

EVALUACION DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES CON ENMIENDAS
MINERALES PARA LA PRODUCCION DE BIOINSUMOS EN BIAGRO - META



KAREN GERALDINE MONJE MOLINA



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2025

AUXILIATURA DE INVESTIGACIÓN
EVALUACION DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES CON ENMIENDAS
MINERALES PARA LA PRODUCCION DE BIOINSUMOS EN BIAGRO

KAREN GERALDINE MONJE MOLINA

Documento final de modalidad de auxiliatura de investigación para optar por el título de
Ingeniero Ambiental

Director:

Msc. ANGELA MARIA SASTOQUE SALCEDO

Magister Scientiae en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas

Codirector:

Msc. LEYDY JOHANNA ARBOLEDA MONTES

Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente Geóloga.

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2025

Autoridades Académicas

P. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O. P.

Rector General

P. Mauricio Antonio CORTÉS GALLEGO, O.P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O. P.

Rector Seccional Villavicencio

P. Rodrigo GARCIA JARA, O. P.

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

Mg. Julieth Andrea SIERRA TOBÓN

Secretaria General Seccional Villavicencio

Mg. William PEÑARANDA ZÁRATE

Decano de la Facultad de Ingeniería Ambiental

Dedicatoria

Quisiera empezar agradeciendo a mi mamá Fabiola Molina, porque sin ella este sueño no sería posible, por siempre confiar en mí, por siempre ser mis ganas de salir adelante al igual que con mi papa Álvaro Monje, que, aunque no te encuentres en este plano para mí siempre serás esa estrella que cada día alumbra mi corazón. A Hanna y Parshall por alegarme siempre. A mi familia, Pilar, Rubiela, Michael, Samuel, Juliana y Juan por confiar siempre en cada paso y creer que todo en la vida se puede, a mi Bae, que como lo expresa su significado, siempre será esa persona que me apoyará y me dará el mejor consejo y por último a mi abuela Marina porque por ella soy la persona que soy hoy en día.

A mis amigos que me acompañaron en la carrera, porque de cada uno aprendí muchas cosas, a Andrea porque sin importar quien, siempre busca lo mejorar para cada uno y a las personas que ayudaron a forjarme como ingeniera hoy en día. A mis profesores por forjarme en cada paso del pregrado, al profesor Daniel Trujillo por siempre estar pendiente de los estudiantes y su apoyo incondicional, por último, a mi directora y codirector por confiar en mi en este proceso.

Por último, a Erick Santiago, porque desde el primer momento confió en mi como persona, estudiante, amiga y novia, por ser mi polo a tierra, por nunca dejarme sola y tomar mi mano hasta el final, por siempre querer lo mejor para mi y por amarme incondicionalmente.

Contenido

Resumen	7
Abstract	7
1.	Introducción 8
2.	Justificación 9
3.	Objetivos De La Investigación..... 10
3.1	General..... 10
3.2	Específicos 10
4.	Objetivos De La Auxiliatura 10
4.1	General..... 10
4.2	Específicos 10
5.	Descripción y análisis de las actividades realizadas 11
5.1	Microbiología del suelo antes de la aplicación del bioinsumo 13
5.2	Decantación a base de sales 21
5.2.1.	<i>Procedimiento de ormus (sal de upin y soda caustica)</i> 21
5.2.2.	<i>Procedimiento de calfos (cal dolomita + potasa caustica)</i> 22
5.3	Microbiología del suelo después de la aplicación del bioinsumo 24
5.4	Resultados del cultivo de sorgo 30
5.5	Resultado del cultivo de avena 34
6.	Conclusiones 38
7.	Referencias Bibliográficas 39
8.	Anexos 43

Lista de Figuras

Figura 1.	Distribución de secciones y tuberías principales de riego..... 11
Figura 2.	Preparación y servido de medios en la cabina de flujo laminar. 14
Figura 3.	Preparación del suelo en agua peptonada..... 15
Figura 4.	Vertido de medios dentro de la cabina de flujo laminar. 15

Figura 5. Procedimiento de Ormus.	22
Figura 6. Comparación de los microorganismos antes y después de la aplicación del bioinsumo.	29
Figura 7. Altura promedio del cultivo de Sorgo de los diseños experimentales.....	30
Figura 8. Promedio de numero de hojas para el Cultivo de Sorgo.	31
Figura 9. Ancho promedio de las hojas del cultivo de Sorgo.	32
Figura 10. Conductividad eléctrica promedio para el cultivo de Sorgo.	33
Figura 11. pH promedio en el cultivo de Sorgo.	34
Figura 12. Altura promedio del cultivo de Avena.....	35
Figura 13. Numero de hojas promedio de Cultivo de Avena.....	35
Figura 14. Ancho promedio de hojas (cm) para el cultivo de Avena.....	36
Figura 15. Conductividad promedio dS/m para el cultivo de Avena.	37
Figura 16. pH promedio del cultivo de Avena.	38

Lista de Tablas

Tabla 1. Recuento de microorganismos del suelo antes de la aplicación del bioinsumo.....	16
Tabla 2. Características morfológicas del suelo antes de la aplicación del bioinsumo.....	17
Tabla 3. Proceso de adición de cal y potasa caustica.	23
Tabla 4. Proceso de adición de cal y potasa caustica.	23
Tabla 5. Recuento de microorganismos del suelo después de la aplicación del bioinsumo	26
Tabla 6. Caracterización morfológica del suelo después de la aplicación del bioinsumo.	26

Lista de Anexos

Anexo 1. <i>Resultados de las variables del cultivo de sorgo.</i>	43
Anexo 2. <i>Resultados de las variables del cultivo de Avena.</i>	47

Resumen

El presente documento evalúa el uso de aguas residuales industriales tratadas con enmiendas minerales para la producción de bioinsumos en la empresa Bioagro, se estableció una línea microbiológica del suelo antes y después de la aplicación del bioinsumo, monitoreando variables claves como: la altura de la planta, ancho de las hojas, número de hojas, conductividad eléctrica y pH. También se implementaron prácticas de decantación de sales para obtener enmiendas minerales como el calfos y el Ormus, con el objetivo de enriquecer el suelo y mejorar su fertilidad. Los resultados demostraron que el uso de enmiendas minerales permitió un crecimiento en la actividad microbiana benéfica del suelo, favoreciendo los cultivos experimentales de Sorgo y Avena. Este concluye que la reutilización de aguas residuales industriales junto con enmiendas minerales es una estrategia sostenible para la agricultura regenerativa, contribuyendo en la reducción de los impactos ambientales en el uso de químicos y optimizando el recurso hídrico en el sector agrícola.

Palabras Clave: Bioinsumo, Enmienda mineral, Agua residual industrial, decantación, Microbiología.

Abstract

This document evaluates the use of industrial wastewater treated with mineral amendment to produce bioinputs in the company BioAgro, a microbiological line was established for the soil before and after application of the bioinput, Monitoring key variables such as plant height, leaf width, number of leaves, electrical conductivity and pH. Salt decantation practices were also implemented to obtain mineral amendments such as caliphs and ormus, with the aim of enriching the soil and improving its fertility. The results showed that the use of mineral amendments allowed a growth in beneficial microbial activity of the soil, favoring experimental crops of Sorgo and Avena. It concludes that the re-use of industrial wastewater together with mineral amendment is a sustainable strategy for regenerative agriculture, contributing to the reduction of environmental impacts in the use of chemicals and optimizing water resources in the agricultural sector.

Keywords: Bioinput, Mineral amendment, Industrial wastewater, decantation, Microbiology.

Introducción

Las aguas residuales son aquellas donde su calidad se afectada negativamente por las actividades antropogénicas procedentes de vertidos de diferente origen, pueden ser de desechos urbanos o industriales, en algunos casos estas aguas son transportadas por medio de sistemas de alcantarillado y tratadas mediante plantas de tratamiento de aguas para su disposición final como vertimientos (Red Internacional para el Desarrollo de Capacidades en la Gestión Integrada del Recurso Hídrico, 2005). El 80% de las aguas residuales son vertidas al ambiente sin recibir un tratamiento previo por lo que a veces impactan de manera negativa al ambiente, sin embargo, con un tratamiento adecuado este se recupera en todos sus sentidos (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000). Según el informe *Wastewater: From Waste to Resource (Aguas residuales: De residuo a recurso)* se toman medidas para la restauración de las aguas residuales mediante la recuperación de los recursos, donde se analizaron varios proyectos de diferentes países para el beneficio de la gente, la economía y el medio ambiente, teniendo como conclusión que, el tratamiento de las aguas residuales contienen bastantes beneficios aparte de los económicos y medioambientales, al tratar estas se obtienen derivados como lo son de nutrientes y biogás que logran ser utilizados en el sector agrícola (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Estas nuevas propuestas recalcan los nuevos paradigmas en la gestión del agua implementando así la economía circular al incluir las aguas residuales como un recurso hídrico para equilibrar la demanda y oferta en zonas áridas y semiáridas (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000). Cuando se habla de la reutilización o recirculación del agua, hablamos de la aplicación un tratamiento adicional a estas aguas de origen domestico o industrial con el simple objetivo de incorporarlas nuevamente en otros procesos, en la reutilización de las aguas industriales es necesario tener en cuenta que estas contienen diversas sustancias, nutrientes y organismos que pueden llegar a presentarse como tóxicos o provocar enfermedades y por otro lado estos pueden ser necesarios para su uso e incorporación en la industria, como lo puede ser en la elaboración de bioinsumos, para ello es fundamental conocer la composición del agua a tratar y aplicar el tratamiento adecuado para evitar o minimizar el riesgo si es necesario (Perdigones, 2022).

Los bioinsumos juegan un papel importante en la agricultura sustentable hoy en día, pues el uso de pesticidas y fertilizantes sintéticos han generado preocupaciones ambientales, es por ello que se han creado alternativas ecológicas con el fin de mitigar el daño ecológico y restaurar la biodiversidad del suelo, estos bioinsumos abarcan diversas bacterias y hongos que no solo

promueven el crecimiento de las plantas, sino que también ayudan a la solubilización de fosfatos, producción de compuestos complejos y la fijación de nitrógeno (Perdigones, 2022).

Uno de los macronutrientes más esenciales para las plantas en los bioinsumos son el fósforo y el nitrógeno, lo que logra aumentar la fertilidad del suelo (Perdigones, 2022), para ello algunos agricultores preparan e implementan caldos microbiológicos que incluyen calfos, que aportan grandes cantidades de minerales como el fósforo, calcio y magnesio que ayudan en la transformación de estos en la planta formando un equilibrio entre estos, además corrige la acidez del suelo favoreciendo así el desarrollo de los cultivos con mayor rendimiento (Perdigones, 2022).

El objetivo de esta investigación busca establecer una línea base microbiológica para el proyecto de Modelo de circularidad de aguas de producción petrolera para la expansión de la agricultura regenerativa en el Departamento del Meta para el desarrollo de un bioinsumo que contenga elementos de la Orinoquia, para la circulación de esta agua se debe tener en cuenta la calidad en la que se encuentran por ello es necesario analizarla físicoquímicamente según la resolución 631 de 2015 estableciendo la calidad de esta mediante los métodos establecidos en el Standard Methods for the examination of Water and wastewater, esto es necesario pues estos bioinsumos se conforman de 90% agua y 10% minerales, en cuanto a los minerales se establecen actividades de decantaciones de sales para la obtención del Calfos pasándose a llamar enmienda mineral, esto junto con el agua industrial se combinan para obtener el bioinsumo. Por último, para la verificación de la aplicación del bioinsumo se realizan pruebas microbiológicas para determinar el cambio del suelo antes y después de la aplicación de este.

Justificación

El siguiente informe tiene como objetivo implementar soluciones sostenibles para la optimización del recurso hídricos en la agricultura aprovechando el potencial de la reutilización de aguas residuales industriales. Además, que la creciente demanda por el uso de insumos agrícolas ecológicos ayudan en el desarrollo de estrategias innovadoras basadas en la bioeconomía. La evaluación de estas aguas como base para la producción de bioinsumos demuestra una oportunidad de mejora en la fertilidad del suelo, promoviendo el crecimiento vegetal. Asimismo, aporta conocimiento sobre la interacción de microorganismos del suelo y las enmiendas minerales, permitiendo practicas más sostenibles que contribuyan a la reducción de impactos ambientales en el sector agrícola.

1. Objetivos De La Investigación

1.1 Objetivo General

Establecer un modelo de circularidad alrededor del agua tratada de producción, que permita la elaboración de insumos para la expansión de la agricultura regenerativa en el departamento del Meta.

1.2 Objetivos Específicos

- Establecer una línea base de las condiciones fisicoquímicas del agua a usar en el proyecto (Según selección de campos asignados por Ecopetrol).
- Evaluar un mínimo de tres minerales aptos para el uso como bioinsumos en el Meta a partir de la oferta Geológica/Mineral del área de estudio.
- Diseñar un prototipo de biofábrica itinerante que permita acercar los bioinsumos a los focos de producción petrolera y agrícola.
- Medir a través de tecnología el impacto de los bioinsumos en dos cultivos de ciclo corto como piloto.

