

**BIOFERTILIZACIÓN PARA LA GERMINACIÓN DE CEBOLLA (*Allium cepa* L.)
COMO ALTERNATIVA EN ESTADIO DE SEMILLERO EN MACHETÁ,
CUNDINAMARCA**

ESPINOSA HERNANDEZ LADY VIVIANA

Director: Dr. C. Deivis Suárez Rivero; Ingeniero Agrónomo

Codirector: Dr. C. Dumas Gabriel Oviedo Pereira; Biotecnólogo

FACULTAD DE INGENIERÍA

Ingeniería Agroindustrial

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA (UNIAGRARIA)

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

AGROINDUSTRIA NO ALIMENTARIA

Bogotá, 2025

Tabla de contenido

LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABLAS	6
AGRADECIMIENTOS	7
DEDICATORIA	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	11
1. INTRODUCCIÓN.....	13
2. JUSTIFICACIÓN	21
3. OBJETIVOS.....	27
3.1. Objetivo General	27
3.2. Objetivos específicos.....	27
4. MARCO REFERENCIAL	28
4.1. Marco Histórico.....	28
4.2 Marco Geográfico	30
4.3 Estado del Arte.....	32
4.4 Marco Legal.....	34
4.5. Marco Teórico	36
4.5.1. Origen e importancia del cultivo de cebolla	36
4.5.2. Taxonomía de la cebolla de bulbo	37
4.5.3. Condiciones Agroecológicas.....	37
4.5.4. Morfología de la cebolla	39
4.5.5. Fisiología de la cebolla	40
4.5.6. Fenología de la cebolla de bulbo	41
4.5.7. Plagas y enfermedades que afectan el cultivo de cebolla	43
4.5.8. Variedades	45
4.5.9. Requerimientos Nutricionales	46
4.5.10. Gallinaza.....	48
4.5.11. Humus	50
4.3.12. Caldo de Rizósfera.....	51
4.3.13. Generalidades del manejo del cultivo en el municipio de Machetá- Cundinamarca	52
5. METODOLOGIA	56

5.1. Material Vegetal.....	56
5.2. Sustrato.....	56
5.3. Biofertilizantes	56
5.4. Evaluación de parámetros de germinación y crecimiento de semillas de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.)	58
5.4.1. Determinación del porcentaje de germinación	58
5.4.2. Número de hojas por plántula	58
5.4.3. Área Foliar (cm ²)	59
5.4.4. Masa fresca de la planta (g).....	59
5.4.5. Masa seca de la planta (g).....	59
5.4.6. Longitud de raíz.....	60
5.4.7. Altura de la plántula.....	60
5.5. Determinación de indicadores de desarrollo fisiológicos de la cebolla (<i>Allium cepa</i> L.).....	60
5.6. Contenido de pigmentos fotosintéticos (Clorofilas y carotenoides) en plántulas de cebolla.	62
5.7. Evaluación de calidad del producto	62
5.7.1. Diseño Experimental (tipo de estudio, factores, variables y tratamientos)	63
5.7.2. Variables.....	63
5.7.3. Análisis estadístico	65
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
6.1. Parámetros de germinación y crecimiento de semillas de cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) en el estadio de semillero bajo condiciones de invernadero.....	66
6.1.1. Porcentaje de germinación	66
6.1.2. Evaluación de la longitud de la raíz, diámetro del falso tallo y número de hojas	69
6.1.3. Evaluación de la altura de la plántula de cebolla.....	72
6.1.4. Área Foliar	73
6.1.5. Peso fresco y peso seco	75
6.2. Indicadores de desarrollo fisiológicos que permitan realizar la estimación de la respuesta a la aplicación de los biofertilizantes seleccionados en el estadio de semillero de la cebolla (<i>Allium cepa</i> L.)	80
6.2.1. Tasa de crecimiento del cultivo (TCR) y Tasa de asimilación Neta	80
6.2.2. Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y Tasa absoluta de crecimiento (TAC)	87
6.2.4. índice de área foliar (IAF) y Área foliar específica (AFE)	93
6.2.5. Duración de área foliar	99
6.3. Contenido de pigmentos fotosintéticos (Clorofilas y carotenoides) en plántulas de cebolla en condiciones de fertilización orgánica.....	102

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 108

9. REFERENCIAS..... 111

|

|

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Lugar de estudio, Fundación Universitaria Agraria de Colombia con énfasis en el municipio de Machetá Cundinamarca	31
Figura 2. Morfología de la planta de cebolla de bulbo	39
Figura 3. Fases fenológicas de la cebolla de bulbo.....	42
Figura 4. Porcentaje de germinación de cebolla bajo los diferentes los tratamientos	67
Figura 5. Índices de desarrollo por tratamiento	70
Figura 6. Altura de la plántula por tratamiento.....	73
Figura 7. Productividad foliar obtenida entre tratamientos	74
Figura 8. Efectos de los biofertilizantes sobre la masa fresca de plántulas de cebolla.....	76
Figura 9. Variación de la masa seca entre tratamientos.....	76
Figura 10. Relación entre variables de masa fresca y seca en plántulas de cebolla de bulbo con diferentes alternativas de biofertilización	78
Figura 11. Aumento de biomasa por tratamientos	84
Figura 12. Ganancia de biomasa vegetal en el cultivo	90
Figura 13. Parámetros foliares por tratamiento	96
Figura 14. Duración de área foliar por tratamiento	102
Figura 15. Contenido de clorofila	103

