer y segundo ciclo los tratamientos mostraron variaciones, siendo el T5 el que obtuvo la mayor cantidad de colonias con 14×10^5 UFC/g y 4×10^4 UFC/g respectivamente. Los tratamientos inoculados con *A. brasilense* más la adición de bioactivadores (T1 y T5) presentaron mayor contenido de nitrógeno en el grano en el primer ciclo, en el segundo ciclo los valores de nitrógeno fueron similares entre tratamiento y relativamente menores a los del primer ciclo.

El contenido de azúcar en Grados Brix ($^{\circ}$ Bx) en los granos de maíz en estado fresco durante su almacenamiento en frío disminuyen entre dos a tres $^{\circ}$ Bx, mientras que en el proceso de cocción se observa una reducción del 48.51 al 73 % de azúcar. En el primer ciclo el T2 obtuvo la mayor cantidad de nitrógeno en la biomasa de los residuos vegetales, mientras que en el segundo ciclo lo obtuvo el T4; este mismo tratamiento obtuvo el porcentaje más alto de mazorcas grande y la relación Beneficio-Costo más alta.

VII. RECOMENDACIONES

Realizar futuras investigaciones, en las que se sugiere evaluar dosis variables y momentos de aplicación de los bioactivadores de microorganismos del suelo, con el fin de optimizar su efectividad en la interacción planta, microorganismo y suelo.

Implementar un control más estricto sobre la densidad poblacional de las plantas en las parcelas experimentales, un monitoreo constante y técnicas para mantener una población uniforme de plantas pueden reducir pérdidas y mejorar la rentabilidad, al aumentar el número de mazorcas por unidad de área.

Implementar proyectos de investigación a largo plazo para observar los efectos acumulativos y sostenibles del uso de *Azospirillum sp* y bioactivadores de microorganismos del suelo en diferentes sistemas de cultivo y condiciones edafoclimáticas en un enfoque de una agricultura regenerativa.

VIII. LITERATURA CITADA

- Acción Internacional por los Recursos Genéticos. (1 de noviembre de 2021). *Una nueva investigación demuestra que, para enfrentar la crisis climática, debemos erradicar los fertilizantes químicos tras 50 años de uso desenfrenado*. <https://grain.org/es/article/6763-una-nueva-investigacion-demuestra-que-para-enfrentar-la-crisis-climatica-debemos-erradicar-los-fertilizantes-quimicos-tras-50-anos-de-uso-desenfrenado>
- Adesemoye, A. O. y Kloepper, J. W. (2009). Interacciones entre plantas y microbios para mejorar la eficiencia en el uso de fertilizantes. *Appl Microbiol Biotechnol*, 85(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2196-0>
- Agrícola JAMA. (23 de octubre de 2019). *Los 10 Alimentos Derivados Del Maíz Más Comunes*. <https://agricolajama.com/los-10-alimentos-derivados-del-maiz-mas-comunes/>
- Agrocete Brasil. (2024). Especificaciones técnicas – Grap nod al.
- Agrofy News. (15 de agosto de 2011). *Resaltan importancia del maíz en la generación de empleos*. <https://news.agrofy.com.ar/noticia/108061/resaltan-importancia-del-maiz-en-la-generacion-de-empleos>
- Agroshow. (23 de enero de 2024). *Maíz Dulce Ficha técnica*. <https://agroshow.info/wp-content/uploads/2021/01/FICHA-MAIZ.pdf>
- Aguirre Valdivia, J. K. y Vargas Gutiérrez, C. S. (2018). *Evaluación de la eficiencia agronómica y económica de uso del nitrógeno en el cultivo de maíz (Zea mays L.) variedad SEMSA “TEPEYAC”, Yalagüina, Madriz, Nicaragua, 2017* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/3776/1/tmf04a284e.pdf>
- Albanesi, A. S. (Ed). (2013). *Microbiología agrícola: un aporte de la investigación en Argentina*. (2.ed). https://www.researchgate.net/publication/281348333_Microbiologia_Agricola_Un_aporte_de_la_Investigacion_en_Argentina_2_Edicion_2013
- Almeida, T., Giancotti, P., Bento, L., Dalla Nora, D. & Gomes, R. (2018). Biofertilizer Microgeo® on Rice Crop: Yield and Seed Quality. *Journal of agricultural science*, 10(5), 288-295. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n5p288>
- Álvarez, C. R. y Rimski-Korsakov, H. (Eds). (2016). *Manejo de la fertilidad del suelo en planteos orgánicos*. https://www.ciaorganico.net/documypublic/126_libro_fertilidad_de_suelos-pvo_isbn.pdf
- Artal. (25 de enero de 2021). *Ácidos húmicos y fúlvicos*. <https://www.artal.net/docs/es/Informe-t%C3%A9cnico-%C3%A1cidos-h%C3%BAmicos.pdf>
- Avila Miramontes, J. A., Avila Salazar, J. M., Martínez Heredia, D. y Rivas Santoyo, F. J. (2014). *El cultivo de Maíz: Generalidades y Sistemas de Producción en el Noroeste*. <https://agricultura.unison.mx/memorias%20de%20maestros/EL%20CULTIVO%20DEL%20MAIZ.pdf>
- Baca Caballero, P. B. (1989). *Influencia de cuatro niveles y cuatro formas de fraccionamiento del nitrógeno sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo del maíz (Zea Mays L.) var. “NB-3”* [Trabajo de diploma, Instituto superior de ciencias agropecuarias]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/2489/1/tmf04b116.pdf>
- Bello, F. A., y Badejo, A. A. (2017). Efectos combinados de la película de envasado y las temperaturas sobre la composición nutricional del maíz fresco almacenado (Zea mays) en la mazorca. *American Journal Of Food Science And Technology*, 5(1), 23-30. <https://doi.org/10.12691/ajfst-5-1-5>