2. Objetivos De La Auxiliatura

2.1 Objetivo General

Analizar el uso de enmiendas minerales en suelos de cultivos experimentales de Sorgo y Avena de la empresa BioAgro mediante el uso de prácticas microbiológicas para la producción de bioinsumos a base de aguas residuales industriales de Ecopetrol Castilla La Nueva.

2.2 Objetivos Específicos

- Establecer una línea base microbiológica del Suelo de Bioagro para conocer el estado de este y los microorganismos presentes.

- Implementar el proceso de decantaciones con sales de Upin, soda caustica, cal y potasa caustica para la obtención de enmiendas minerales destinadas a la implementación de bioinsumos.
- Evaluar la eficacia de bioinsumo en el desarrollo de los cultivos experimentales mediante el monitoreo de variables agroecológicas y microbiológicas del suelo.

3. Descripción y análisis de las actividades realizadas

En la presente auxiliatura se pretende demostrar la validez del bioinsumo creado por la empresa BioAgro, para ello es necesario realizar una comparación microbiológica de los suelos del cultivo de Sorgo y Avena, que fueron los cultivos experimentales, este se llevó a cabo en una parcela de 2000 m² ubicados en el municipio de Ubaque, Cundinamarca a una altitud de 2200 msnm (ver Figura 1). Las parcelas estuvieron equipadas con un sistema de fertirriego por medio de goteo para permitir la aplicación precisa del bioinsumo que de ahora en adelante la llamaremos enmienda mineral, (puesto que en estos términos nos referimos en la parte bio como minerales que se encuentran de forma natural), mediante un sistema Venturi.

Figura 1. Distribución de secciones y tuberías principales de riego.



Nota. Para la distribución del riego, se organizó la estructura presentada en la figura 1, siendo las líneas naranjas la tubería principal. Fuente: Martínez y Marin,(2024)

El diseño experimental se presentó en forma de cuatro tratamientos principales:

Testigo: tratamiento con solo riego

- **Sorgo (ST)**
- **Avena (AT)**

Enmienda mineral: (agua derivada de aguas de producción petrolera + enriquecimiento mineral)

- **Sorgo (SBio+Eco)**
- **Avena (ABIO+Eco)**

Se monitorearon las siguientes variables para ver la diferencia de los cultivos con los diseños experimentales tanto del Sorgo y la Avena, estas variables consistieron en:

- **Altura de la planta (cm):** desde el suelo hasta la punta más alta de esta.
- **Número de hojas formadas en la planta:** recuento de todas las hojas desarrolladas.
- **Ancho de las hojas (cm):** toma de medición del ancho de las hojas cercanas a la base.
- **Conductividad eléctrica (dS/m):** determinación de la conductividad eléctrica para su evaluación de capacidad de transmisión de corriente eléctrica.
- **pH:** indicador de alcalinidad del suelo.

Se evalúan así estas variables para los diseños experimentales para confirmar la efectividad del bioinsumo, esto se logrará confirmar por medio de la comparación de los diseños experimentales en los periodos de 4/05/2024 al 14/06/2024, se espera que la efectividad del bioinsumo se evidencie en las variables nombradas, siendo los SBio+Eco y ABio+Eco los diseños experimentales que más demuestren un crecimiento vegetal robusto a comparación de los testigos, se debe tener en cuenta que la enmienda mineral (componente del bioinsumo) contiene Calfos el cual van a impactar de manera saludable tanto a la Avena y el Sorgo, pues mejorara la disponibilidad de fosforo y nitrogeno en el suelo dando un crecimiento vigoroso en los cultivo (Torres-Moya et al., 2016). El calfos aporta 2 macronutriente esenciales en el crecimiento y desarrollo vegetal de las plantas, como lo es el fosforo y el calcio (El-Ghany et al., 2021), el fosforo es un elemento fundamental para la fotosíntesis, la formación de raíces y el desarrollo de frutos y semillas (Rizvi et al., 2021), además que el calcio mejora la estructura de la planta y ayuda a la absorción de nutrientes (Mulaudzi et al., 2020). La verificación de esto se hará mediante practicas

microbiológicas para la identificación de microorganismos solubilizadores de fosforo principalmente, además de microorganismos de nitrógeno, esto para identificar los microorganismos presentes en los cultivos y ver su función después de aplicado el bioinsumo, si estos aumentan después de su aplicación quiere decir que este es funcional, además de la evolución de las variables antes mencionadas.

3.1 Microbiología del suelo antes de la aplicación del bioinsumo

Esta actividad fue realizada para observar y determinar con que microorganismos contaba el suelo de los diseños experimentales y si este era funcional para la prueba, para ello se realizaron análisis microbiológicos mediante la técnica de dilución en serie y siembra en placa o siembra masiva, estas técnicas son utilizadas para la cuantificación de microorganismos presentes en una muestra. La dilución en serie consiste en realizar diluciones sucesivas de una muestra original para reducir la concentración de microorganismos facilitando su recuento (Sanz Cerveza, 2011), esta fue necesaria para determinar los microorganismos que se encontraban presentes en la muestra de suelo de los diseños experimentales del sorgo y avena. La técnica de siembra masiva se realizó para que la muestra quedara dispersa por toda la placa, asegurando así que quedara homogéneamente distribuida en el agar, además de permitir el recuento de unidades formadoras de colonias (UFC/ml) (Urzúa, 2018).

Principalmente fue necesaria la esterilización de los materiales que fueron utilizados en las practica (Erlenmeyer, cajas Petri, tubos de ensayo y frasco de muestras) mediante el uso del autoclave. La preparación de los medios a utilizar se llevó a cabo según las instrucciones determinadas en cada uno.

Se prepararon así los medios: MSA (Manitol Salt Agar) para la determinación de bacterias fijadoras de nitrógeno en la muestra de suelo, para el caso de la identificación de bacterias solubilizadores de fosfato, se utilizó el medio selectivo y diferencial denominado Agar Pikovskaya, para los microorganismos halófilos se utilizó el medio cultivo MRS (Agar Man, Rogosa y Sharpe) apropiado para el aislamiento y recuento de microorganismos lactobacilos y otras bacterias como las halófilas, por último, para la determinación de hongos y microorganismos fitopatógenos y benéficos se empleó el medio de cultivo PDA (Agar Papa Dextrosa). Para cada uno de estos se hicieron 2 réplicas, teniendo así un total de 8 medios, preparando así 40 ml para cada medio,

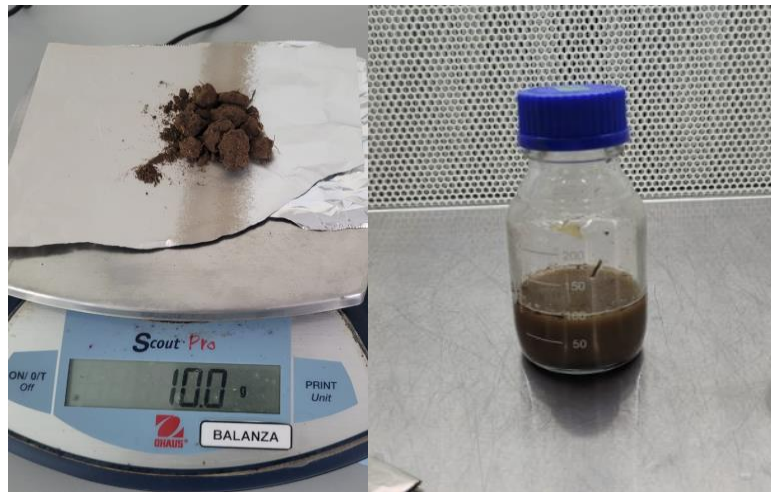
teniendo en cuenta que son 20ml por caja Petri siendo 2 réplicas para cada uno. Después de preparados son llevados a la autoclave si así lo indica, se esterilizan y se sirven en la cabina de flujo laminar para evitar así cualquier contaminación (ver Figura 2).

Figura 2. *Preparación y servido de medios en la cabina de flujo laminar.*



Nota. Todo aquello procedimiento de siembra y servido se debe hacer en las cabinas de flujo laminar o en otros casos cerca de un mechero para evitar la contaminación de estos.

Es necesario aclarar que la muestra de suelo se encontraba debidamente refrigerada cumpliendo con las normas para el análisis microbiológico del suelo, para el análisis de este es necesario el uso de agua peptonada, medio que favorece el crecimiento de bacterias, pues proporciona los nutrientes esenciales para la proliferación de estos. Para ellos se prepara el suelo, se pesaron 10gr de este y se ingresaron al frasco con agua peptonada (100ml) estéril agitando hasta homogenizar la muestra (ver Figura 3).

Figura 3. *Preparación del suelo en agua peptonada.*

Nota. Todo aquello procedimiento de siembra y servido se debe hacer en las cabinas de flujo laminar o en otros casos cerca de un mechero para evitar la contaminación de estos..

Después de tener la muestra de suelo preparada, empieza el vertido del medio en las cajas Petri dentro de la cabina de flujo laminar (ver Figura 4), luego de esto y que el medio se encuentre solido se procede a sembrar de forma masiva con un asa redonda de la dilución escogida, en este caso se tenían 2 réplicas para cada medio, por lo que en una réplica se sembró con una dilución de 10^2 y en la réplica restante 10^3 , en este caso después de sembrar y que pasara el tiempo de incubación (24 a 48hr a 37°C) los resultados indicaron que la dilución 10^3 era la más adecuada.

Figura 4. *Vertido de medios dentro de la cabina de flujo laminar.*

Nota. Todo aquello procedimiento de siembra y servido se debe hacer en las cabinas de flujo laminar o en otros casos cerca de un mechero para evitar la contaminación de estos.

Pasado el tiempo de incubación, se pudo evidenciar crecimiento en los medios MSA, Pikovskaya y PDA, sin embargo, para el MRS no hubo crecimiento, los resultados se logran evidenciar en la tabla 1, teniendo una descripción más clara tanto macroscópicamente como microscópica. Para el hallazgo de los microorganismos presentes se empleó la tinción de gram para conocer si eran gram negativas o positivas, esto para determinar mejor el microorganismo encontrado, se aclara que se busca bibliográficamente que microorganismos se pueden encontrar para cada medio, luego se hace una búsqueda de aquellos microorganismos presuntivos y se empiezan a hallar por su morfología.

Tabla 1. Recuento de microorganismos del suelo antes de la aplicación del bioinsumo.

Medio	¿Hubo crecimiento?	Recuento	Dilución	Recuento + dilución (UFC/g)
MSA	Si	15	10^{-2}	15×10^{-2}
	Si	incontable	10^{-3}	Incontable
Pikorskaya	Si	2	10^{-3}	2×10^{-3}
	Si	11	10^{-3}	11×10^{-3}
	Si	21	10^{-3}	21×10^{-3}
	Si	1	10^{-3}	1×10^{-3}
	Si	incontable	10^{-3}	Incontable
PDA	Si	75	10^{-3}	75×10^{-3}
	Si	2	10^{-3}	2×10^{-3}
MRS	No	*	*	*

Nota. Para los medios Pikorskaya, PDA y MRS se utilizaron concentraciones de 10^{-3} estimando la posible carga con la que venía la muestra de suelo, sin embargo para la identificación de presencia de microorganismos fijadores de nitrógeno no fue posible utilizar esta dilución pues su resultado con esta dilución fue de una colonia, por lo cual para determinar si habían o no microorganismos fijadores de nitrógeno se utilizó una dilución de 10^{-2} en donde se logró identificar que si hay presencia en baja proporción dentro de la muestra de suelo.

Para dar más claridad a los resultados obtenidos a continuación se describen los resultados microbiológicos para cada uno de los medios utilizados con su respectiva caracterización macroscópica y microscópica (ver Tabla 2):

Tabla 2. Características morfológicas del suelo antes de la aplicación del bioinsumo.

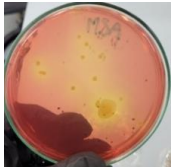
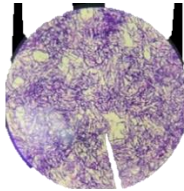
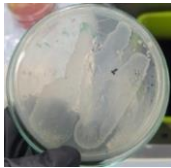
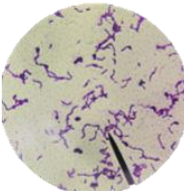
Medio	Recuento + dilución (UFC/g)	Caracterización morfológica		Microorganismos
		Macroscópica	Microscópica	
MSA	15×10^{-2}		Colonias de color amarillo con un halo luminoso de forma redonda y cremosa 	Bacilos Gram positivo <i>Staphylococcus aureus</i>
Pikoskaya	Incontable		Colonias lisas de color beige 	Bacilos Gram positivos <i>Bacillus subtilis</i>

Tabla 2. Continuación.