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Producción y rendimiento de cebolla de bulbo 2021-2022	14
Tabla 2. Comparación entre la fertilización química y el abono orgánico	23
Tabla 3. Comparación condiciones climáticas.....	32
Tabla 4. Clasificación taxonómica de la cebolla de bulbo.....	37
Tabla 5. Variedades de cebolla de Bulbo.....	45
Tabla 6. Descripción de la composición de los abonos en cuanto a sustancias nutritivas para las plantas	47
Tabla 7. Ficha Técnica Gallinaza Compostada.....	49
Tabla 8. Composición del Humus líquido	51
Tabla 9. Composición nutricional fertilizante 13-26-6.....	52
Tabla 10. Composición nutricional fertilizante 10-20-20.....	53
Tabla 11. Composición nutricional fertilizante 15-15-15.....	53
Tabla 12. Composición nutricional fertilizante 10-30-10.....	54
Tabla 13. Calendario seguido en la alimentación de los microorganismos del caldo rizósfera. .	57
Tabla 14. Propuesta de fertilización empleada	58
Tabla 15. Índices fisiológicos de desarrollo de la cebolla	61
Tabla 16. Diseño experimental	64

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Universitaria Agraria de Colombia – UNIAGRARIA, por permitir desarrollar parte de este proyecto dentro de sus instalaciones, tanto en los espacios de producción como en los laboratorios y por formar parte de las universidades que apoyan el convenio 4x1 opción de vida.

A la gobernación de Cundinamarca por brindarnos la oportunidad de estudiar por medio del convenio 4X1 opción de vida.

Un agradecimiento especial al Dr. Deivis Suárez Rivero, quien es el tutor principal en el desarrollo de este proyecto, por su constante apoyo técnico y conocimientos brindados, por el compromiso que demostró durante el desarrollo de este proyecto, disponibilidad de tiempo, apoyo, confianza.

Al Dr. Dumas Gabriel Oviedo Pereira, codirector de este proyecto, por su apoyo, disponibilidad de tiempo, por cada una de sus asesorías, interés y sugerencias que llevaron a la mejora continua de este trabajo.

Al ingeniero Danilo Pirajan quien desde sus conocimientos me brindo asesorías de campo, tiempo, dedicación y acompañamiento para poder llevar a cabo este proyecto.

Al ingeniero Fernando Méndez Coronel por el apoyo, dedicación, tiempo y conocimientos aportados.

A todas las personas que de una u otra manera hicieron parte de este proceso de investigación

DEDICATORIA

A Dios y a la santísima Virgen de Guadalupe, por guiarme, darme la fortaleza de sacar adelante este proyecto y cumplir una de mis metas.

A mi madre Herminda Hernández Diaz debido los sacrificios económicos, emocionales, tiempo, Cariño, apoyo incondicional y sobre todo por ser mi fuente de superación personal.

A mis hermanas Erika Espinosa y Valentina Espinosa por su apoyo incondicional a lo largo de estos años, apoyo emocional y cariño.

A Guillermo Sanabria por su apoyo incondicional, tiempo, conocimientos y aportes en este proceso.

A mis tíos Álvaro Espinosa y Luz Dary Espinosa por darme la oportunidad de seguir estudiando.

RESUMEN

El uso prolongado de fertilizantes químicos en la agricultura ha generado una dependencia nutricional de los suelos, lo que ha comprometido su capacidad para mantener un equilibrio adecuado de nutrientes. Aunque estos fertilizantes se han utilizado durante décadas, su aplicación masiva ha dado lugar a importantes desventajas en los agroecosistemas, como la contaminación de suelos y cuerpos de agua, la degradación de la estructura del suelo y con ello la pérdida de la capacidad productiva de estos. Es por ello por lo que, en el anterior contexto, con el presente proyecto se enfocó en evaluar el efecto que ejerce el tipo de biofertilización sobre la producción de plántulas de cebolla (*Allium cepa* L.) en estadio de semillero, garantizando condiciones de invernadero como opción para la producción sostenible de plántulas. Es así como, se emplearon semillas certificadas de cebolla amarilla variedad Yellow Texas 502, compradas en SEMICOL S.A., por ser esta la más cultivada en el municipio de Machetá – Cundinamarca, región que evidencia de forma marcada problemática en la plantulación. Por otra parte, se empleó como sustrato fibra de coco, para evitar un efecto del suelo sobre el proceso de germinación, dada su heterogeneidad. En este mismo orden, se emplearon tres biofertilizantes (humus líquido, gallinaza, caldo de rizosfera) para comparar con la fertilización química (fertilizante completo NPK con concentración 13-26-6) y agua como control. Se evaluaron variables fenológicas (porcentaje de germinación, volumen de raíces, altura de la plántula, número de hojas, masa fresca y seca, área foliar, etc.) e indicadores fisiológicos de desarrollo (TAN, TCR, IAF, DAF, etc.), así como el contenido de pigmentos fotosintéticos, los que permiten establecer criterios de efectividad de los tratamientos. Para lograr lo anterior, se realizó un diseño experimental de DBCA en bloques al azar con 5 tratamientos por triplicado. Se realizó un seguimiento durante 8 semanas desde la siembra de la semilla evaluando las variables respuestas a los 30 y 60 días; pero los indicadores de

desarrollo al final del proceso. Al analizar los resultados y comparar con aquellas semillas que fueron sometidas a fertilización química o agua, se apreció que los biofertilizantes arrojaron diferencias significativas positivas respecto a estos. Para el porcentaje de germinación el biofertilizante con mejor comportamiento fue la gallinaza con el 96,67%, coincidiendo significativamente (positivo), en conjunto el humus con el caldo de rizosfera con un 90%, para los indicadores fisiológicos IAF, TCC, TAC, DAF el biofertilizante que arrojó los mejores resultados fue el caldo de rizosfera. Al analizar el contenido de pigmentos fotosintéticos el humus obtuvo el valor más alto con 4,0 μ , seguido del caldo rizosfera con 3,9 μ . Con lo anterior, este estudio pudo concluir que los biofertilizantes estudiados son una alternativa viable para la etapa de plantulación de la cebolla, siendo el caldo de rizosfera quien más difirió, de forma positiva, en la mayoría de las variables respuesta analizadas.