- Biologicals Latam. (28 de abril de 2022). *Azospirillum, una bacteria de uso consolidado en cultivos extensivos*. <https://biologicalslatam.com/issue-05/azospirillum-una-bacteria-de-uso-consolidado-en-cultivos-extensivos/>
- Camacho, J. y Meuer. (7 de diciembre de 2015). *Unidades Formadoras de Colonia(UFC)*. SlideShare. <https://es.slideshare.net/slideshow/unidades-formadoras-de-coloniaufc/55912020>
- Cánoves, A. F., Jarque, J. B., y Esteve, M. J. (16 de febrero de 2022). *Cuando calentamos los alimentos, ¿se pierden sus propiedades nutritivas?* The Conversation. <https://theconversation.com/cuando-calentamos-los-alimentos-se-pierden-sus-propiedades-nutritivas-172929>
- Castillo Cajina, R. y Bird Moreno, R. (2013). *Caracterización del Cultivo de Maíz en Nicaragua: Un análisis de Varianza de los Determinantes del Rendimiento*. https://www.bcn.gob.ni/sites/default/files/documentos/DT-33_Documento_final_Caracterizacion_del_maiz.pdf
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (1988). *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada*. México D.F., México: CIMMYT.
- Cerón Rincón, L. E. y Ancizar Aristizábal Gutiérrez, F. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología*. 14(1), 285-295. <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v14n1/v14n1a26.pdf>
- Ciampitti, I. A., Elmore, R. W. y Lauer, J. (2016). *Crecimiento y desarrollo de maíz*. <https://bookstore.ksre.ksu.edu/pubs/MF3305S.pdf>
- Coraspe-León, H. M., Muraoka, T., Ide Franzini, V., Contreras Espinal, F. S., y Ocheuze Trivelin, P. C. (2009). Absorción de formas de nitrógeno amoniacal y nítrica por plantas de papa en la producción de tubérculo-semilla. *Agronomía Tropical*, 59(1), 45-58. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2009000100005&lng=es&tlng=es.
- Correa, O. (2013). *Los microorganismos del suelo y su rol indiscutido en la nutrición vegetal*. https://www.researchgate.net/publication/306960003_LOS_MICROORGANISMOS_DEL_SUELO_Y_SU_ROL_INDISCUTIDO_EN_LA_NUTRICION_VEGETAL
- Cruz González, E. (25 de junio de 2023). *Atider maíz de alto rendimiento, entrevista de Argocaribe acerca del manejo del suelo*. [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=7pDin6LISbE>
- De Oliveira Araújo, E., Martins Mercante, F. y Tadeu Vitorino, A. C. (2015). Efecto de la fertilización nitrogenada asociada a la inoculación de *Azospirillum brasilense* y *Herbaspirillum seropedicae* en maíz. *African Journal Of Agricultural Research*, 10(3), 137-145. <https://doi.org/10.5897/AJAR2014.8866>
- Delgado Higuera, M. (2016). *Los microorganismos del suelo en la nutrición vegetal*. <https://portalcamaronero.com/wp-content/uploads/2016/10/Los-microorganismos-del-suelo-en-la-nutrici%C3%B3n-vegetal.pdf>
- Deras Flores, H. (2012). *Guía técnica: El cultivo de maíz*. [Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/11893>
- Endicott, S., Brueland, B., Keith, R., Schon, R., Bremer, C., Farnham, D., DeBruin, J., Clausen, C., Strachan, S. y Carter, P. (2023). *Maíz: Crecimiento y Desarrollo*. https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Latin_America_Central/Chile/Servicios/Informacion_tecnica/Corn_Growth_and_Development_Spanish_Version.pdf
- Etcheverría Toirkens, P. y Barahona Leiva, V. (2 de enero de 2018). *El secuestro de carbono en los suelos*. RedAgricola. <https://redagricola.com/el-secuestro-de-carbono-en-los-suelos/>