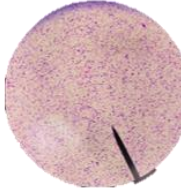
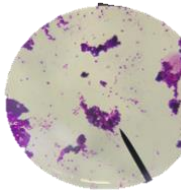
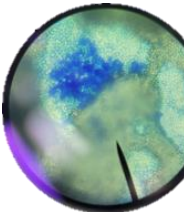
Medio	Recuento + dilución (UFC/g)	Caracterización morfológica		Microorganismos
		Macroscópica	Microscópica	
Pikoskaya	2×10^{-3}		Colonia lisa no definida de color amarillo claro 	Cocos Gram positivos/negativos Sin registros
	11×10^{-3}		Levadura no definida con textura grumosa y color crema 	Estafilococos Gram positivos Micrococcus
	21×10^{-3}		Hongos de textura algodonosa de color blanco 	Hongos de textura algodonosa de color blanco Aspergillus

Tabla 2. Continuación.

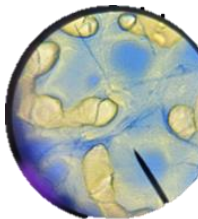
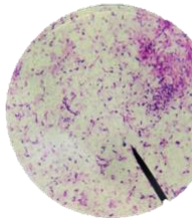
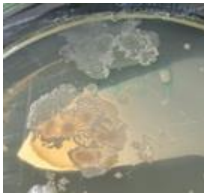
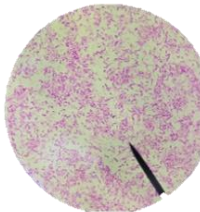
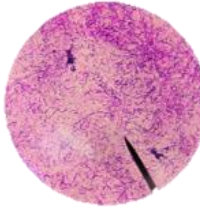
Medio	Recuento + dilución (UFC/g)	Caracterización morfológica		Microorganismos	
		Macroscópica	Microscópica		
Pikoskaya	1x10^-3		Colonia circular de color verde café con borde filamentoso y textura lanosa. Reverso verde negruzco y con estrías en su centro 	Hifas	Aspergillus niger
			Colonias lisas no definidas de color transparente 	Bacilos Bacteria/Levadura tipo Gram positivos	
PDA	Incontaminable				Bacillus subtilis

Tabla 2. Continuación.

Medio	Recuento + dilución (UFC/g)	Caracterización morfológica		Microorganismos
		Macroscópica	Microscópica	
PDA	75×10^{-3}	 Colonias lisas no definidas de color transparente so	 Bacilos tipo Gram negativos	Pseudomonas
	2×10^{-3}	 Colonia cremosa de color crema	 Bacilos Bacteria/Levadura tipo Gram negativas	Sin registros
MRS	*		Ausencia	

Nota. Los microorganismos fueron hallados mediante investigaciones de los microorganismos posibles en los fundamentos de cada Agar. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en los medios de cultivos revelan la presencia de varios microorganismos del suelo, por lo tanto, también se debe tener en cuenta la detección de *Staphylococcus aureus* que es un indicador de la contaminación del suelo, sin embargo, se obtienen también que la presencia de *Bacillus subtilis*, *Micrococcus*, *Aspergillus spp.*, *Aspergillus niger* y *Pseudomonas* indican una diversidad microbiana saludable. Estos estarían desempeñando un papel importante en el suelo pues:

- *Bacillus subtilis*

Es un microorganismo que promueve el crecimiento vegetal y ayuda a suprimir las enfermedades de las plantas, pues pueden llegar a controlar las enfermedades de estas por medio de la secreción de sideróforos limitando el crecimiento de microorganismos fitopatógenos (Villarreal-Delgado et al., 2018) .

- ***Micrococcus***

Es un microorganismo que se encuentra comúnmente en el suelo y participa en la descomposición de materia orgánica, durante este proceso los microbios logran atrapar nitrógeno del suelo y materia orgánica, almacenando nutrientes en el suelo (Izquierdo & Venegas Yuste, 2015).

- ***Aspergillus spp***

Este hongo es común en el suelo y desempeña un papel en la descomposición de materia orgánica (Ruíz Hernández, 2020).

- ***Pseudomonas***

Estas participan en la fijación de nitrógeno y la degradación de contaminantes, estas mejoran la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Mejía-Bautista et al., 2022) .

Se tiene en cuenta así los resultados del suelo para su comprensión y composición, esto ayudo a conocer con que microorganismos se contaban para los diseños experimentales, además que al aplicar la enmienda mineral se espera que estos aumenten, pues con la aplicación del Calfos y Ormus activa los microorganismos benéficos en el suelo.

3.2 Decantación a base de sales

3.2.1 Procedimiento de ormus (sal de upin y soda caustica)

La decantación es un método físico que se basa en la separación de mezclas heterogéneas que son formadas entre líquidos y sólidos o en algunos casos, dos líquidos con diferente densidad, este método se basa en dejar reposar la mezcla para que el sólido se sedimente, descienda por acción de la gravedad (Sierra y otros, 2016) Se proceden a pesar 1.2 kg de la sal de Upin junto con 900g de soda caustica con 50lt de agua en un recipiente por aproximadamente 10 minutos, luego se deja reposar en el recipiente por 24 horas realizando una decantación para separar el agua de la mezcla de sal creada, pasadas las 24 horas se retira la mayor cantidad de agua sobre nadante para

lograr obtener la sedimentación de la mezcla de la sal, se debe dejar como mínimo 1lt del agua de la decantación que queda posada (ver Figura 5).

Figura 5. *Procedimiento de Ormus.*



Nota. Estos procedimientos se deben realizar con los epps adecuados (cofia, bata anti fluidos, guantes resistentes y tapabocas) estos procesos pueden provocar quemaduras si tiene contacto con la piel.

La aplicación de Ormus proporciona micronutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas mejorando así la fotosíntesis, además incrementa la capacidad del suelo para transmitir electricidad, facilitando la absorción de nutrientes en las raíces (Astudillo López, 2020).

3.2.2 Procedimiento de calfos (cal dolomita + potasa caustica)

Se debe colocar 4.2 Kg de calfos en un recipiente seco, seguido se pone 1Kg de potasa caustica sobre la capa de calfos recién agregada, luego se agregan los 4.1 Kg restantes de calfos encima de la capa de potasa caustica agregada, por último, encima de esta se agrega otro 1 Kg más de potasa caustica teniendo como resultado capas intermedias de calfos y potasa caustica (ver Tabla 3).

Tabla 3. *Proceso de adición de cal y potasa caustica.*

			
Pesaje de cal 4.2 Kg	Adición de 1 Kg de potasa caustica	Adición de la cal restante encima de la adición de la potasa caustica	Adición de 1Kg de potasa caustica encima de la cal

Nota. Estos procedimientos se deben realizar con los epps adecuados (cofia, bata anti fluidos, guantes resistentes y tapabocas) estos procesos pueden provocar quemaduras si tiene contacto con la piel.

Después de agregar la cal y la potasa caustica se agregan los 50 litros de agua gradualmente y agitando lentamente con un bastón de plástico hasta lograr una mezcla homogénea con una consistencia viscosa, se deja en reposar y dentro de 12 o 24 horas después se debe agitar por 10 minutos y así hasta completar 3 días (ver Tabla 4).

Tabla 4. *Proceso de adición de cal y potasa caustica.*

	
Dia 1, agitación de la mezcla Cal + potasa caustica	Dia 3, agitación de la mezcla Cal + potasa caustica

Nota. Estos procedimientos se deben realizar con los epps adecuados (cofia, bata anti fluidos, guantes resistentes y tapabocas) estos procesos pueden provocar quemaduras si tiene contacto con la piel.

Pasados los 3 días, se colan las dos mezclas obtenidas, se agrega 1 lt de sal y soda (ormus) a la mezcla de cal y potasa caustica para obtener un volumen total de 50 lt de la mezcla entre el ormus y la cal, obteniendo así una mezcla de Calfos, para esta mezcla se sacó el sobre nadante de cada mezcla realizada

La adición de calfos en el bioinsumo contiene altas cantidades tanto de Calcio (Ca) y fosforo (P) nutrientes esenciales para la formación de las paredes celulares y el fortalecimiento estructural de las plantas, incrementa la actividad microbiana y contribuye a la neutralización de la acidez gracias al contenido de calcio (Ituyan Pizo & Rivera Otero, 2010).

3.3 Microbiología del suelo después de la aplicación del bioinsumo

Esta actividad fue realizada para observar y determinar con que microorganismos contaba el suelo de los diseños experimentales después de la aplicación del bioinsumo y si este fue funcional para la prueba, para ello se realizaron análisis microbiológicos mediante la técnica de dilución en serie y siembra en placa o siembra masiva, estas técnicas son utilizadas para la cuantificación de microorganismos presentes en una muestra. La dilución en serie consiste en realizar diluciones sucesivas de una muestra original para reducir la concentración de microorganismos facilitando su recuento (Sanz Cerveza, 2011), esta fue necesaria para determinar los microorganismos que se encontraban presentes en la muestra de suelo de los diseños experimentales del sorgo y avena. La técnica de siembra masiva se realizó para que la muestra quedara dispersa por toda la placa, asegurando así que quedara homogéneamente distribuida en el agar, además de permitir el recuento de unidades formadoras de colonias (UFC/ml) (Urzúa, 2018).

Fue necesaria la esterilización de los materiales que fueron utilizados en las practica (Erlenmeyer, cajas Petri, tubos de ensayo y frasco de muestras) mediante el uso del autoclave. La preparación de los medios a utilizar se llevó a cabo según las instrucciones determinadas en cada uno.

Se prepararon nuevamente los medios para su comparación: MSA (Manitol Salt Agar) para la determinación de bacterias fijadoras de nitrógeno en la muestra de suelo, para el caso de la identificación de bacterias solubilizadoras de fosfato, se utilizó el medio selectivo y diferencial denominado Agar Pikovskaya, para los microorganismos halófilos se utilizó el medio cultivo MRS (Agar Man, Rogosa y Sharpe) apropiado para el aislamiento y recuento de microorganismos

lactobacilos y otras bacterias como las halófilas, por último, para la determinación de hongos y microorganismos fitopatógenos y benéficos se empleó el medio de cultivo PDA (Agar Papa Dextrosa). Para cada uno de estos se hicieron 2 réplicas, teniendo así un total de 8 medios, preparando así 40 ml para cada medio, teniendo en cuenta que son 20ml por caja Petri siendo 2 réplicas para cada uno. Después de preparados son llevados al autoclave si así lo indica, se esterilizan y se sirven en la cabina de flujo laminar para evitar así cualquier contaminación.

Es necesario aclarar que la muestra de suelo se encontraba debidamente refrigerada cumpliendo con las normas para el análisis microbiológico del suelo, para el análisis de este es necesario el uso de agua peptonada, medio que favorece el crecimiento de bacterias, pues proporciona los nutrientes esenciales para la proliferación de estos. Para ellos se prepara el suelo, se pesaron 10gr de este y se ingresaron al frasco con agua peptonada (100ml) estéril agitando hasta homogenizar la muestra.

Después de tener la muestra de suelo preparada, empieza el vertido del medio en las cajas Petri dentro de la cabina de flujo laminar, luego de esto y que el medio se encuentre sólido se procede a sembrar de forma masiva con un asa redonda de la dilución escogida, en este caso se tenían 2 réplicas para cada medio, por lo que en una replica se sembró con una dilución de 10^2 y en la réplica restante 10^3 , en este caso después de sembrar y que pasara el tiempo de incubación (24 a 48hr a 37°C) los resultados indicaron que la dilución 10^3 era la más adecuada.

Pasado el tiempo de incubación, se pudo evidenciar crecimiento en los medios MSA, Pikovskaya y PDA, sin embargo, para el MRS no hubo crecimiento, los resultados se logran evidenciar en la tabla 5, teniendo una descripción más clara tanto macroscópicamente como microscópica. Para el hallazgo de los microorganismos presentes se empleó la tinción de gram para conocer si eran gram negativas o positivas, esto para determinar mejor el microorganismo encontrado, se aclara que se busca bibliográficamente que microorganismos se pueden encontrar para cada medio, luego se hace una búsqueda de aquellos microorganismos presuntivos y se empiezan a hallar por su morfología.

Tabla 5. *Recuento de microorganismos del suelo después de la aplicación del bioinsumo.*

Medio	¿Hubo Crecimiento?	Recuento	Dilución	Recuento + dilución (UFC/g)
MSA	Si	Incontable	10^3	Incontable
Pikorskaya	Si	300	10^3	300×10^3
	Si	Incontable	10^3	Incontable
PDA	Si	5	10^3	5×10^3
MRS	No			Ausencia

Nota. Para los medios Pikorskaya, PDA, MSA y MRS se utilizaron concentraciones de 10^{-3} estimando la posible carga con la que venía la muestra de suelo. Para dar más claridad a los resultados obtenidos a continuación se describen los resultados microbiológicos para cada uno de los medios utilizados con su respectiva caracterización macroscópica y microscópica (ver Tabla 6)

Tabla 6. Caracterización morfológica del suelo después de la aplicación del bioinsumo.