Palabras clave: alternativa productiva, agroecosistema sostenible, BPA

ABSTRACT

The prolonged use of chemical fertilizers in agriculture has created a nutritional dependence on soils, compromising their ability to maintain an adequate nutrient balance. Although these fertilizers have been used for decades, their massive application has led to significant disadvantages in agroecosystems such as soil and water pollution, the degradation of soil structure and thus the loss of productive capacity. This is why, in the previous context, the present project focused on evaluating the effect that the type of biofertilization has on the production of seedlings of onion (*Allium cepa* L.) at the seed stage, ensuring greenhouse conditions as an option for sustainable seedling production. Thus, certified seeds of yellow onion variety Yellow Texas 502 were used, purchased from SEMICOL S.A., as this is the most cultivated in the municipality of Machetá - Cundinamarca, a region that shows marked problems in planting. On the other hand, coir fibre was used as substrate to avoid a soil effect on the germination process, given its heterogeneity. In the same order, three biofertilizers (liquid humus, gallinaza, rhizosphere broth) were used to compare with chemical fertilization (complete NPK fertilizer with concentration 13-26-6) and water as a control. Phenological variables (germination percentage, root volume, seedling height, number of leaves, fresh and dry mass, leaf area, etc.) and physiological indicators of development (TAN, TCR, IAF, DAF, etc.) were evaluated, as well as the content of photosynthetic pigments, the criteria for determining the effectiveness of treatments. To achieve the above, an experimental design of DBCA in random blocks with 5 triplicate treatments was carried out. Monitoring was carried out for 8 weeks from seed sowing, evaluating the response variables at 30 and 60 days; but the development indicators at the end of the process. When analyzing the results and comparing with those seeds that were subjected to chemical fertilization or water, it was seen that the biofertilizers showed significant positive differences compared to these. For the percentage of germination, the

biofertilizer with the best performance was the gallinaza with 96.67%, coinciding significantly (positive), together the humus with the rhizosphere broth with 90%, for the physiological indicators IAF, TCC, TAC, DAF the best biofertilizer was rhizosphere broth. When analyzing the content of photosynthetic pigments, humus obtained the highest value with 4.0 μ , followed by rhizosphere broth with 3,9 μ . With the above, this study could conclude that the biofertilizers studied are a viable alternative for the onion planting stage, being the rhizosphere broth which differed most, in a positive way, in most of the response variables analyzed.

Keywords: alternative production, sustainable agroecosystem, BPA.

1. INTRODUCCIÓN

La cebolla (*Allium cepa* L.) es una de las hortalizas más cultivadas y consumidas después del tomate en Colombia (León,D., 2017), siendo este un cultivo de tipo transitorio, el cual presenta un ciclo vegetativo de 6 meses, los 2 primeros meses para la elaboración y crecimiento del semillero y los otros 4 meses para el crecimiento del bulbo (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019).

La producción de cebolla es por medio de semilla, tradicionalmente, la semilla se siembra al boleto y se cubre con viruta de madera o cascarilla de arroz, esta práctica se lleva a cabo para proteger la semilla del ataque de pájaros y de la lluvia, sumado a ello, los surcos van de 1 metro de ancho y la longitud varía dependiendo de la cantidad de semilla y las dimensiones del lote (Rincón & Zanguña, 2019).

Con respecto a la producción de cebolla en el país, en la tabla 1, se observa un incremento en los cultivos de cebolla, respecto a esos datos es importante resaltar que la densidad de siembra aumenta anualmente, mano de obra (empleos) y por tanto la tasa de comercialización anual también refleja ese aumento, además, según el reporte del Ministerio de Agricultura y desarrollo rural, cinco de las verduras más comercializadas en Colombia son tomates, cebollas, coles, pepinos y berenjenas que acumulan cerca del 40 % de la producción mundial total (Lizarralde, 2013).

En Cundinamarca son 4 los municipios productores de cebolla que ocupan el primer lugar (Fusagasugá, Mosquera, Machetá, Uña), los cuales representan un área de 8.837 hectáreas con las mejores condiciones para la producción (Ministerio de agricultura y desarrollo rural, 2019). Es de resaltar que Cundinamarca es uno de los 3 principales productores a nivel nacional en los años

2021- 2022, los primeros dos puestos los ocupan Boyacá y Norte de Santander respectivamente, como se puede evidenciar a continuación (Tabla 1).

Tabla 1. Producción y rendimiento de cebolla de bulbo 2021-2022

AÑO	DEPARTAMENTO	ÁREA (HA)	PRODUCCIÓN (TON)	RENDIMIENTO (HA/TON)
2021	ANTIOQUIA	10,80	141,16	13,07
2021	BOYACA	5.072,88	130.685,79	25,76
2021	CALDAS	0,45	5,25	11,67
2021	CESAR	266,00	4.400,24	16,54
2021	CUNDINAMARCA	2.218,50	41.836,50	18,86
2021	HUILA	53,40	477,50	8,94
2021	NARIÑO	1.592,85	24.913,55	15,64
2021	NORTE DE SANTANDER	3.393,00	63.624,50	18,75
2021	SANTANDER	366,00	3.711,50	10,14
2021	VALLE DEL CAUCA	158,62	1.551,30	9,78
2022	ANTIOQUIA	2,50	18,17	7,27
2022	BOYACA	4.887,12	127.276,13	26,04
2022	CALDAS	0,40	2,00	5,00
2022	CESAR	292,00	4.362,00	14,94
2022	CUNDINAMARCA	2.599,00	49.310,00	18,97
2022	HUILA	49,05	426,23	8,69
2022	NARIÑO	1.619,80	33.155,50	20,47
2022	NORTE DE SANTANDER	3.052,50	60.907,06	19,95
2022	SANTANDER	365,30	4.104,60	11,24
2022	VALLE DEL CAUCA	110,95	1.473,80	13,28

Nota: Tomado de AGRONET, Ministerio De Agricultura y desarrollo rural (2022). Producción y rendimiento de cebolla de bulbo 2021-2022.