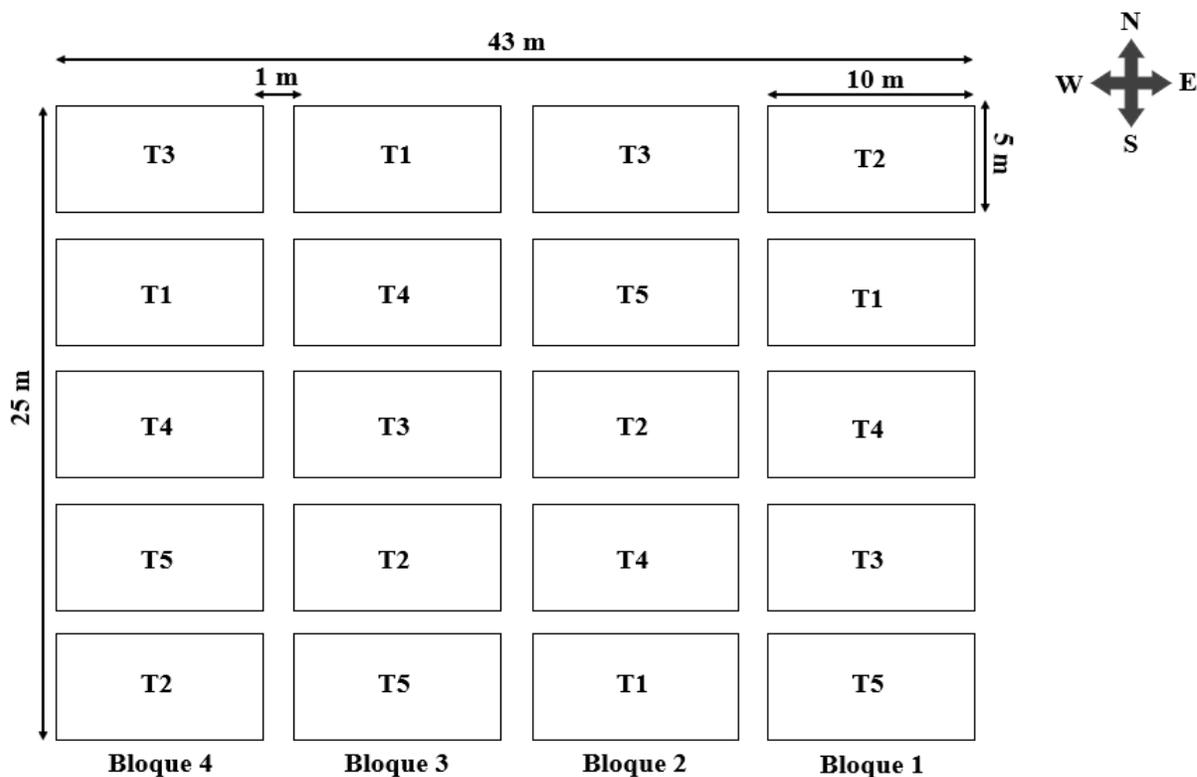
- Faiguenbaum Morgenstern, H. y Mouat Zunino, P. (15 de marzo de 2024). *Biología de cultivos anuales*. https://www7.uc.cl/sw_educ/cultivos/index.html
- Fassbender, H. W y Bornemisza, E. (1987). *Química de suelos: con énfasis en suelos de América Latina*. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6801>
- Fertilab. (13 de marzo de 2018). *Ácidos Húmicos y Fúlvicos*. <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/acidos-humicos-y-fulvicos.pdf>
- FERTINOVA®. (4 de enero de 2016). *Ficha técnica*. <https://www.fertinova.mx/sites/default/files/fichas%20t%C3%A9cnicas.pdf>
- Fraguio, M. (5 de diciembre de 2014). *Aplicaciones del Maíz en la Industria Alimentaria*. InfoCampo. <https://www.infocampo.com.ar/aplicaciones-del-maiz-en-la-industria-alimentaria/>
- Fuentes Pelloso, M., Vidigal Filho, P. S., Scapim, C. A., Tiene Ortiz, A. H., Numoto, A.Y. Y Miranda Freitas, I. R. (2023). Comportamiento agronómico y calidad del maíz tierno en respuesta a la inoculación de semillas con Azospirillum brasilense y fertilización nitrogenada en la cosecha de verano. *Heliyon*, 9(4), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14618>
- García Centeno, L. (2007). *Texto básico: fertilidad de suelo y fertilización de cultivos*.
- García, M. M., Pereira, L. C., Braccini, A. L., Angelotti, P., Suzukawa, A. K., Marteli, D. C. V., Felber, P. H., Bianchessi, P. A. y Dametto, I. B. (2016). Efectos de Azospirillum brasilense sobre los componentes del crecimiento y el rendimiento del maíz cultivado en condiciones limitantes de nitrógeno. *Revista de Ciencias Agrárias*, 40(2), 353-362. <https://doi.org/10.19084/rca16101>
- Goswami, D., Thakker, J. N. y Dhandhukia, P. C. (2016). Representación de la mecánica de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR): una revisión. *Cogent Fod & Agriculture*, 2(1), 1-19. <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1127500>
- Hidrolab. (22 de abril de 2022). *¿Qué son los grados Brix en alimentos y cuál es su importancia?*. <https://www.hidrolab.com/blog/que-son-los-grados-brix-en-alimentos-y-cual-es-su-importancia/>
- Instituto Nacional Tecnológico. (23 de marzo de 2018). *Manual del protagonista: granos básicos*. https://www.tecnacional.edu.ni/media/Granos_Basicos.pdf
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (2024). Datos meteorológicos de la estación meteorológica Raúl Gonzales, San Isidro, Matagalpa.
- Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura. (s. f.). *El complejo de la mancha de asfalto en el cultivo de maíz*. <https://www.intagri.com/articulos/cereales/el-complejo-de-la-mancha-de-asfalto-en-el-cultivo-de-maiz#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20el%20complejo%20de,y%20finalmente%20e%20la%20planta>
- International plant nutrition institute. (12 de junio de 2017). *4r de la nutrición de plantas: Un Manual para Mejorar el Manejo de la Nutrición de Plantas*. <https://web.instipp.edu.ec/Libreria/libro/4%20R%20DE%20LA%20NUTRICI%C3%93N.pdf>
- Jordán, M. y Casaretto, J. (2006a). Hormonas y reguladores del crecimiento: Auxinas, Giberelinas y Citocininas. *Fisiología Vegetal*. (pp.1-28). Universidad de La Serena. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Auxinasgiberelinasycitocininas.pdf>
- Jordán, M. y Casaretto, J. (2006b). Hormonas y reguladores del crecimiento: etileno, ácido abscísico, brasinoesteroides, poliaminas, ácido salicílico y ácido jasmónico. *Fisiología Vegetal*. (pp.1-28). Universidad de La Serena. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Etileno,aba,jasmonico,brasino,.pdf>