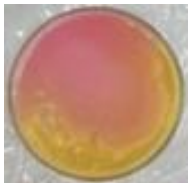
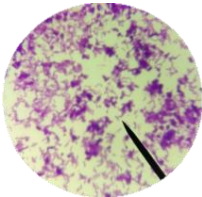
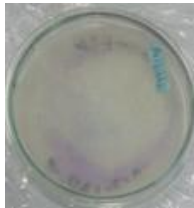
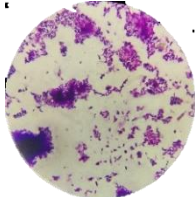
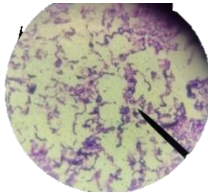
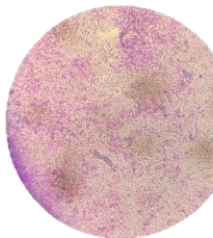
Medio	Recuento + dilución (UFC/g)	Caracterización morfológica		Microorganismos	
		Macroscópica	Microscópica		
MSA	Incontable		Colonias de color amarillo con un halo luminoso de forma redonda y cremosa	 Bacilos Gram positivo	<i>Staphylococcus aureus</i>
Pikoskaya	300X10 ³		Colonias lisas de color beige	 Bacilos Gram positivos	<i>Bacillus subtilis</i>

Tabla 6. Continuación.

Medio	Recuento + dilución (UFC/g)	Caracterización morfológica		Microorganismos
		Macroscópica	Microscópica	
PDA	Incontable		Colonias lisas no definidas de color transparente 	Bacilos Bacteria/Levadura tipo Gram positivos <i>Bacillus subtili</i>
	5X10^3		Colonias lisas no definidas de color transparente 	Bacilos tipo Gram negativos <i>Pseudomonas</i>
MRS			Ausencia	

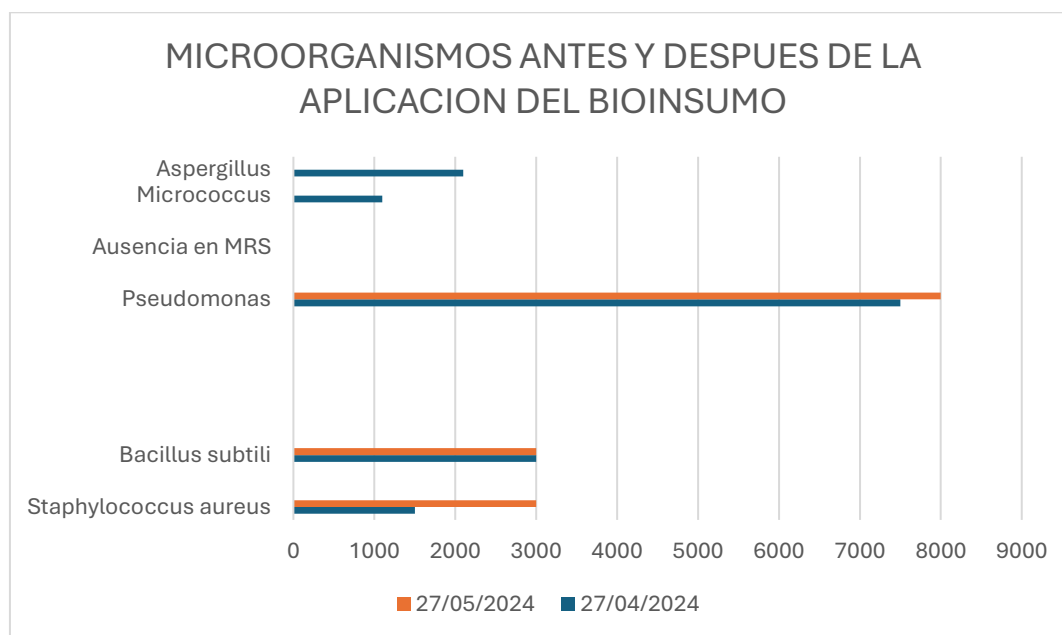
Nota. Los microorganismos fueron hallados mediante investigaciones de los microorganismos posibles en los fundamentos de cada Agar.

Se obtienen así, resultados de los microorganismos en los medios de cultivo, a diferencia del suelo antes de la aplicación del bioinsumo, después de esta los microorganismos *Micrococcus*, *Aspergillus* y *Aspergillus niger* fueron ausentes, esto puede ser debido a la competencia microbiana con los demás microorganismos, lo que altera su entorno y puede provocar su inhibición, además

que los microorganismos *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus* y las *Pseudomonas* continuaron su presencia en el suelo y no solo eso, sino que también aumentaron debido a la presencia del Ormus y Calfos, que, como se explicaba antes, estos proliferan los microorganismos benéficos dentro del suelo.

En la figura 6 se observa el aumento de los microorganismos desde antes (muestra ingresada el 27/04/2024) y después (muestra ingresada el 27/05/2024) de la aplicación del bioinsumo:

Figura 6. Comparación de los microorganismos antes y después de la aplicación del bioinsumo.



Nota. Tomado de Martínez y Marin (2024).

Como se puede observar, se ve que el microorganismo *Bacillus subtilis* se mantiene en aumento, por su parte, las *Pseudomonas* tienen un aumento del 10% mas que antes de la aplicación del bioinsumo, el *Staphylococcus aureus* obtuvo un crecimiento del 50% con respecto a la anterior toma, por ultimo los microorganismos *Micrococcus*, *Aspergillus* y *Aspergillus niger* fueron ausentes en la nueva toma.

Después de observar que el bioinsumo aumento los microorganismos presentes en el suelo y teniendo en cuenta que ya se ha mencionado cual es el papel de cada uno de estos, se procede a analizar las variables mencionadas al comienzo del documento (Altura de la planta (cm), Número de hojas formadas en la planta, Ancho de las hojas (cm), Conductividad eléctrica (dS/m) y pH), el

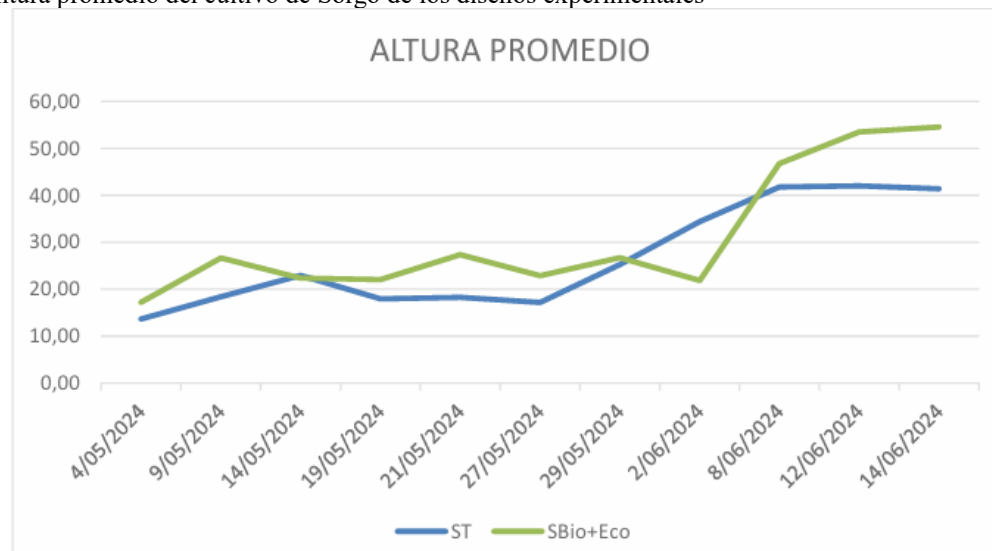
comportamiento de los microorganismos deberá demostrar una mejora en cada una de las variables.

3.4 Resultados del cultivo de sorgo

Las variables fueron tomadas en las fechas de 4/05/2024 al 14/06/2024 tanto para el sorgo testigo como para el sorgo con tratamiento (ver Anexo 1).

Se analiza primero la altura promedio del cultivo de sorgo (ver Figura 7) donde se observa que la aplicación de la enmienda mineral (SBio+Eco) tuvo un impacto positivo en el crecimiento de este, esto es debido a que el calcio mejora la integridad y la actividad celular de la planta, por lo tanto el fósforo participa en el proceso de la fotosíntesis y la transferencia de energía, mientras que el ST no alcanzan una altura mayor, esto sugiere que la enmienda mineral proporciona los nutrientes esenciales favoreciendo buenas condiciones para el desarrollo del cultivo de Sorgo, teniendo un crecimiento más saludable y robusto.

Figura 7. Altura promedio del cultivo de Sorgo de los diseños experimentales



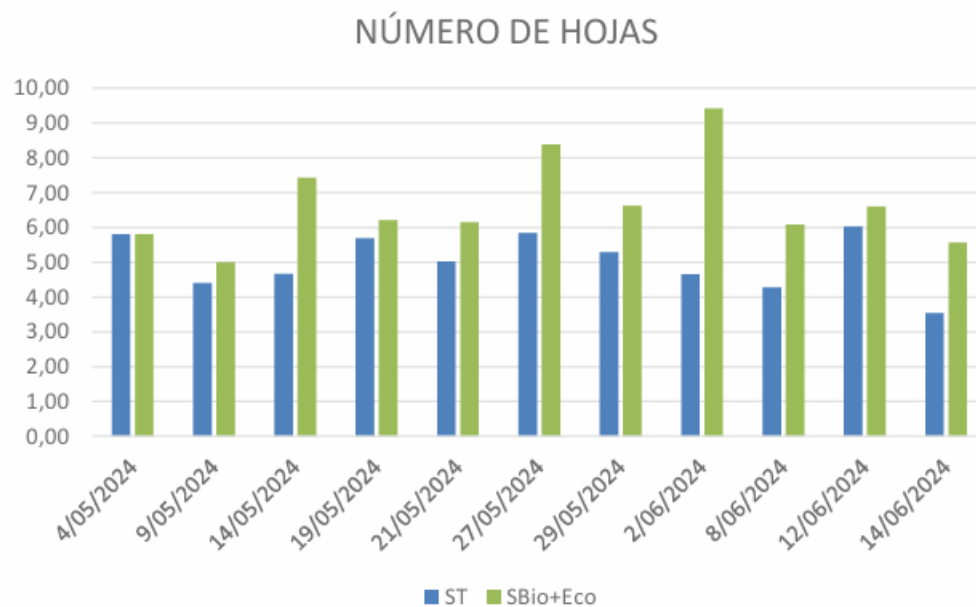
Nota. Altura promedio por fecha de muestreo cultivo de Sorgo, ST(Sin Tratamiento) SBio+Eco (Tratamiento enmienda mineral). Tomado de Martínez y Marin (2024).

Para el número de hojas, se observa el aumento de estas al inicio y al final de los tratamientos, estos dos alcanzan un promedio similar de 5.8 hojas, sin embargo, al pasar el tiempo se empiezan a notar diferencias para cada diseño experimental, como se puede ver en la Figura 8,

el 9 de mayo de 2024 se observa que las plantas sin tratamiento (ST) muestran una disminución promedio de las hojas, mientras que las plantas (SBio+Eco) se mantienen estables.

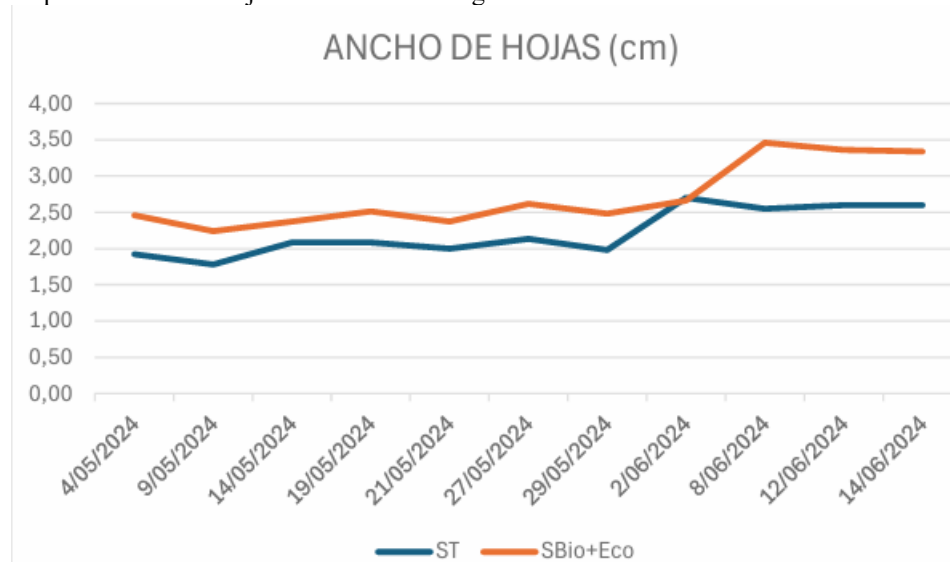
Para el final de la toma se observa que para ambos diseños hay una disminución, sin embargo, las plantas tratadas muestran un promedio superior a 5.56 a diferencia de las plantas no tratadas con 3.53 hojas, así también el tratamiento con la enmienda mineral demuestra que promueve un mayor desarrollo foliar a lo largo del periodo, este incremento se debe a que su capacidad fotosintética aumento con el tratamiento, introduciendo un mejor rendimiento de cultivo.