Entre una de sus características, el cultivo de cebolla es resistente al frío, sin embargo, para tener un óptimo rendimiento en la cosecha depende del manejo que se realizó en los primeros 5 meses, es decir, antes de iniciar la etapa de madurez (Molina, 2020). Las labores más importantes

son el manejo de arvenses, fumigaciones para prevenir y/o controlar plagas y enfermedades, y la fertilización, con el fin de suministrar los nutrientes necesarios a la planta para aumentar su rendimiento (León, 2017). Respecto a las labores mencionadas anteriormente el manejo que se le da al cultivo en el municipio según los agricultores y la OATA (Oficina de asistencia técnica agropecuaria) es el siguiente: el control de arvenses depende de las condiciones climáticas y se realiza aproximadamente a los 25, 50 y 80 días a partir del trasplante; las fumigaciones se realizan aproximadamente cada 7 días y las fertilizaciones a los 8, 30, 60 y 90 días de trasplante. La cantidad de fertilizante químico son de 10 bultos de 50 kg/lb de semillero (100.000 semillas) con una densidad de 0.25 ha, la cantidad de fertilizante implementado es debido a que el cultivo necesita de nutrientes principales como nitrógeno, fosforo y potasio (Cáceres, 2017). Debido a la alta demanda en el uso de fertilizantes, Alarcón & Gaviria, (2016), mencionan que el uso desmedido en agroquímicos causa infertilidad en los suelos. Existen alternativas para el uso de agroquímicos, algunos ejemplos son: el compost (descomposición de materiales orgánicos), la turba (agua, tierra y cal), el estiércol; humus de lombriz; guano (excrementos secos de aves marinas), abono verde (plantas), entre otros (Agronet, 2022). Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es brindar alternativas de biofertilización (humus, gallinaza, caldo de rizosfera) que no se han usado dentro del municipio de Machetá y que pueden brindar beneficios para los productores, los suelos y el medio ambiente.

Planteamiento del problema

En la actualidad el cultivo de la cebolla a nivel mundial presenta problemas fitosanitarios, algunas de estas problemáticas se deben a que no se realiza selección y desinfección de semillas, fertilización incontrolada o no se lleva a cabo un buen manejo del cultivo (Alarcón, 2017), además, existe una carencia de prácticas de conservación de suelos, aguas para riego; una alta deficiencia en el uso del servicio de asistencia técnica de las OATA (Oficina de asistencia técnica agropecuaria) encontradas en los municipios por parte de los productores; costos de producción; y sobre todo las consecuencias que están trayendo consigo la aplicación de la fertilización química; cabe resaltar que dentro de la información recolectada los productores de cebolla de municipio de Machetá y la OATA, 2022-2 manifestaron que se ha estado manejando regularmente las semillas certificadas con el fin de obtener una producción de alta calidad.

Una de las problemáticas del cultivo de cebolla es el uso de fertilización química, uso de fungicidas y plaguicidas, ya que el uso excesivo de estos provoca contaminación de aguas subterráneas y por escorrentía, también en los suelos a largo plazo genera infertilidad, acidez alta, y también problemas de salud (Kazimierczak et al, 2021) y (Návos, 2021). En cuanto a los costos de los fertilizantes granulares según DANE, 2022 para el mes de abril, el 68,08% de los precios de estos insumos presentó una variación positiva, el 16,75% permanecieron estables (no hubo variación), el 12,60% variación negativa. Uno de los fertilizantes más representativos en este grupo y dentro del cultivo es el fertilizante 15-15-15 (bulto de 50 kg), sus precios mostraron una variación positiva en 97 de los 102 municipios reportados (95,10%) y una variación negativa en 2 municipios (1,96%). Sin embargo, según las distribuidoras de insumos agrícolas del municipio el costo de un

bulto de este fertilizante ha alcanzado un valor de aproximadamente \$257.000 debido a falta de materia prima, costos de servicios y aumentos de producción agrícola de parte de los países exportadores de insumos agrícolas como es el caso de Rusia y Canadá (INTAGRI, 2022). Por lo tanto, esto genera que el mayor gasto para la producción de cultivos de cebolla sean los fertilizantes y fungicidas, respectivamente.

De acuerdo con la información presentada por (Fondo para el financiamiento del sector agropecuario [FINAGRO], 2022), el 21 % de los insumos utilizados en el cultivo de cebolla hacen referencia a los fertilizantes, dentro de los que se encuentran enmiendas, edáficos, materia orgánica y foliares, seguidamente se encuentran los insumos usados para el control fitosanitario con una participación del 16%, teniendo en cuenta los valores recolectados en el año 2021 FINAGRO estima que los costos para cultivar 1 hectárea de cebolla son de 19.916.000 pesos, de los cuales 13.916.000 pesos son implementados en insumos y el valor excedente se usa en mano de obra. Las labores mencionadas anteriormente también representan el costo elevado de la producción en el cultivo de la cebolla (Arjona et al, 2004) y (Barakenda et al, 2011).