- Lafitte, H. R. (1993). *Identificación de problemas en la producción de maíz tropical: guía de campo*. <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/727/43157.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Linneo, C. (1753). *Species plantarum, exhibentes plantas rite cognitatas ad genera relatas, cum differentiis specificis, nominibus trivialibus, synonymis sflfectis, locis natalibus, secundum sistema sexuale digestas* (2. ed.). <https://www.biodiversitylibrary.org/item/84236#page/2/mode/1up>
- Marcos Solario, B., Martínez Campos, A. B., López Urquidez, G. A., López Orona, C. A. y Arteaga Reyes, T. T. (2015). La biomasa de los sistemas productivos de maíz nativo (*zea mays*) como alternativa a la captura de carbono. *Rev. Int. Contam. Ambie*, 32 (3), 361-367. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.03.10>
- Martinez Reyes, L. (2015). *Evaluación de biofertilizantes en la producción del cultivo de maíz (Zea mays L.) en Villaflores, Chiapas* [Tesis para obtener el grado de maestro, Universidad Autónoma de Chiapas]. Repositorio Institucional. <http://www.repositorio.unach.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/3008/1/RIBC144803.pdf>
- Mengel, K. y Kirkby, E. A. (2000). *Principios de nutrición vegetal*. (4. ed.). https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod_resource/content/2/PRINCIPIO_S%20DE%20NUTRICI%C3%93N%20VEGETAL.pdf
- Ministerios de Fomento Industria y Comercio. (2022). Plan nacional de producción, consumo y comercio 2022-2023. https://www.mific.gob.ni/Portals/0/Documentos/AreaPrensa/Plan%20Nacional%20de%20Produccion%2C%20Consumo%20y%20Comercio%202022-2023_png.pdf
- Orchardson, E. (4 de diciembre de 2020). *El nitrógeno en la agricultura*. CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/el-nitrogeno-en-la-agricultura/>
- Ortas, L. (30 de abril de 2008). *El cultivo del maíz: fisiología aspectos generales*. <https://docplayer.es/27365373-El-cultivo-del-maiz-fisiologia-y-aspectos-generales.html>
- Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H. R. y Violic, A. D. (2001). *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción*. https://www.fao.org/3/X7650S/x7650s02.htm#P0_0
- Perdomo, C. y Barbazán, M. (2013). *Área de suelos y aguas catedra de fertilidad: Nitrogeno*. <https://es.slideshare.net/jesusfroylangomezsepulveda/articulo-sobre-el-nitrogeno>
- Probo Chile - Pro. Biológicos. (30 de agosto de 2022). *La importancia de conocer las etapas fenológicas de las plantas*. <https://www.linkedin.com/pulse/cu%C3%A1-es-la-importancia-de-conocer-las-etapas-fenol%C3%B3gicas-plantas-/?originalSubdomain=es>
- Producción Agrícola Mundial. (2023). *Producción Mundial de Maíz 2022/2023*. <http://www.produccionagricolamundial.com/cultivos/maiz.aspx>
- REDCAI la REDCAI Nro 2. (2010). *Protocolo para el control de calidad de inoculantes que contienen azospirillum sp* (1.ed.). https://www.researchgate.net/publication/215588677_Control_de_Calidad_de_Inoculantes_que_contienen_Azospirillum_sp_Manual_de_Procedimientos_II
- Saín, G., Becerra, F., Pereira de Herrera, A., Oviedo, R. y Rizo, L. (2002). *Reporte técnico del proyecto "Zonas Competitivas de Producción Sostenible de Maíz en América Central"*. <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/907/448133.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Saldaña Caceres, F. P y Calero Reyes, M. L. (1991). *Efecto de rotación de cultivos y control de maleza sobre la cenosis de malezas en los cultivos maíz (Zea Mays L.), sorgo (Sorghum bicolor L.) moench y pepino (Cucumis Sativus L.)* [Trabajo de diploma, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/1507/1/tnh60s162.pdf>
- Sánchez, P. A. (1981). *Suelos del trópico características y manejo*. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/16537>