Figura 8. Promedio de numero de hojas para el Cultivo de Sorgo.



Nota. Promedio número de hojas por fecha de muestreo cultivo de Sorgo, ST(Sin Tratamiento) SBio+Eco (Tratamiento enmienda mineral). Tomado de Martínez y Marin (2024).

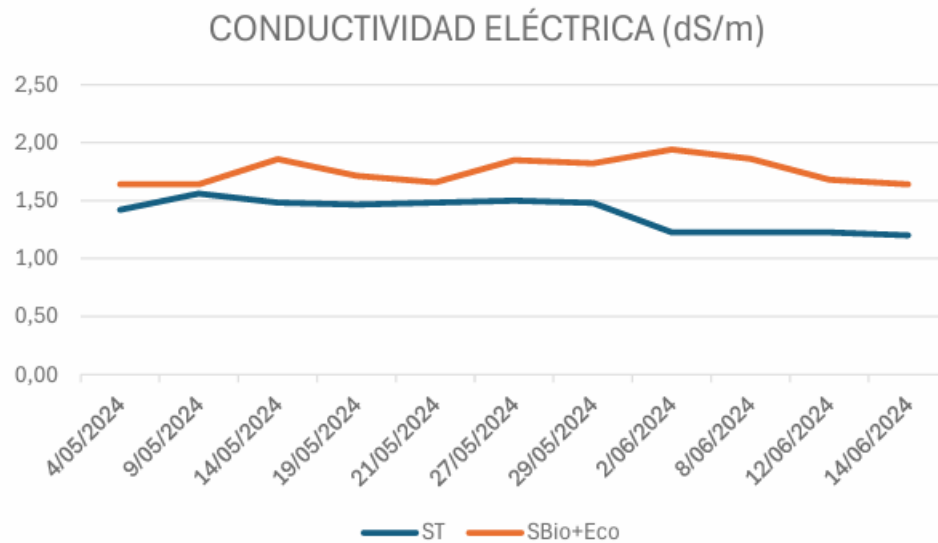
En cuanto al ancho de las hojas, se observa en la figura 9, que, al inicio, las plantas con tratamiento presentan un mayor ancho de estas (2.46 cm) a diferencia de las plantas sin tratamiento registrando un ancho promedio de 1.92 cm. A lo largo del mes de mayo, el ancho de las plantas tratadas sigue siendo superior a las plantas no tratadas, para el mes de junio se registran que las plantas con enmienda mineral alcanzan un ancho promedio de 3.46 cm, mientras que las plantas que no fueron tratadas tienen un ancho promedio de 2.60 cm.

Figura 9. Ancho promedio de las hojas del cultivo de Sorgo.

Nota. Promedio ancho de hojas por fecha de muestreo cultivo de Sorgo. ST(Sin Tratamiento) SBio+Eco (Tratamiento enmienda mineral). Tomado de Martínez y Marin (2024).

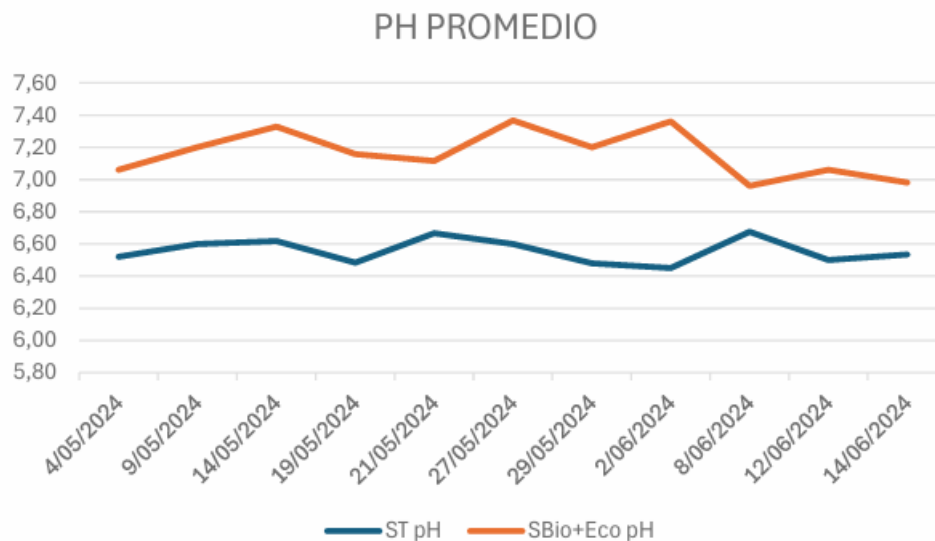
Se considera entonces que el tratamiento con la enmienda mineral demuestra una efectividad en el aumento del ancho promedio de las hojas de sorgo, al tener un mayor ancho de hojas implica una mayor superficie solar disponible para la fotosíntesis, teniendo un mejor crecimiento y rendimiento en el cultivo. Se tiene en cuenta que el fósforo de la enmienda mineral juega un papel claro en la fotosíntesis, formando parte de las moléculas de ATP y NADPH (Elsahookie & Cheyed, 2014).

En cuanto a la conductividad eléctrica, en el inicio de las pruebas se observa que para el tratamiento con la enmienda mineral se presenta una conductividad de aprox. 1.8 dS/m, a diferencia de las plantas sin tratamiento con un 1.5dS/m, por lo que la enmienda mineral estaría introduciendo iones en el suelo, incrementando la capacidad de conducir electricidad, a lo largo de las tomas se observa que la conductividad eléctrica del tratamiento con la enmienda se mantiene constante (ver Figura 10) por lo que esta enmienda estaría proporcionando una cantidad sostenida de iones en el suelo, esto es crucial, pues al mantener una conductividad alta mejora la disponibilidad de nutrientes esenciales para la planta, manteniendo la osmoticidad del suelo y asegura la absorción adecuada de agua y nutrientes, es importante aclarar que si se tiene una conductividad demasiado alta puede causar estrés salino dentro de la planta (USDA Natural Resources Conservation Service, 2011), sin embargo, este no es el caso.

Figura 10. Conductividad eléctrica promedio para el cultivo de Sorgo.

Nota. Promedio Conductividad Eléctrica (dS/m) por fecha de muestreo cultivo de Sorgo, ST(Sin Tratamiento) SBio+Eco (Tratamiento enmienda mineral). Tomado de Martínez y Marin (2024).

Por último, se analiza la variable del pH, iniciando se observa en la figura 11 que este alcanza aproximadamente 7.2 en el tratamiento con la enmienda mineral, mientras que para la planta sin tratamiento alcanza un pH de 6.6, esto sugiere que la enmienda mineral realiza un efecto alcalinizante en el suelo, elevando el pH a niveles neutros, a lo largo del diseño experimental, el pH en la enmienda mineral se mantuvo constante y más alto que las plantas sin tratamiento Figura 11. Esto es gracias a la caliza, pues actúa como un alcalinizante, corrigiendo la acidez del suelo, esto es beneficioso en suelo ácidos, pues optimiza la disponibilidad de nutrientes como el fósforo, además que al tener un pH neutro favorece la actividad microbiana benéfica en el suelo, contribuyendo a una mayor fertilidad en este (Espinoza & Kelley, s.f).

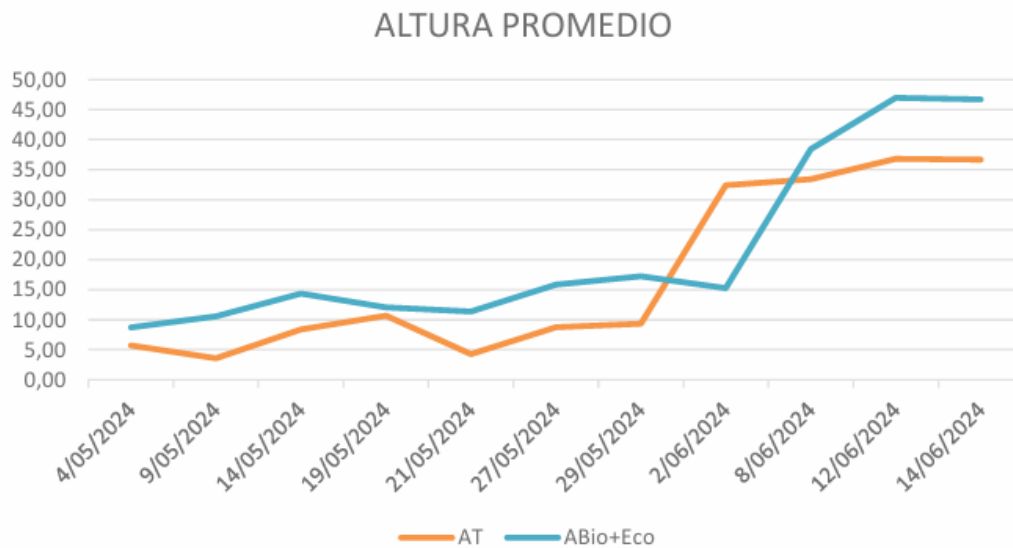
Figura 11. pH promedio en el cultivo de Sorgo.

Nota. Promedio Ph por fecha de muestreo cultivo de Sorgo. ST(Sin Tratamiento) SBio+Eco (Tratamiento enmienda mineral). Tomado de Martínez y Marin (2024).

3.5 Resultado del cultivo de avena

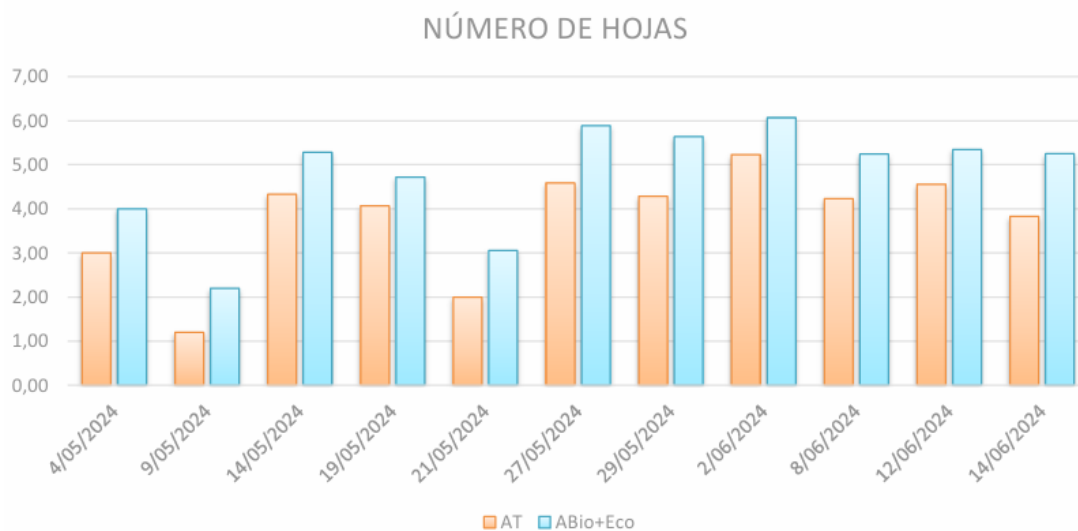
Las variables fueron tomadas en las fechas de 4/05/2024 al 14/06/2024 tanto para la avena testigo como para la avena con tratamiento (ver Anexo 2). Se analiza primero la altura promedio del cultivo de avena, en este caso, al inicio del cultivo, la altura promedio para cada diseño fue relativamente baja, ambas cerca a los 5cm, sin embargo, al paso del tiempo se observa que ambas tienen un crecimiento lento y paralelo, días después se observa que, para el 27 de mayo de 2024, la altura promedio de la planta tratada con la enmienda mineral aumenta a 15cm, mientras que la planta sin tratamiento experimenta una disminución temporal (ver Figura 12).

Finalizan la prueba se obtienen resultados que las plantas tratadas alcanzan una altura promedio de 45cm sobrepasando así la altura promedio de la planta sin tratar (35cm). Esto demuestra que la enmienda mineral acelera el crecimiento inicial, sino que también sostiene un crecimiento superior a lo largo de los diseños experimentales

Figura 12. Altura promedio del cultivo de Avena.

Nota. Altura promedio por fecha de muestreo cultivo de Avena. AT(Avena Testigo) ABio+Eco (Tratamiento enmienda mineral). Tomado de Martínez y Marin (2024).