Los fertilizantes químicos son los insumos agrícolas más importantes y antiguos pues le han brindado a la agricultura un rendimiento importante arrojando un aumento en la producción. Aunque con su aplicación ha logrado producir eutrofización, toxicidad de las aguas, contaminación de aguas subterráneas y superficiales, contaminación del aire (emisión de gases de efecto invernadero), degradación del suelo y de los ecosistemas, desequilibrios biológicos y reducción de la biodiversidad (Chaudry et al, 2020) y (Cabrera et al. 2012). De acuerdo con lo anteriormente mencionado los problemas en el agua, suelo y aire se deben a la aplicación excesiva de fertilizantes químicos que se acumulan en el suelo, causan un enriquecimiento descontrolado de nutrientes y generan desequilibrios en las condiciones naturales del entorno (González, 2019) y (Ortiz, 2012).

Por otra parte, los fertilizantes químicos causan un impacto negativo a largo plazo en los suelos, principalmente la variación del pH causando que las plantas no logren absorber los nutrientes, deteriorando la estructura del suelo y disminuyendo la capacidad de rendimiento y desarrollo, causando que los suelos sean infértiles deteriorando la microfauna y la dependencia de los suelos por los fertilizantes debido a que la agricultura en la actualidad depende de fertilizantes químicos solubles para obtener un mayor rendimiento, todos esas causales e impactos negativos producen una dificultad en el enraizamiento de las plantas, absorción de aguas y de los nutrientes (González, 2019).

De acuerdo con la información recolectada en Machetá y lo reportado por Estrada et al., 2015, las técnicas de elaboración del cultivo de cebolla que se han venido practicando tradicionalmente en todo el mundo y dentro de la región, en ocasiones no son las adecuadas debido a que la fertilización se hace de una manera desmedida, debido a que no se tienen en cuenta algunos factores como el análisis de aguas y suelos para determinar la cantidad de nutrientes presentes y necesarios tanto de aguas como en el suelo con el fin de que se pueda determinar dicha fertilidad y que no sea afectada la productividad por escasos o exceso de nutrientes.

En este contexto, el desconocimiento, falta de interés en asesoramiento por parte de los productores, el poco acompañamiento de entidades gubernamentales, ya a que los productores no arriesgan sus cultivos a posibles pérdidas o rendimientos menores al implementar nuevas alternativas de fertilización y por tal razón sigue primando el uso de fertilizantes químicos frente a los abonos orgánicos (Méndez & Viteri., 2007). En el municipio de Machetá, se ha implementado la gallinaza en los cultivos de cebolla pero según los productores la calidad del bulbo no es la misma, sino que por el contrario la calidad disminuye y al momento de venderla pierde precio, a causa de que la última capa del bulbo presenta un color café más oscuro frente al bulbo obtenido

con un fertilizante químico, una de las posibles causas de esta observación puede ser que la cantidad suministrada de gallinaza al cultivo, no se hace de una manera más responsable o con el asesoramiento adecuado, además de los problemas fitosanitarios que trae consigo (Gutierrez,2020).

Adicionalmente algunos de los comentarios recolectados de los agricultores es que la gallinaza no se usa en etapa de semilleros debido a que favorece el desarrollo de los trips (*Tisanópteros*) el cual se alimenta de la hoja de la cebolla y evita su crecimiento. En cuanto a las otras dos alternativas mencionadas (Humus Líquido, Caldo de rizosfera) no se han aplicado en ninguno de los cultivos llevados de la región, sin embargo, se sugiere la necesidad de ajustar las dosis y los métodos de aplicación para optimizar sus beneficios.

Por otro lado, los estudios también advierten sobre las limitaciones del uso de biofertilizantes en comparación con fertilizantes químicos, es decir, aunque los biofertilizantes aportan nutrientes, materia orgánica y son mejoradores de suelo; la productividad no es la misma frente al rendimiento que generan los fertilizantes químicos. También (Kumar, Meena, Shivran, Pal, & Meena, 2018), encontraron que, aunque los biofertilizantes pueden mejorar la calidad del bulbo y la sostenibilidad del suelo, su aplicación requiere dosis mayores y un manejo adecuado para lograr efectos comparables a los fertilizantes sintéticos.

Estas alternativas se seleccionaron debido a que no se han usado como fuente de nutrientes esenciales y sobre todo porque dentro del municipio se desconocen los aportes nutricionales especialmente con el caldo de rizosfera que está elaborado a partir de microorganismos que viven en simbiosis con la planta y llevan a cabo la fijación biológica de nitrógeno (FBN) lo cual favorece el desarrollo y crecimiento de las plantas sobre todo en el caso de las hortalizas, adicionalmente es retenedor de agua, mejorador de los suelos (Baca, Soto, & Pardo, 2000).

Adicionalmente al brindar alternativas de biofertilización a los productores se contribuye a la reducción de costos en compra de insumos y fertilizantes, demostrarles a los productores que los biofertilizantes pueden brindar resultados similares a los obtenidos con el uso de fertilizantes minerales principalmente en el rendimiento y la calidad de la cebolla, por otra parte que al lograr que los productores inicien con la implementación de las alternativas se contribuye a disminuir el impacto ambiental que han causado los fertilizantes minerales.

Por lo que, el objetivo de esta investigación es evaluar alternativas de biofertilización, entendiendo que los abonos orgánicos son un producto que contiene macro y micronutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas. Es obtenido a partir del procesamiento de desechos y residuos animales, vegetales, leñosos e industriales mezclados con tierra; optimizando las características físicas, químicas y biológicas con el fin de obtener cosechas de mejor calidad (Aguñaga et al. 2020).

Debido a lo anterior, en este proyecto pretendió dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué efecto ejerce el tipo de biofertilización sobre la producción de plántulas de cebolla (*Allium cepa* L.) en estadio de semillero bajo condiciones de invernadero como opción para la producción sostenible en Machetá, Cundinamarca?