- Sandoval Estrada, M., Stolpe Lau, N., Zagal Venegas, E., Mardones Flores, M. y Junod Montano, J. (2003). El secuestro de carbono en la agricultura y su importancia con el calentamiento global. *Theoria*, 12(1), 65-71. <https://www.redalyc.org/pdf/299/29901206.pdf>
- Santacruz, D. E. (2017). *Azospirillum brasilense y nitrógeno en maíz chipá (zea mays l. var. amylacea) en el departamento de canindeyú*. [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional de Asunción]. Repositorio Institucional. https://repositorio.conacyt.gov.py/bitstream/handle/20.500.14066/4107/14-inv-130-tesis_Derlis_Encisso.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Somarriva Rodríguez, C. (1998). *Granos básicos*. [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/2704/1/NF01S693g.pdf>
- Una Célula en el Cosmo. (2019). *Hoja Técnica: BioMax Solum*®.
- Una Célula en el Cosmo. (2021). *Hoja Técnica: BioMax Magnum*®.
- Una Célula en el Cosmo. (s.f.). *H-85 WG*.
- USDA. (13 agosto de 2023). USDA reduce la cosecha mundial de maíz 2024/25 a 1.219 millones de toneladas. SAFRAS & Mercado. <https://safras.com.br/es/usda-reduce-la-cosecha-mundial-de-maiz-2024-25-a-1-219-millones-de-toneladas/>
- Villa-Castro, L; Mayek-Pérez, N; García-Olivares, J. G. y Hernández-Mendoza, J. L. (2014). Efecto de la inoculación en maíz con cepas nativas de *Azospirillum* sp. *Avances en investigación agropecuaria*, 18 (1), 33-38. <http://ww.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2014/enero/3.pdf>
- Villanueva Calderón. E. (2020). *Bioquímica Agrícola*. https://books.instituto-idema.org/sites/default/files/2020_08_01_13_15_06_elvavillanuevacalderongmail.com_BIOQUIMICA_AGRICOLA.pdf
- Vilsack, T. (11 de mayo de 2021). *Innovación agrícola* <https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/Innovation-SPANISH.pdf>
- WIKIFARMER. (26 de noviembre de 2023). *Valor nutricional del maíz y beneficios para la salud*. <https://wikifarmer.com/es/valor-nutricional-del-maiz-y-beneficios-para-la-salud/>
- Ysuspartes.com. (8 de enero de 2024). *La planta de maíz y sus partes*. <https://ysuspartes.com/la-planta-de-maiz-y-sus-partes/>
- Zeffa, D. M., Perini, L. J., Barbosa Silva, M., Vieira de Sousa, N., Scapim, C. A., Martínez de Oliveira, A. L., Amaral Junior, A. T. D. y Azeredo Goncalves, L. S. (2019). *Azospirillum brasilense promueve aumentos en el crecimiento y la eficiencia en el uso de nitrógeno de genotipos de maíz*. *PLOS ONE*, 14(4): e0215332. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215332>
- Zimmer Barbosa, J., de Almeida Roberto, L., Hungria, M., Stuart Correa, R., Magri, E. & Drummond Correia, T. (2022). Meta-analysis of maize responses to *azospirillum brasilense* inoculation in Brazil: Benefits and lessons to improve inoculation efficiency. *Applied Soil Ecology*, 170, 104276. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104276>