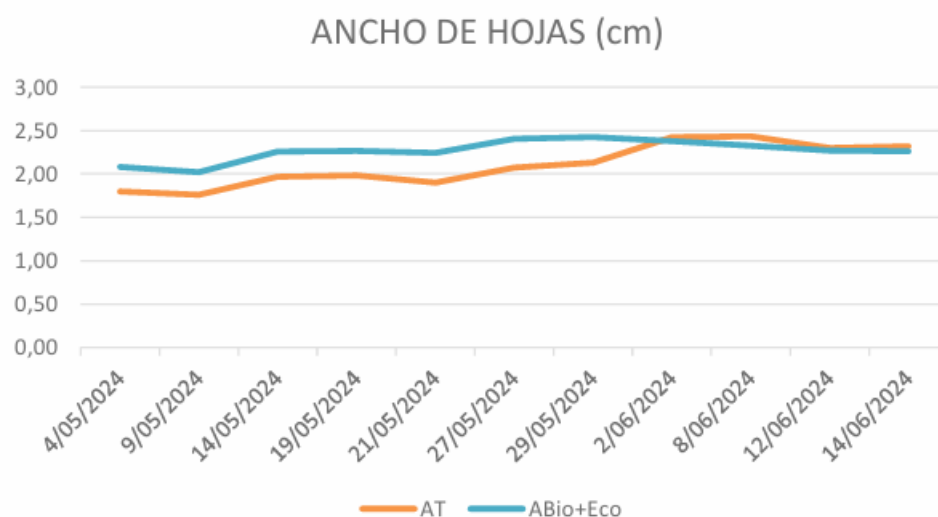
Para el número de hojas, se obtiene que, iniciando los diseños experimentales, las plantas con enmienda tienen un promedio de hojas de 4 a comparación de la planta sin tratamiento teniendo aproximadamente 35, esto sugiere que la enmienda mineral promueve un desarrollo foliar más rápido en las etapas de crecimiento, al final el tratamiento se obtiene que las plantas con tratamiento se mantienen en 5.5 a diferencia de las no tratada con 4.5 hojas (ver Figura 13).

Figura 13. Numero de hojas promedio de Cultivo de Avena

Nota. Promedio número de hojas por fecha de muestreo cultivo de Avena. AT(Avena Testigo) SBio+Eco (Tratamiento enmienda mineral). Tomado de Martínez y Marin (2024).

En el ancho de las hojas, se observa que en la fase inicial las plantas con enmienda mineral alcanzan un ancho de 2 cm, a diferencia que las plantas sin tratamiento alcanzando los 1.8 cm, aunque la diferencia es mínima, el uso de la enmienda mineral indica un efecto positivo en el ancho de estas, continuando con la etapa, se logra identificar el mismo comportamiento (ver Figura 14), sin embargo las plantas tratadas mantienen un ancho promedio de aprox 2.4 cm, mientras que las plantas sin tratamiento alcanzan alrededor de 2.1 cm, indicando que la enmienda minera proporciona un crecimiento inicial vigoroso manteniendo un desarrollo foliar constante.

Figura 14. Ancho promedio de hojas (cm) para el cultivo de Avena.

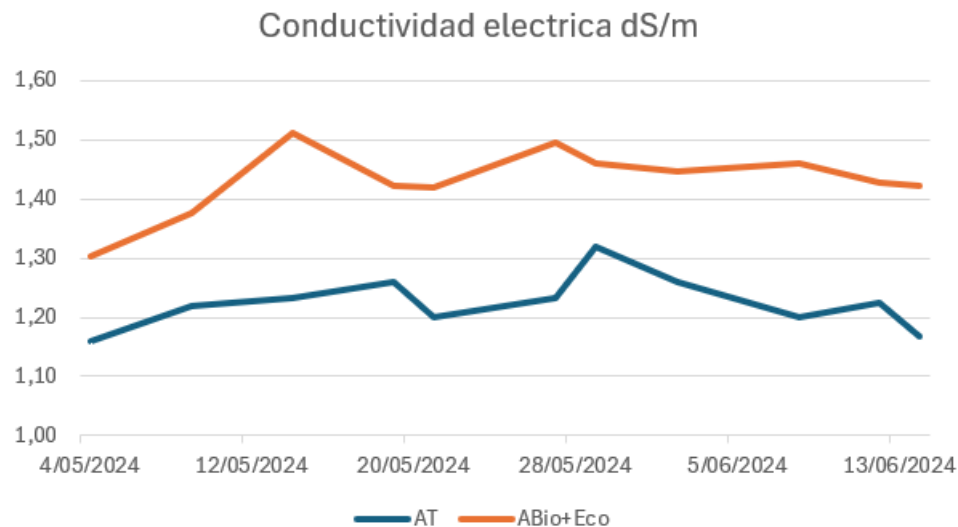


Nota. Promedio ancho de hojas por fecha de muestreo cultivo de Avena. AT(Avena Testigo) SBio+Eco (Tratamiento enmienda mineral). Tomado de Martínez y Marin (2024).

En cuanto a la conductividad eléctrica, en el inicio de las prueban se observa que para el tratamiento con la enmienda mineral se presenta una conductividad de aprox. 1.3 dS/m, a diferencia de las plantas sin tratamiento con un 1.1dS/m, por lo que la enmienda mineral estaría introduciendo iones en el suelo, incrementando la capacidad de conducir electricidad, a lo largo de las tomas se observa que la conductividad eléctrica del tratamiento con la enmienda se mantiene constante (ver Figura 15) por lo que esta enmienda estaría proporcionando una cantidad sostenida de iones en el suelo, esto es crucial, pues al mantener una conductividad alta mejora la disponibilidad de nutrientes esenciales para la planta, manteniendo la osmotividad del suelo y asegura la absorción adecuada de agua y nutrientes, es importante aclarar que si se tiene una

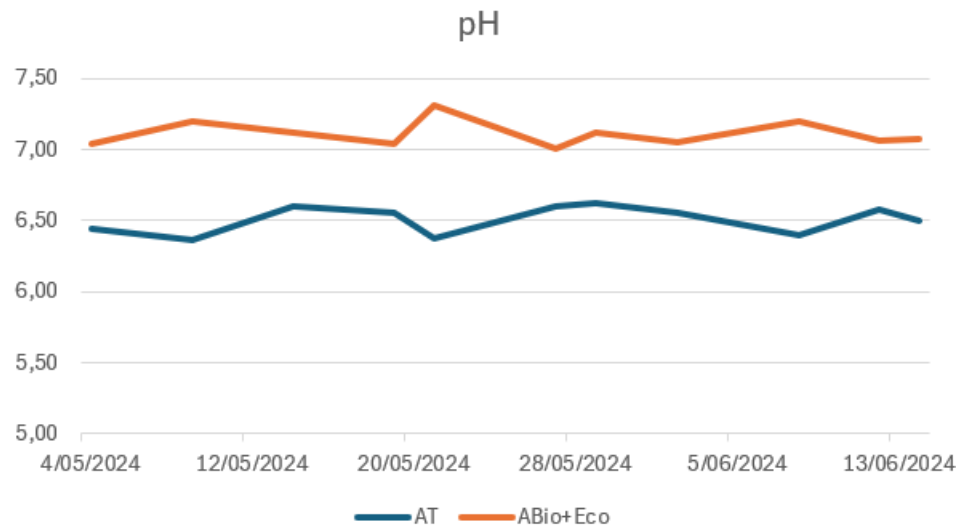
conductividad demasiado alta puede causar estrés salino dentro de la planta, sin embargo, este no es el caso.

Figura 15. Conductividad promedio dS/m para el cultivo de Avena.



Nota. Promedio de conductividad eléctrica por fecha de muestreo cultivo de Avena. AT(Avena Testigo) SBio+Eco (Tratamiento enmienda mineral). Tomado de Martínez y Marin (2024).

Por último, se analiza la variable del pH, iniciando se observa que este alcanza aproximadamente 7.4 en el tratamiento con la enmienda mineral, mientras que para la plata sin tratamiento alcanza un pH de 6.6, esto sugiere que la enmienda mineral realiza un efecto alcalinizante en el suelo, elevando el pH a niveles neutros, a lo largo del diseño experimental, el pH en la enmienda mineral se mantuvo constante y más alto que las plantas sin tratamiento Figura 16. Esto es gracias a la caliza, pues actúa como un alcalinizante, corrigiendo la acidez del suelo, esto es beneficioso en suelo ácidos, pues optimiza la disponibilidad de nutrientes como el fósforo, además que al tener un pH neutro favorece la actividad microbiana benéfica en el suelo, contribuyendo a una mayor fertilidad en este (Redmon & McFarland, 2013).

Figura 16. pH promedio del cultivo de Avena.

Nota. pH promedio del cultivo de Avena por fecha de muestreo cultivo de Avena. AT(Avena Testigo) SBio+Eco (Tratamiento enmienda mineral). Tomado de Martínez y Marin (2024).

Conclusiones

- La roca fosfórica y la caliza demostraron ser la combinación efectiva para mejorar la calidad del suelo, pues proporcionaron fósforo al suelo, nutriente que es esencial para la fotosíntesis, transferencia de energía y el desarrollo de las raíces, esto con ayuda de las calizas lograron neutralizar la acidez del suelo, logrando mantener un pH óptimo para la absorción de nutrientes.
- Se evidenció que la aplicación de la enmienda mineral mejoró la disponibilidad de nutrientes esenciales para cada uno de los diseños experimentales, lo que promovió un crecimiento saludable tanto para el Sorgo como para la Avena.
- La desaparición del *Micrococcus*, *Aspergillus* y *Aspergillus niger* pudo deberse a que había otros microorganismos más competitivos, como es el caso del *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas*, que se adaptaron mejor a las nuevas condiciones del suelo, desplazando e inhibiendo el crecimiento de los anteriores.
- Se observa que a las condiciones de concentración de las decantaciones, promovió el aumento significativo de microorganismos beneficiosos, proporcionando nutrientes esenciales para favorecer el buen desarrollo en los cultivos.

- El medio Pikovskaya permitió detectar un aumento significativo en la presencia de microorganismos solubilizadores de fosforo tras la aplicación de la enmienda mineral, esto sugiere que el tratamiento no solo mejora la fertilidad del suelo, sino que también promueve la actividad biológica beneficiosa.
- La aplicación del bioinsumo enriquecido con Ormus y Calfos favoreció la calidad del suelo al incrementar la presencia de macroorganismos beneficiosos como *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas* y *Staphylococcus aureus* impactando positivamente las variables de crecimiento vegetal.
- Se demostró que el uso de enmiendas minerales a partir de prácticas de decantación de sales es una estrategia viable para la mejora de la disponibilidad de nutrientes esenciales en los cultivos de Sorgo y Avena.
- Se sugiere continuar con estudios adicionales para evaluar el impacto del bioinsumo en diferentes tipos de cultivos y su sostenibilidad en el tiempo para garantizar una producción agrícola sostenible y eficiente.

Referencias Bibliográficas

- Advancing Sustainable Agriculture: Bioinputs and Solid-State Fermentation Innovations for Eco-Friendly Farming. (2024). *International Journal of Agriculture and Sustainable Development*, 6(2), 90-101. <https://xdpak.com/index.php/ijas/article/view/80>
- Astudillo López, J. A. (2020). Efecto de ormus marino y fertilización foliar, bajo dos láminas de riego, en pepino (*cucumis sativus* l). [Trabajo de grado, Universidad Agraria del Ecuador]. *Repositorio Institucional*. [https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ASTUDILLO%20LOPEZ%20JASMIN%20ANABELL_compressed\(1\).pdf](https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ASTUDILLO%20LOPEZ%20JASMIN%20ANABELL_compressed(1).pdf)
- Banco Mundial. (2020). *Las aguas residuales: un recurso que puede generar beneficios para las personas, el medio ambiente y la economía*. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/03/19/wastewater-a-resource-that-can-pay-dividends-for-people-the-environment-and-economies-says-world-bank>
- Corpoica y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). *Manual técnico de capacitación para la preparación, uso, manejo y certificación de productos para una agricultura*

- ecológica en Colombia*. <https://1library.co/article/caldos-microbianos-alternativas-fertilización-cultivos.yr3okooy>
- El-Ghany, M., El-Kherbawy, M., Abdel-Aal, Y., El-Dek, S., & Abd El-Baky, T. (2021). Comparative Study between Traditional and Nano Calcium Phosphate Fertilizers on Growth and Production of Snap Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Plants. *Nanomaterials*, 11(11), 1-19. <https://doi.org/10.3390/nano11112913>
- Elsahookie, M., & Cheyed, S. H. (2014). Estimating sorghum leaf area by measuring one leaf length. *The Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 45(1), 1-5. https://www.researchgate.net/publication/341077956_ESTIMATING_SORGHUM_LEAF_AREA_BY_MEASURING_ONE_LEAF_LENGTH
- Equipos y Laboratorio de Colombia. (2022). *Decantación*. <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/decantaciOn>
- Espinoza, L., & Kelley, J. (s.f). *Grain Sorghum Production Handbook*. University of Arkansas. https://www.uaex.uada.edu/publications/pdf/mp297/MP297.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Guevara-Luna, J., Arroyo-Herrera, I., Bahena-Osorio, Y., B. R.-P., & Soledad, M. (2020). Suelos salinos: fuente de microorganismos halófilos asociados a plantas y resistentes a metales. *Alianzas y Tendencias BUAP*, 5(17), 29-51. https://www.google.com/url?q=https%3A%2F%2Fwww.aytbuap.mx%2Fpublicaciones%23h.6kywo9kwyjh3&sa=D&sntz=1&usg=AOvVaw0YKeknGyRj6A5R_gMAWu4Z
- Ituyan Pizo, C. F., & Rivera Otero, R. (2010). Evaluación del efecto de la aplicación de fuentes de calcio y compost sobre *Furcraea macrophylla* baker variedad uña de águila negra, sembrada en la vereda Los Llanos - municipio de Popayán. *[Trabajo de grado, Universidad del Cauca]*. *Repositorio Institucional*. <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/bitstream/handle/123456789/726/EVALUACIÓN%20DEL%20EFECTO%20DE%20LA%20APLICACIÓN%20DE%20FUENTES%20DE%20CALCIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- López, A., Ortega, H., & Ayala, C. (2016, noviembre). Caracterización fisicoquímica del agua residual urbano-industrial y su importancia en la agriculturas . *Documento de trabajo de Tecnología y ciencias del agua*, 7(6), 139-157.