2. JUSTIFICACIÓN

La agricultura en Colombia es uno de los principales aportadores económicos al país, con un 14% del PIB Ministerio de Agricultura y desarrollo rural, 2021; (Díaz, 2016), hoy en día la gran mayoría de cultivos en el país tienen como estrategia la aplicación de fertilizantes químicos para obtener un mayor rendimiento; por eso es relevante mencionar que de acuerdo al DANE en la encuesta nacional agropecuaria del 2019 se evidenció que Colombia tuvo 5.311.977 hectáreas sembradas de diferentes categorías dentro de las cuales se encuentran cultivos como café, cacao, caña de azúcar, palma, arroz, avena, plátano, papa, aguacate, cebolla, tomate, arveja, flores, entre muchos otros; son muchos los cultivos que se llevan a cabo en Colombia y el mundo y ;muy pocos los agricultores que implementan una alternativa para reducir el uso de químicos mediante el uso de biofertilizantes (Araujo & Collahuazo, 2019). Actualmente existe la tendencia en el consumo y producción de alimentos frescos o mínimamente procesados, ya que los insumos químicos ya sean fertilizantes o fungicidas afectan su calidad nutricional y causan impactos negativos en el ambiente, por tal motivo se buscan alternativas para llevar a cabo estos mejoramientos en los mercados (Anaya et al., 2011).

Los abonos orgánicos son considerados como fertilizantes elaborados artesanalmente debido a que se basa en la implementación de residuos generados de otras actividades, cultivos o animales (Armenta et al. 2010). Generalmente estos residuos se mezclan con la tierra para reforzar características químicas, físicas y biológicas con el principal objetivo de obtener cosechas verdes, sanas y con la menor proporción de contaminantes químicos (Gómez & Vásquez, 2011); una de las ventajas principales de estos abonos orgánicos es que son menos costosos en su proceso de producción, materia prima, mano de obra o adquisición por ser productos nacionales, de acuerdo con lo evidenciado por Gómez & Vásquez, (2011), además su uso se enfoca a la reposición de la

materia orgánica y suelos, debido a que aumentan la actividad microbiana y así mejoran la absorción, drenaje de aguas y fijación de minerales como carbono y fósforo (Armenta, et al. 2010).

La superintendencia de Industria y Comercio (SIC) presentó un estudio económico y sectorial titulado: Estudio sobre el mercado de fertilizantes inorgánicos en Colombia (2009 – 2018). El objetivo principal fue hacer una revisión del mercado de los fertilizantes inorgánicos durante los últimos diez (10) años. Teniendo en cuenta la información presentada se evidencia que entre los años 2002 y 2017 hubo un aumento en el crecimiento de fertilizantes fosfatados ocupando el primer puesto con un 49%, en el caso de los fertilizantes nitrogenados producidos en Asia con un 60% del total mundial, es el principal productor siendo Europa, finalmente se encuentran los fertilizantes potásicos en el 2017 Europa se posiciono como el mayor productor con el 45%. En cuanto a mercados en el 2013 Asia paso a ser el mayor exportador de fertilizantes nitrogenados, Europa se convirtió exportador de los NPK, es de aclarar que es especialista en producción de estos a base de potasio y finalmente América se convirtió en el mayor importador de fertilizantes a base de fósforo y nitrógeno, en cuanto a los de potasio es el segundo mayor importador. Esta investigación es relevante debido a que se confirma que ha habido un aumento en la producción y consumo agrícola en cuanto a fertilizantes y que el continente donde estamos ubicados es el principal importador, evidenciando que Colombia en el 2018 el producto que más adquirió fue a base de nitrógeno, con esta afirmación se evidencia que el nitrógeno es un elemento esencial para la agricultura colombiana.

A continuación, se mencionan algunas ventajas y desventajas de los fertilizantes químicos frente a los fertilizantes orgánicos, cabe resaltar que los biofertilizantes hacen parte de los abonos orgánicos debido a que son elaborados a base de extractos de plantas y microorganismos (Tabla 2).

Tabla 2. Comparación entre la fertilización química y el abono orgánico

Fertilizante químico	Abono orgánico	Referencia
Son elaborados a base de materias primas importadas y su procesamiento es altamente dependiente de energía, provenientes de yacimientos mineros y fuentes no renovables.	Son elaborados con materia prima obtenida de subproductos de origen vegetal y animal.	(Cubero & Vieira, 1999) (Armenta et al, 2010) (Finck,1984)
Los costos están basados en moneda extranjera, salida de divisas y la necesidad de equilibrar el desface entre los precios internos y externos de los insumos.	Los costos son menores, debido a que son productos elaborados con materia prima del país y obtenidos en el país.	(Cubero & Vieira, 1999) (DANE, 2022) (INTAGRI, 2022)
Los contenidos de nutrientes son más fácilmente conocidos y controlables.	Los contenidos de nutrientes son poco manejables y están en función de sus concentraciones en los residuos utilizados.	(Cubero & Vieira, 1999) (Umajinga, 2021) (Matiz, Villamil, & Torres, 2005)
La elevada concentración de nutrientes y la baja humedad es una de las fortalezas de estos productos.	La baja concentración de nutrientes y los elevados niveles de humedad, es una de las debilidades presentes en estos.	(Cubero & Vieira, 1999) (INTAGRI, S.C.) (Matiz, Villamil, & Torres, 2005)
Su solubilidad permite que los nutrientes estén más rápidamente disponibles para las plantas.	Son menos solubles, ponen los nutrientes a disposición de las plantas de manera más gradual.	(Cubero & Vieira, 1999) (Umajinga, 2021) (Finck,1984)
Los fertilizantes químicos no son considerados como mejoradores del suelo.	Son catalogados como mejoradores del suelo ya que mejoran su estructura, lo que adecua la infiltración del agua, facilita el crecimiento radical y la aireación.	(Cubero & Vieira, 1999) (González, 2019) (Matiz, Villamil, & Torres, 2005) (Shaheen, 2007).