IX. ANEXOS

Anexo 1. Plano de campo del diseño experimental (BCA)



Anexo 2. Cotos variables por tratamiento

Costos Variables		T1	T2	T3	T4	T5
Productos	Urea 46 % (C\$)	7 126.78	7 126.78	7 126.78	8 384.44	8 384.44
	Biomax Solum® (C\$)	1 707.94	1 707.94			1 707.94
	Biomax Magnum® (C\$)	2 732.71	3 415.88			1 707.94
	GRAP NOD.A® (C\$)	589.24		589.24		589.24
	H-85® (C\$)	1 502.99	2 254.48			1 502.99
Mano de Obra	Aplicación Urea (C\$)	900.00	900.00	900.00	900.00	900.00
	Aplicación Solución (C\$)	600.00	600.00	300.00		300.00
Equipo	Bomba (C\$)	38.02	38.02	22.81		57.03
Total (C\$)		15 197.67	16 043.11	8 938.83	9 284.44	15 149.59

Anexo 3. Beneficio neto total por tratamiento

Variables	T1	T2	T3	T4	T5
Rendimiento (Mazorcas grandes por ha)	9 125.0	10 733.0	10 667.7	15 850.0	10 750.0
Rendimiento (Mazorcas mediana por ha)	6 162.5	4 850.0	5 287.5	5 650.0	5 950.0
Precio de mazorca grande (C\$)	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
Precio de mazorca mediana (C\$)	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Beneficio bruto mazorca grande (C\$)	100 375.00	118 066.67	117 333.33	174 350.00	118 250.00
Beneficio bruto mazorca mediana (C\$)	49 300.00	38 800.00	42 300.00	45 200.00	47 600.00
Beneficio bruto Total (C\$)	149 675.00	156 866.67	159 633.33	219 550.00	165 850.00

Anexo 4. Aplicación de tratamientos, San Isidro, Matagalpa, 2023.



Aplicación de Biomax Solum®, Magnum®, H-85® y Grapo Nop A®.



Aplicación de Urea en forma de banda



Rotulación de Tratamientos



Dosificación de Urea

Anexo 5. Productos utilizados en los tratamientos



Biomax Solum®

Biomax Magnum®

H-85®

GRAP NOD.A®

Anexo 6. Control de maleza y aporque de Maíz, San Isidro, Matagalpa, 2023.



Equipo en la limpieza del terreno

Panorama del terreno donde se llevó a cabo el estudio

Aporcado de parcelas

Anexo 7. Mediciones de variables de Crecimiento, San Isidro, Matagalpa, 2023.



Mediciones de altura de plantas

Mediciones del diámetro del tallo de planta

Contabilización de numero de hojas por planta

Anexo 8. Extracción de muestras de raíces para la determinación de poblaciones de *Azospirillum* sp, en UFC/g, San Isidro, Matagalpa, 2023.



Excavación he identificación de raíces de maíz



Muestras de raíces extraídas



Muestras almacenadas y etiquetadas para enviarse a laboratorio

Anexo 9. Mediciones de variable de calidad de mazorca, San Isidro, Matagalpa, 2023.



Determinación de peso de mazorca con brácteas



Medición de longitud de mazorca



Mediciones del diámetro de mazorca



Comparación de tamaño de mazorca por tratamientos

Anexo 10. Cosecha.



Mazorca de maíz Var. Dorado F1

Contabilización de mazorcas grandes y medianas



Plantas para la determinación de peso fresco

Anexo 11. Mediciones de peso fresco de tejido de la planta para la estimación de Biomasa, San Isidro, Matagalpa, 2023.



Determinación de peso de plantas completas



Muestras de tallo y hojas entre 200 y 500 gramos



Muestras ingresadas en horno a 60 °C para la extracción de humedad



Muestras de tallos y hojas secas



Determinación de peso seco de las muestras



Anexo 12. Mediciones de Grados Brix, en granos de maíz Var. dorado F1, San Isidro, Matagalpa, 2023.



Preparación de muestras para determinación de grados brix



Aplicación de 2 gotas de sustratos de maíz en el refractómetro



Determinación de porcentaje de grados brix



Lectura de grados Brix en refractómetro

Anexo 13. Resultados de laboratorio del contenido de nitrógeno (%) en tallos y hojas de maíz en el ciclo 1

05/10/2023



Universidad Nacional Agraria
Laboratorio de Suelos y Agua LABSA
LABSA - UNA



Resultados de Análisis en Planta.

Entidad: Privado
Nombre: Deyner Alexis Ramos Castro
Material Analizado: Maíz

Finca: NA
Departamento: Matagalpa
Municipio: San Isidro

No.	Codigo LABSA	Identificación	Ceniza	N	P	K	Ca	Mg	Na	Micro Elementos						
										Fe	Cu	Mn	Zn	%H		
				%						mg/kg						
1	P-2023-0051	T1		1.24												
2	P-2023-0052	T2		1.31												
3	P-2023-0053	T3		1.41												
4	P-2023-0054	T4		1.01												
5	P-2023-0055	T5		0.89												
										ND: No Detectado						



Ing. MSc. Leonardo García
Director LABSA

Anexo 14. Resultados de laboratorio del contenido de nitrógeno (%) en tallos y hojas de maíz en ciclo 2

19/12/2023



Universidad Nacional Agraria
Laboratorio de Suelos y Agua LABSA
LABSA - UNA



Resultados de Análisis en Planta.