- https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s2007-24222016000600139
- Martínez, S., & Marín, J. (2024). Informe técnico proyecto modelo de circularidad de aguas de producción petrolera para la expansión de la agricultura regenerativa en el departamento del Meta .[*Trabajo de posgrado no publicado*]. Universidad Santo Tomas
- Martins Pinheiro, A., Salla, Marcio R., & Bolanos Rojas, Maria Lyda. (2019). *Tratamiento de aguas residuales provenientes de industria de productos de limpieza y desinfectantes por ozonización convencional y catalítica. Ingeniare. Documento de trabajo de Revista chilena de ingeniería*, 27(2), 223-235. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052019000200223>
- Medina, D., Rotondo, R. & Rodríguez, R. (2023). *Bioinsumos agrícolas como un área de oportunidad innovadora para el crecimiento agroindustrial en países en desarrollo: Lecciones de Argentina* . Documento de trabajo de *World*, 4(4), 709-725. <https://doi.org/10.3390/world4040045>
- Mejía-Bautista, M. Á., Cristóbal-Alejo, J., Pacheco-Aguilar, J. R., & Reyes-Ramírez, A. (2022). *Bacillus spp. en el crecimiento y rendimiento de Capsicum chinense Jacq. Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(1), 115-126. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i1.2664>
- Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000. *Sección III. Título E. Tratamiento de aguas residuales*. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710_ras_titulo_e_.pdf
- Mulaudzi, T., Hendricks, K., Mabiya, T., Muthevhuli, M., Ajayi, R. F., Mayedwa, N., . . . Iwuoha, E. (2020). Calcium Improves Germination and Growth of Sorghum bicolor Seedlings under Salt Stress. *Plants (Basel) Journal*, 9(10), 1-18. <https://doi.org/10.3390/plants9060730>
- Pascual, R., & Yuste, V. (2015). *La materia orgánica del suelo: Papel de los microorganismos* Ciencias Ambientales 2º C. Universidad de Granada. <https://www.ugr.es/~cjl/mo%20en%20suelos.pdf>
- Perdigones, P., & Valdes, M (2022, 5 de septiembre). *Reutilización de aguas industriales en la agricultura* . *iAgua* . <https://www.iagua.es/noticias/blue-gold/reutilizacion-aguas-industriales-agricultura>

- Red Internacional para el Desarrollo de Capacidades en la Gestión Integrada del Recurso Hídrico. (2005). *Planes de gestión integrada del recursos hídrico. Manual de capacitación y guía operacional*. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/manual-planegirh.pdf
- Redmon, L. A., & McFarland, M. L. (2013). *Soil pH and Forage Production*. Texas A&M Agrilife Extension. <https://ccag.tamu.edu/wp-content/uploads/sites/10/2020/12/Soil-pH-and-Forage-Production.pdf>
- Rizvi, A., Ahmed, B., Saghir Khan, M., Umar, S., & Lee, J. (2021). Sorghum-Phosphate Solubilizers Interactions: Crop Nutrition, Biotic Stress Alleviation, and Yield Optimization. *Frontier in PLant Science*, 12, 1-19. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.746780>
- Rodríguez, J., Serrano, A., Delgado, A., Nolasco, D., & Saltiel, G. (2020, 19 de marzo). *De residuo a recurso: Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe* En Repositorio abierto de conocimientos . Banco Mundial. <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/94fe625b-75ef-590c-8019-24116cddb2ce>
- Ruíz Hernández, Y. (2020). Degradación de residuos orgánicos domésticos a través de un consorcio bacteriano para la formación de una composta. *[Trabajo de grado, Benemerita Universidad Autónoma de Puebla]*. Repositorio Institucional. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/b561d9a3-fdd4-4a9f-a2e6-fb35a689429a/content>
- Saavedra, M. S., & Ariza Marin, L. J. (2024). *Informe tecnico proyecto modelo de circularidad de aguas de producción petrolera para la expansión de la agricultura regenerativa en el departamento del Meta*.
- Salgot, M., & Folch, M. (2018, abril). *Tratamiento de aguas residuales y reutilización del agua* . Documento de trabajo de Elsevier , 64–74. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.03.005>
- Sanz Cerveza, S. A. (2011). *Prácticas de microbiología*. Universidad de la Rioja.
- Sierra, G., Yañez, E., & Cruz, C. (2016). Estudio de la factibilidad técnica sobre la decantación independiente de los recuperadosde centrífuga en el proceso de extracción de aceite de

- palma. *Revista Palmas*, 27(2), 23-33.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1176/1176>
- Torres-Moya, E., Ariza-Suárez, D., Baena-Aristizabal, C., Cortés-Gómez, S., Becerra-Mutis, L., & Riaño-Hernández, C. A. (2016). Efecto de la fertilización en el crecimiento y desarrollo del cultivo de la avena (*Avena sativa*). *Pastos y Forrajes*, 39(2), 102-110.
<https://www.redalyc.org/journal/2691/269146602004/html/>
- Urzúa, C. (2018). *Siembra por vertido en placa*.
<https://mediacampus.cuaieed.unam.mx/node/4254>
- USDA Natural Resources Conservation Service. (2011). *Soil Electrical Conductivity*.
<https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Soil%20Electrical%20Conductivity.pdf>
- Villarreal-Delgado, M., Villa-Rodríguez, E., Cira-Chávez, L., Estrada-Alvarado, M., Parra-Cota, F., & Santos-Villalobos, S. (2018). The genus *Bacillus* as a biological control agent and its implications in the agricultural biosecurity. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 36(1), 95-130. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1706-5>

Anexos

Anexo 1. Resultados de las variables del cultivo de sorgo.

Tratamiento	Fecha	Altura (cm)	Número de hojas	Ancho de hojas (cm)	Conductividad eléctrica (dS/m)	pH
ST	4/05/2024	9,3	4	2,1	1,8	6,7
ST	4/05/2024	16,5	9	2,4	1,4	6,6
ST	4/05/2024	11,2	2	2,3	1,5	6,5
ST	4/05/2024	14,7	7	1,6	1,4	6,4
ST	4/05/2024	16,6	7	1,2	1	6,4
ST	9/05/2020	20,5	3	2,3	1,7	6,3
ST	4/05/2020	20,9	5	1,6	1,6	6,8
ST	4/05/2020	18,2	7	1,9	1,4	6,4
ST	4/05/2020	9,3	3	1,6	1,5	6,7
ST	4/05/2020	23,2	4	1,5	1,6	6,8

ST	14/05/2020	21,6	5	2,4	1,3	6,8
ST	14/05/2020	22,1	4	2,4	1,5	6,5
ST	14/05/2020	28,1	5	2	1,8	6,7
ST	14/05/2020	22,3	4	1,4	1,3	6,6
ST	14/05/2020	18,8	6	2	1,7	6,4
ST	14/05/2020	24,8	4	2,3	1,3	6,7
ST	19/05/2024	21,6	4,3	2,2	1,8	6,7
ST	19/05/2024	22,3	9,5	2,5	1,4	6,6
ST	19/05/2024	19,3	2,1	2,4	1,5	6,5
ST	19/05/2024	9,9	7,5	1,7	1,4	6,4
ST	19/05/2024	24,8	7,5	1,3	1	6,4
ST	19/05/2024	9,9	3,2	2,4	1,7	6,3
ST	21/05/2024	17,7	5,4	1,7	1,6	6,8
ST	21/05/2024	12	7,5	2	1,4	6,4
ST	21/05/2024	15,8	3,2	1,7	1,5	6,7
ST	21/05/2024	17,7	4,3	1,6	1,6	6,8
ST	21/05/2024	22,8	5,4	2,5	1,3	6,8
ST	21/05/2024	23,6	4,3	2,5	1,5	6,5
ST	27/05/2024	19,9	5,4	2,1	1,8	6,7
ST	27/05/2024	19,6	4,3	1,5	1,3	6,6
ST	27/05/2024	10,2	6,4	2,1	1,7	6,4
ST	27/05/2024	25,1	4,3	2,4	1,3	6,7
ST	27/05/2024	10	5,3	2,3	1,4	6,7
ST	27/05/2024	18,2	9,3	2,4	1,5	6,5
ST	29/05/2024	23,8	2,2	2,5	1,6	6,5
ST	29/05/2024	29,9	7,8	1,8	1,4	6,4
ST	29/05/2024	26,6	7,5	1,4	1	6,4
ST	29/05/2024	22,7	3,4	2,5	1,8	6,3
ST	29/05/2024	23,4	5,5	1,7	1,6	6,8
ST	2/06/2024	12,5	4,9	2,4	1,3	6,5
ST	2/06/2024	41,8	5	2,9	1,2	6,4

ST	2/06/2024	42,5	4,8	2,6	1,1	6,2
ST	2/06/2024	40,8	3,9	2,9	1,3	6,7
ST	8/06/2024	42,4	4,8	2,5	1,2	6,7
ST	8/06/2024	41,5	6,6	2,8	1,2	6,5
ST	8/06/2024	41,5	2,8	2,5	1,4	6,9
ST	8/06/2024	41,6	2,9	2,4	1,1	6,6
ST	12/06/2024	43	6,9	2,9	1,2	6,3
ST	12/06/2024	40,8	6,6	2,5	1,3	6,6
ST	12/06/2024	42,2	3,9	2,5	1,2	6,5
ST	12/06/2024	42,1	6,7	2,5	1,2	6,6
ST	14/06/2024	41,7	4	2,6	1,3	6,5
ST	14/06/2024	41,2	1,9	2,4	1,1	6,6
ST	14/06/2024	41,3	4,7	2,8	1,2	6,5

Tratamiento	Fecha	Altura (cm)	Número de hojas	Ancho de hojas (cm)	Conductividad eléctrica (dS/m)	pH
SBio+Eco	4/05/2024	6,9	3	2,9	1,6	7,1
SBio+Eco	4/05/2024	31,4	4	2	1,5	7
SBio+Eco	4/05/2024	11,8	7	2,4	1,6	7,3
SBio+Eco	4/05/2024	10,1	5	2,3	2	7,2
SBio+Eco	4/05/2024	25,9	10	2,7	1,5	6,7
SBio+Eco	9/05/2024	34,4	6	2,7	1,5	7,4
SBio+Eco	9/05/2024	27	5	2,2	1,6	6,9
SBio+Eco	9/05/2024	24	4	1,9	1,5	7,3
SBio+Eco	9/05/2024	22,3	5	2,4	1,6	7,3
SBio+Eco	9/05/2024	25,6	5	2	2	7,1
SBio+Eco	14/05/2024	21,8	5	2	1,9	7,1
SBio+Eco	14/05/2024	23,5	3	2,1	1,8	7,4
SBio+Eco	14/05/2024	22	8	2,8	1,7	7,4
SBio+Eco	14/05/2024	24,1	13	2,2	2,5	7,5
SBio+Eco	14/05/2024	19,4	7	2,1	1,8	7,3
SBio+Eco	14/05/2024	19,8	9	2,6	1,6	7,3