Su aplicación mecánica hace que los costos de transporte y mano de obra sean relativamente más bajos.	Los requerimientos de mano de obra que implica su manejo y aplicación generan costos adicionales.	(Cubero & Vieira, 1999) (Alvarez, 2008) (INTAGRI, S.C.)
---	---	---

Aportan menos nitrógeno a las plantas	Los biofertilizantes están compuestos a base de microorganismos, bacterias, hongos y extractos de plantas. Aportan mayor cantidad de nitrógeno	(FAO,2008) (Vessey,2003)
---------------------------------------	--	-----------------------------

De acuerdo con la comparación realizada en la tabla anterior, se logra evidenciar que los abonos orgánicos se puede llevar a cabo de una manera controlada; con costos menores en producción, pueden ser producidos en todo el país y la materia prima es de productos que suelen descartarse, se necesitan en mayor cantidad, pero su impacto es positivo, se demoran en ser aprovechados por la planta, pero perduran más mejorando la fertilidad de los suelos .En el caso de los fertilizantes químicos sucede lo contrario, los costos son más altos, la materia prima la extraen de yacimientos, no provienen de fuentes renovables son productos importados lo cual eleva su costo por impuestos, transporte. Los niveles de contaminación de suelos y aguas subterráneas y por escorrentía son más altos frente a los fertilizantes orgánicos (INTAGRI, 2022)

Respecto a lo mencionado anteriormente, se ha optado por brindar a los agricultores del municipio de Machetá- Cundinamarca algunas alternativas de biofertilización (Caldo de rizósfera, humus líquido y gallinaza) debido a que se ha observado que siguen implementando técnicas de fertilización con químicos, la mejor manera de observar la eficacia en el cultivo es realizando cultivos de semilleros con la misma variedad de semillas implementadas en la región y posteriormente analizar las alternativas de biofertilización. Algunos de estos beneficios de su uso se lograron comprobar con el asesoramiento, acompañamiento y apoyo experimental de los

laboratorios de UNIAGRARIA, también porque los agricultores desconocen de las ventajas de estos, dentro de las cuales cabe resaltar como principal para el bolsillo del agricultor el bajo costo de producción y adquisición de estos abonos orgánicos debido a que no son importados, otras ventajas como la recuperación de suelos contaminados debido a que estos en su mayoría son más amigables con los suelos y contribuyen con la fijación biológica de N (Grageda, et al. 2012), también que no existe variabilidad significativa en cuanto a la calidad del producto cultivado de acuerdo a algunos estudios realizados y que han demostrado dicha afirmación.

Un ejemplo de esto es el uso desmedido e indiscriminado de la gallinaza en los cultivos de cebolla debido a que puede causar contaminación de los suelos, atracción de plagas y enfermedades en los cultivos, el deterioro y desbalances nutricionales y malos olores en el ambiente (Gutierrez,2020).

De acuerdo con las líneas de investigación de la institución, este proyecto se enfocó al desarrollo rural con enfoque territorial. La anterior afirmación enmarcada se centra en brindar una alternativa al sistema productivo de la cebolla en el municipio de Machetá- Cundinamarca. La alternativa que se evaluó se enmarca en la estrategia de producción más limpia, contribuyendo así al desarrollo sostenible del campo colombiano y que se ha convertido en uno de los principales objetivos a nivel mundial (Isaac, 2011), (Grageda, et al. 2012), desde las dimensiones ambiental, económica y social. Desde el punto de vista ambiental impactó mediante el uso de un producto orgánico en reemplazo de productos químicos sintéticos en la fertilización, lo que enriquece el valor nutricional del sustrato, la planta y la flora microbiana del suelo. Al analizar la dimensión económica, las ventajas que pueden proporcionar los biofertilizantes dado su bajo costo de producción, producción in situ, productos de la cosecha con mejor calidad nutricional; adicionalmente puede presentarse un rendimiento diferencial positivo respecto a los fertilizantes

minerales. Por otro lado, desde lo social, el proyecto impacta en la calidad de vida de los productores y también de la mano de obra, no solo por reducción del costo de producción y por ende el incremento del margen de ganancia, sino por la menor exposición a sustancias químicas que pueden afectar la salud humana (Armenta, et al, 2010). Por otra parte, la línea de investigación del programa académico en la que se enfoca este proyecto es el aprovechamiento de subproductos, pues con este se busca brindar alternativas de biofertilización con el empleo de recursos locales y subproductos provenientes de la cosecha del frijol, como se evidencia en estudios realizados por (Méndez & Viteri, 2007). En el proyecto que se propone se empleó el uso de la raíz del frijol como fuente de nitrógeno dada la acumulación de este elemento en los nódulos que se forman por simbiosis con bacterias del género *Rhizobium* (Pommeresche, R., Hansen, S.; 2017). Es de aclarar que, si bien es cierto que la raíz de la planta del frijol es un órgano de esta, no es lo que se consume, por lo que se convertiría en un residuo de la cosecha; todo residuo al ser valorizado, como es el caso, se convierte en un subproducto.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Evaluar el efecto que ejerce el tipo de biofertilización sobre la producción de plántulas de cebolla (*Allium cepa* L.) en estadio de semillero bajo condiciones de invernadero como opción para la producción sostenible en Machetá, Cundinamarca