Entidad: Privado
Nombre: Deyner Alexis Ramos Castro
Material Analizado: Maíz(Hojas)

Finca: NA
Departamento: Matagalpa
Municipio: San Isidro

No.	Codigo LABSA	Identificación	Ceniza	N	P	K	Ca	Mg	Na	Micro Elementos						
										Fe	Cu	Mn	Zn	%H		
				%						mg/kg						
1	P-2023-0065	T1		1.95												
2	P-2023-0066	T2		1.84												
3	P-2023-0067	T3		2.05												
4	P-2023-0068	T4		1.86												
5	P-2023-0069	T5		1.57												
										ND: No Detectado						



Ing. MSc. Leonardo García
Director LABSA

Anexo 15. Resultados de laboratorio del contenido de nitrógeno en grano (%), Ciclo 1

31/08/2023



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

Universidad Nacional Agraria
Laboratorio de Suelos y Agua LABSA
LABSA - UNA



Resultados de Análisis en Planta.

Entidad: Privado
Nombre: Deyner Alexis Ramos Castro
Material Analizado: Maíz

Finca: NA
Departamento: Matagalpa
Municipio: Matagalpa

No.	Codigo LABSA	Identificación	Ceniza	N	P	K	Ca	Mg	Micro Elementos					
									Fe	Cu	Mn	Zn	%H	
			%											
1	P-2023-0045	T1		2,56										
2	P-2023-0046	T2		2,43										
3	P-2023-0047	T3		2,27										
4	P-2023-0048	T4		2,41										
5	P-2023-0049	T5		2,51										
									ND: No Detectado					

Ing. MSc. Leonardo García
 Director LABSA

Anexo 16. Resultados de laboratorio del contenido de nitrógeno en grano (%), Ciclo 2

11/12/2023



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

Universidad Nacional Agraria
Laboratorio de Suelos y Agua LABSA
LABSA - UNA



Resultados de Análisis en Planta.

Entidad: Privado
Nombre: Deyner Alexis Ramos Castro
Material Analizado: Maíz

Finca: NA
Departamento: Matagalpa
Municipio: San Isidro

No.	Codigo LABSA	Identificación	Ceniza	N	P	K	Ca	Mg	Na	Micro Elementos				
										Fe	Cu	Mn	Zn	%H
			%						mg/kg					
1	P-2023-0060	T1		2,20										
2	P-2023-0061	T2		2,27										
3	P-2023-0062	T3		2,24										
4	P-2023-0063	T4		2,24										
5	P-2023-0064	T5		2,17										
									ND: No Detectado					

Ing. MSc. Leonardo García
 Director LABSA

Anexo 17. Poblaciones de *Azospirillum* sp, en UFC/g en raíces de plantas en el ciclo 1.



29 de agosto de 2023

I.- Información General

Atención:	Deyner Alexis Ramos Castro
Nombre persona contacto:	Deyner Alexis Ramos Castro
Ubicación:	Managua
Cultivo:	Maiz
Muestra:	Tejido raíces
Fecha de colecta:	-----

II. Resultados análisis de bacterias y hongos en tejido. Técnica de dilución en serie.

Muestra	UFC/g suelo	Bacterias	UFC/g suelo	Hongos
T1	5×10^4 3×10^4	<i>Bacillus</i> sp <i>Azospirillum</i> sp	5×10^3 1×10^3	<i>Aspergillus</i> sp <i>Fusarium</i> sp
T2	3×10^4 18×10^4 3×10^4	<i>Bacillus</i> sp <i>Azospirillum</i> sp <i>Staphylococcus</i> sp	2×10^4	<i>Penicillium</i> sp
T3	5×10^4 8×10^4 2×10^3	<i>Bacillus</i> sp <i>Azospirillum</i> sp <i>Staphylococcus</i> sp	4×10^3 2×10^3	<i>Aspergillus</i> sp <i>Levadura</i> sp
T4	4×10^4 7×10^3	<i>Bacillus</i> sp <i>Azospirillum</i> sp	1×10^4 1×10^3	<i>Aspergillus</i> sp <i>Penicillium</i> sp
T5	7×10^4 1×10^3	<i>Bacillus</i> sp <i>Azospirillum</i> sp	5×10^3	<i>Aspergillus</i> sp

M/R

Ing. Markelyn Rodríguez Zamora-MSc.
Docente DPAF-FAGRO
Responsable Laboratorio Microbiología Agrícola



Anexo 18. Poblaciones de *Azospirillum* sp, en UFC/g en raíces de plantas en el ciclo 2.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
Facultad de Agronomía
Departamento de Protección Agrícola y Forestal



01 de diciembre de 2023

I.- Información General

Atención:	Deyner Alexis Ramos Castro
Nombre persona contacto:	Deyner Alexis Ramos Castro
Ubicación:	Managua
Cultivo:	Maiz
Muestra:	Tejido raíces
Fecha de colecta:	-----