SBio+Eco	14/05/2024	25,8	7	2,8	1,7	7,3
SBio+Eco	19/05/2024	33,2	7	2,7	2	7,2
SBio+Eco	19/05/2024	31	9	2,7	1,8	7,5
SBio+Eco	19/05/2024	16,1	7	2,2	1,5	6,8
SBio+Eco	19/05/2024	17,3	3,2	3	1,6	7,1
SBio+Eco	19/05/2024	33,3	4,3	2,1	1,5	7
SBio+Eco	19/05/2024	12,6	7,5	2,5	1,6	7,3
SBio+Eco	19/05/2024	10,8	5,4	2,4	2	7,2
SBio+Eco	21/05/2024	27,5	10,7	2,8	1,5	6,7
SBio+Eco	21/05/2024	36,2	6,4	2,8	1,5	7,4
SBio+Eco	21/05/2024	28,4	5,4	2,3	1,6	6,9
SBio+Eco	21/05/2024	25,5	4,3	2	1,5	7,3
SBio+Eco	21/05/2024	23,8	5,4	2,5	1,6	7,3
SBio+Eco	21/05/2024	27,2	5,4	2,1	2	7,1
SBio+Eco	21/05/2024	23	5,4	2,1	1,9	7,1
SBio+Eco	21/05/2024	25,1	3,2	2,3	1,8	7,4
SBio+Eco	21/05/2024	17	8,6	3	1,7	7,4
SBio+Eco	27/05/2024	25,7	13,9	2,4	2,5	7,5
SBio+Eco	27/05/2024	20,7	7,5	2,2	1,8	7,3
SBio+Eco	27/05/2024	21,2	9,6	2,8	1,6	7,3
SBio+Eco	27/05/2024	27,5	7,5	3	1,7	7,3
SBio+Eco	29/05/2024	35,5	7,5	2,9	2	7,2
SBio+Eco	29/05/2024	33,2	9,6	2,9	1,8	7,5
SBio+Eco	29/05/2024	17,1	7,5	2,3	1,5	6,8
SBio+Eco	29/05/2024	22,9	5,3	2,1	1,9	7,1
SBio+Eco	29/05/2024	25,1	3,2	2,2	1,9	7,4
SBio+Eco	2/06/2024	16,8	8,6	2,9	1,8	7,4
SBio+Eco	2/06/2024	25,7	13,9	2,4	1,7	7,5
SBio+Eco	2/06/2024	19,5	7,5	2,2	2,5	7,3
SBio+Eco	2/06/2024	19,8	9,6	2,8	1,9	7,3
SBio+Eco	2/06/2024	27,5	7,5	3	1,8	7,3

SBio+Eco	8/06/2024	16,3	6,4	3,1	1,7	6,9
SBio+Eco	8/06/2024	53	6,3	3,7	2,5	6,9
SBio+Eco	8/06/2024	55,7	6,3	3,4	1,8	6,6
SBio+Eco	8/06/2024	54,4	5,2	3,9	1,6	7,2
SBio+Eco	12/06/2024	54,5	6,2	3,2	1,7	7,2
SBio+Eco	12/06/2024	52,2	8,3	3,5	2	7
SBio+Eco	12/06/2024	52,5	3,5	3,2	1,8	7,4
SBio+Eco	12/06/2024	54,2	3,8	3,1	1,5	7
SBio+Eco	12/06/2024	56,3	9	3,8	1,6	6,8
SBio+Eco	14/06/2024	52,2	8,4	3,2	1,5	7,1
SBio+Eco	14/06/2024	55,9	5,2	3,3	1,6	6,9
SBio+Eco	14/06/2024	55,1	8,8	3,3	2	7,1
SBio+Eco	14/06/2024	55,2	5,3	3,4	1,5	6,8
SBio+Eco	14/06/2024	53,5	2,5	3,1	1,5	7,1
SBio+Eco	14/06/2024	53,1	6	3,6	1,6	7

Anexo 2. Resultados de las variables del cultivo de Avena.

Tratamiento	Fecha	Altura (cm)	Número de hojas	Ancho de hojas (cm)	Conductividad eléctrica (dS/m)	pH
AT	4/05/2024	3,81	4	1,8	1,10	6,50
AT	4/05/2024	10,5	2	1,6	1,10	6,30
AT	4/05/2024	4,4	2	2	1,20	6,50
AT	4/05/2024	5,5	3	1,8	1,30	6,30
AT	4/05/2024	4,31	4	1,8	1,10	6,60
AT	9/05/2024	5,06	3	1,6	1,20	6,10
AT	9/05/2024	0,61	2	1,7	1,20	6,40
AT	9/05/2024	-0,76	0	1,6	1,30	6,80
AT	9/05/2024	11,38	0	1,8	1,20	6,20
AT	9/05/2024	1,61	1	2,1	1,20	6,30

AT	14/05/20 24	6,03	3	1,7	1,20	6,6 0
AT	14/05/20 24	1,39	4	1,7	1,30	6,5 0
AT	14/05/20 24	7,44	2	2,3	1,20	6,6 0
AT	14/05/20 24	4,71	5	2	1,00	6,6 0
AT	14/05/20 24	16,57	6	1,9	1,30	6,6 0
AT	14/05/20 24	14,04	6	2,2	1,40	6,7 0
AT	19/05/20 24	19,01	6	2,4	1,20	6,5 0
AT	19/05/20 24	13,93	4	2,1	1,40	6,6 0
AT	19/05/20 24	8,7	4	1,9	1,50	6,9 0
AT	19/05/20 24	4,07	4,3	1,9	1,10	6,5 0
AT	19/05/20 24	11,24	2,1	1,7	1,10	6,3 0
AT	21/05/20 24	4,7	2,1	2,1	1,20	6,5 0
AT	21/05/20 24	5,89	3,2	1,9	1,30	6,3 0
AT	21/05/20 24	4,6	4,3	1,9	1,10	6,6 0
AT	21/05/20 24	5,41	3,2	1,7	1,20	6,1 0
AT	21/05/20 24	0,65	2,1	1,8	1,20	6,4 0
AT	27/05/20 24	6,44	3,2	1,8	1,20	6,6 0
AT	27/05/20 24	1,48	4,3	1,8	1,30	6,5 0
AT	27/05/20 24	7,96	2,1	2,4	1,20	6,6 0
AT	27/05/20 24	5,04	5,4	2,1	1,00	6,6 0
AT	27/05/20 24	17,73	6,4	2	1,30	6,6 0
AT	27/05/20 24	15,02	6,4	2,4	1,40	6,7 0
AT	29/05/20 24	20,26	6,4	2,6	1,20	6,5 0
AT	29/05/20 24	14,66	4,3	2,2	1,40	6,6 0
AT	29/05/20 24	9,25	4,3	2	1,50	6,9 0

AT	29/05/2024	6,51	3,2	1,8	1,20	6,60
AT	29/05/2024	1,53	4,3	1,8	1,30	6,50
AT	2/06/2024	17,73	6,4	2	1,30	6,60
AT	2/06/2024	15,02	6,4	2,4	1,40	6,70
AT	2/06/2024	7,75	4,3	2	1,10	6,60
AT	2/06/2024	43	6,9	2,9	1,20	6,30
AT	2/06/2024	40,8	6,6	2,5	1,30	6,60
AT	8/06/2024	41,3	4,7	2,8	1,20	6,50
AT	8/06/2024	11	4,3	2,1	1,30	6,50
AT	8/06/2024	37	4,4	2,6	1,20	6,40
AT	8/06/2024	37,2	4,2	2,3	1,10	6,20
AT	12/06/2024	36,9	5,9	2,5	1,20	6,50
AT	12/06/2024	36,9	2,5	2,2	1,40	6,90
AT	12/06/2024	36,4	2,5	2,1	1,10	6,60
AT	12/06/2024	37,5	6	2,5	1,20	6,30
AT	14/06/2024	37	3,4	2,2	1,20	6,50
AT	14/06/2024	37	5,9	2,2	1,20	6,60
AT	14/06/2024	36,6	3,5	2,3	1,30	6,50
AT	14/06/2024	36,1	1,7	2,1	1,10	6,60
AT	14/06/2024	36,7	4,2	2,5	1,20	6,50
AT	14/06/2024	36,7	4,3	2,6	1,00	6,30
Tratamiento	Fecha	Altura (cm)	Número de hojas	Ancho de hojas (cm)	Conductividad eléctrica (dS/m)	pH
ABio+Ec o	4/05/2024	2,42	5	1,9	1,27	7,02
ABio+Ec o	4/05/2024	11,58	3	2,2	1,43	6,99
ABio+Ec o	4/05/2024	8,48	3	2	1,31	7,01

ABio+Ec o	4/05/202 4	10,94	4	2	1,28	7,2 8
ABio+Ec o	4/05/202 4	10,17	5	2,3	1,22	6,9 0
ABio+Ec o	9/05/202 4	14,84	4	2,1	1,35	7,1 2
ABio+Ec o	9/05/202 4	10,1	3	2,1	1,57	7,3 6
ABio+Ec o	9/05/202 4	7,72	1	2,2	1,20	7,1 4
ABio+Ec o	9/05/202 4	9,3	1	1,9	1,31	7,1 1
ABio+Ec o	9/05/202 4	10,95	2	1,8	1,45	7,2 9
ABio+Ec o	14/05/20 24	11,74	4	2,3	1,57	7,5 8
ABio+Ec o	14/05/20 24	19,14	5	2,4	1,70	7,3 1
ABio+Ec o	14/05/20 24	12,71	3	2,4	1,49	7,2 0
ABio+Ec o	14/05/20 24	19,18	6	2,1	1,48	6,6 9
ABio+Ec o	14/05/20 24	10,73	7	2,2	1,45	7,0 3
ABio+Ec o	14/05/20 24	15,99	7	2,3	1,38	6,9 3
ABio+Ec o	19/05/20 24	24,04	7	2,5	1,41	6,9 9
ABio+Ec o	19/05/20 24	8,84	3	2,3	1,44	7,0 8
ABio+Ec o	19/05/20 24	15,66	5	2,4	1,56	7,2 1
ABio+Ec o	19/05/20 24	2,57	5,35	2,03	1,27	7,0 2
ABio+Ec o	19/05/20 24	12,39	3,21	2,35	1,43	6,9 0
ABio+Ec o	21/05/20 24	10,81	3,21	2,24	1,57	7,3 6
ABio+Ec o	21/05/20 24	8,14	1,07	2,35	1,20	7,1 4
ABio+Ec o	21/05/20 24	9,82	1,07	2,03	1,31	7,1 1
ABio+Ec o	21/05/20 24	11,72	2,14	1,93	1,45	7,5 8
ABio+Ec o	21/05/20 24	12,56	4,28	2,46	1,57	7,3 6
ABio+Ec o	27/05/20 24	20,49	5,35	2,57	1,70	7,3 1
ABio+Ec o	27/05/20 24	13,6	3,21	2,57	1,49	7,2 0

ABio+Ec o	27/05/20 24	20,54	6,42	2,24	1,48	6,6 9
ABio+Ec o	27/05/20 24	11,48	7,49	2,35	1,45	7,0 3
ABio+Ec o	27/05/20 24	17,1	7,49	2,46	1,38	6,9 3
ABio+Ec o	27/05/20 24	11,77	5,35	2,46	1,47	6,9 0
ABio+Ec o	29/05/20 24	25,72	7,49	2,67	1,41	6,9 9
ABio+Ec o	29/05/20 24	9,45	5,35	2,46	1,44	7,2 1
ABio+Ec o	29/05/20 24	16,75	5,35	2,57	1,56	7,2 1
ABio+Ec o	29/05/20 24	12,34	4,49	2,14	1,41	7,0 3
ABio+Ec o	29/05/20 24	21,93	5,53	2,28	1,48	7,1 4
ABio+Ec o	2/06/202 4	14,61	3,42	2,49	1,38	6,9 3
ABio+Ec o	2/06/202 4	20,73	6,42	2,24	1,47	6,9 9
ABio+Ec o	2/06/202 4	11,49	7,49	2,46	1,41	7,0 8
ABio+Ec o	2/06/202 4	17,71	7,49	2,57	1,56	7,2 1
ABio+Ec o	2/06/202 4	11,79	5,53	2,14	1,41	7,0 3
ABio+Ec o	8/06/202 4	14	5,5	2,1	1,40	7,1 0
ABio+Ec o	8/06/202 4	46,6	5,53	2,57	1,56	7,2 8
ABio+Ec o	8/06/202 4	45,9	5,35	2,57	1,41	7,2 1
ABio+Ec o	8/06/202 4	47,2	5,35	2,24	1,47	7,2 1
ABio+Ec o	12/06/20 24	47,1	7,49	2,46	1,45	6,9 3
ABio+Ec o	12/06/20 24	47,1	3,21	2,14	1,38	7,0 2
ABio+Ec o	12/06/20 24	46,4	3,21	2,03	1,41	7,2 8
ABio+Ec o	12/06/20 24	47	7,49	2,57	1,47	7,0 3
ABio+Ec o	14/06/20 24	46,1	7,49	2,14	1,48	7,0 3
ABio+Ec o	14/06/20 24	47,2	4,28	2,14	1,41	7,1 1
ABio+Ec o	14/06/20 24	46,9	7,49	2,14	1,48	7,0 3

ABio+Ec o	14/06/20 24	46,8	2,14	2,03	1,20	6,9 9
ABio+Ec o	14/06/20 24	46,8	5,35	2,57	1,41	7,2 8
ABio+Ec o	14/06/20 24	46,9	5,53	2,57	1,56	7,0 3