II. Resultados análisis de bacterias en tejido. Técnica de dilución en serie.

Muestra	UFC/g suelo	Bacterias
T1	1×10^4	<i>Azospirillum</i> sp
T2	2×10^4	<i>Azospirillum</i> sp
T3	2×10^4	<i>Azospirillum</i> sp
T4	1×10^4	<i>Azospirillum</i> sp
T5	4×10^4	<i>Azospirillum</i> sp

Ing. Markelyn Rodríguez Zamora MSc.
Docente DPAF-FAGRO
Responsable Laboratorio Microbiología Agrícola



Anexo 19. Resultado de Análisis físico-químico de suelo en finca ubicada en el municipio de San Isidro, departamento de Matagalpa, 2023.



Laboratorio de suelos y agua de la UNA
 UNA-LABSA
 Formato del sistema de gestión
Informe de resultados de análisis químicos en suelos
 LABSA-FG-7.8-01 Versión 01 Revisión 0



Fecha de recepción de muestra: 4/9/2023 Fecha emisión/Informe: 8/9/2023
 Fecha de Muestreo: 4/9/2023 Fecha análisis: 08/09/2023
 Entidad: NA Finca: NA
 Contacto: Deyner Alexis Ramos Castro Municipio: San Isidro
 Descripción de la muestra: Muestra No.1 Departamento: Matagalpa
 Código/LABSA: S-2023-0352 Informe No. 9060

		Parámetro	Resultados	Unidades	Método
RUTINA		pH (HzO)	6,91	-	GLOSOLAN-SOP-05
		Materia Orgánica	3,12	%	GLOSOLAN-SOP-02
		Nitrógeno	N/A	%	GLOSOLAN-SOP-14
		Carbono Orgánico	N/A	g/kg	GLOSOLAN-SOP-03
		Fósforo disponible	12,34	ppm	GLOSOLAN-SOP-18
		Conductividad Eléctrica	95,37	µS/cm	GLOSOLAN-SOP-07
BASIS DEL SUELO INTERCAMBIABLE DISEÑABLE		Aluminio	N/A	mEq/100 g suelo	NOM-021-RECNAT-2006/IAS-33
		K	1,18	mEq/100 g suelo	KSSL-q8arb (MODIFICADO)
		Ca	14,54	mEq/100 g suelo	KSSL-q8arb (MODIFICADO)
		Mg	3,16	mEq/100 g suelo	KSSL-q8arb (MODIFICADO)
		K	1,46	mEq/100 g suelo	KSSL-q8arb
		Ca	17,63	mEq/100 g suelo	KSSL-q8arb
		Mg	3,80	mEq/100 g suelo	KSSL-q8arb
		Na	0,30	mEq/100 g suelo	KSSL-q8arb
		CIC	37,33	mEq/100 g suelo	KSSL-q8a
MICROELEMENTOS		Fe	11,80	mg/kg	MELICH 1
		Cu	0,80	mg/kg	MELICH 1
		Mn	25,50	mg/kg	MELICH 1
		Zn	2,10	mg/kg	MELICH 1
ANÁLISIS ESPECIALES		Carbonatos	N/A	mg/kg	NOM-021-RECNAT-1006/IAS-30
		B	N/A	mg/kg	AZOMETINA-H
		SO42-	N/A	mg/kg	TURBIDIMÉTRICO
		NO3-	N/A	mg/kg	ESPECTROFOTOMÉTRICO UV-VIS
		NH4+	N/A	mg/kg	ESPECTROFOTOMÉTRICO UV-VIS
		Acidez intercambiable	N/A	mEq/100 g suelo	NOM-021-RECNAT-2006/IAS-33
		Hidrógeno intercambiable	N/A	mEq/100 g suelo	Cálculo
	pH (KCl)	N/A	-	GLOSOLAN-SOP-06	

Se da fe únicamente de la muestra analizada

Las opiniones e interpretaciones no se encuentran dentro del alcance de acreditación y son emitidas bajo la responsabilidad del Laboratorio. El laboratorio tiene disponible la información completa relativa a los ensayos.

Se indica con asterisco los parámetros dentro del alcance de Acreditación

Leyenda:

ND: No detectado

NA: No analizado

Ing. MSc. Leonardo García Cordero

Director de LABSA

NO VÁLIDO SIN FIRMA Y SELLO



FIN DE ESTE INFORME

No.	Cod. LABSA	IDENTIFICACION	PROF.			DENSIDADES			RETENCION DE HUMEDAD			PLASTICIDAD			PARTICULAS %			CLASE TEXTURA	
			cm	Da	Dr	CC	% H	PMP	LIP	LSP	%IP	Arcilla	Limo	Arena					
1	S-2023-0352	Muestra No.1														30,92	19,94	49,14	Franco Arcillosa Arenosa