3.2. Objetivos específicos

- Evaluar parámetros de germinación y crecimiento de semillas de cebolla (*Allium cepa* L.) en el estadio de semillero bajo condiciones de vivero implementando alternativas de biofertilización.
- Determinar indicadores de desarrollo fisiológico que evidencien la respuesta a la aplicación de los biofertilizantes empleados en el estadio de semillero de la cebolla (*Allium cepa* L.)
- Evaluar el contenido de pigmentos fotosintéticos en plántulas de cebolla en condiciones de fertilización orgánica

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. Marco Histórico

En el periodo neolítico se evidenciaron las primeras actividades agrícolas las cuales fueron la caza, pesca y recolección, las cuales transformaron desde ese entonces el estilo de vida de la humanidad. El término “agricultura” se hizo fuerte cuando se empezaron a usar herramientas pulimentadas para llevar a cabo estas actividades debido a que se inició a cultivar plantas, cuidar animales, recolectar semillas con el fin de cultivarlas cerca de los hogares para disminuir el desplazamiento, fue así como se marcó el inicio de la agricultura y ganadería (Crespo-Garay, C. 2022).

El padre de la química agrícola Justus Von Liebig (1803-1873), creó el principio Liebig en la cual sostiene que el crecimiento y desarrollo de las plantas está limitado por el nutriente esencial que se encuentra en menor cantidad en el suelo o en el entorno en el que se cultivan, es decir la planta solo crece hasta que uno de los nutrientes esenciales esté disponible. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente en la agricultura se evidenció la necesidad de obtener rendimiento en los cultivos por esta razón aparecieron los fertilizantes en el siglo XIX, los cuales al ser aplicados a los suelos o vegetales deben suministrar los nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de los vegetales. Adicionalmente a raíz del principio Liebig el primer fertilizante químico se creó a base de huesos y ácido sulfúrico de ahí surgieron los fertilizantes fosfatados posteriormente Johann Friedrich Mayer fue el primero en presentar investigaciones sobre la relación del yeso con la agricultura (Arango, M, 2017) como se citó en (Gómez y Vásquez, 2011) y (Carillo, C., 2013).

En 1904 Fritz Haber químico alemán presentó las primeras investigaciones de fertilizantes nitrogenados, por otro lado, en 1773, fue aislada a partir de la orina la Urea la cual se conoce como

el primer compuesto orgánico sintetizado a partir de sustancias inorgánicas. Actualmente la urea se sigue usando y se debe usar con asesoramiento técnico (Carillo, C., 2013).

Con la aparición y uso de los fertilizantes químicos se ha generado el deterioro de suelos y disminución en la productividad especialmente en las hortalizas, las cuales son las más consumidas debido al alto contenido de fibra y vitaminas. La cebolla es una de las hortalizas más consumidas después del tomate y se ha visto afectada por el uso de fertilizantes químicos, estos fertilizantes han generado una problemática de salud y ambiental, lo cual ha favorecido que los abonos orgánicos tomen fuerza con el fin de mitigar los impactos negativos que han generado los fertilizantes químicos y de probar la eficacia en la producción agrícola

Con el transcurso de los años se ha evidenciado que para la producción agrícola se requiere mantener suelos fértiles y con nutrientes esenciales como es el caso del nitrógeno. En el 2008 la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) realizó un estudio donde demuestra que la fijación biológica de nitrógeno contribuye con mayor cantidad de N al crecimiento de las plantas que la cantidad total de fertilizantes nitrogenados aplicados a los cultivos. por tal motivo se han realizado estudios a microorganismos fijadores de nitrógeno como son las bacterias, los hongos y extractos de plantas los cuales dan origen a los biofertilizantes, estos pueden ser inoculados y vivir asociados en simbiosis con las plantas (Vessey, 2003).

Aunque se han realizado investigaciones de los biofertilizaciones es normal encontrar documentadas solo las que han sido exitosas (Viteri,2002). El estudio de los biofertilizantes ha ido evolucionando en algunos países europeos y asiáticos; (Okon y Labandera-González, 1994).

Según Grageda, (2012) entre 1990 a 2006 se han comprobado el uso exitoso de algunos inoculantes a base de *Rhizobium*, *Mesorhizobium*, *Bradyrhizobium*; *Azospirillum*; *Azotobacter*; *Pseudomonas*, microorganismos solubilizadores de fosfato y *Trichoderma*, para mejorar la

nutrición de las plantas y la producción agrícola está bien documentado. Adicionalmente en Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay los biofertilizantes se han convertido en la base de producción de leguminosas principalmente es la soya.

4.2 Marco Geográfico

La investigación sobre las alternativas de biofertilización para plántulas de cebolla en estadio de semillero se llevó a cabo durante 2 meses (8 semanas) en los invernaderos de la Fundación Universitaria Agraria de Colombia, las pruebas de laboratorio en el laboratorio de biocombustibles de la universidad ubicada en la Calle 170 No 54A -10 Bogotá D.C (Colombia), localizado en las coordenadas a $4^{\circ}45'13''$ N y a $74^{\circ}03'12''$ O, una elevación 2640 m sobre el nivel del mar, una humedad relativa del 94% y una temperatura anual promedio de 14°C . Cabe aclarar que se realizó con el fin de brindar alternativas innovadoras para la producción en el municipio de Machetá que está localizado en la provincia de los Almeidas con las coordenadas $5^{\circ}04'49''$ N y a $73^{\circ}36'27''$ O una humedad relativa del 91% y una temperatura anual de 17.8°C . Según Palacios & Salazar, (2022) la cebolla debe ser cultivada en un clima cálido con una temperatura considerable que va desde los 12°C hasta los 23°C .

En la figura 1 se refleja la ubicación de los lugares de estudio anteriormente mencionados

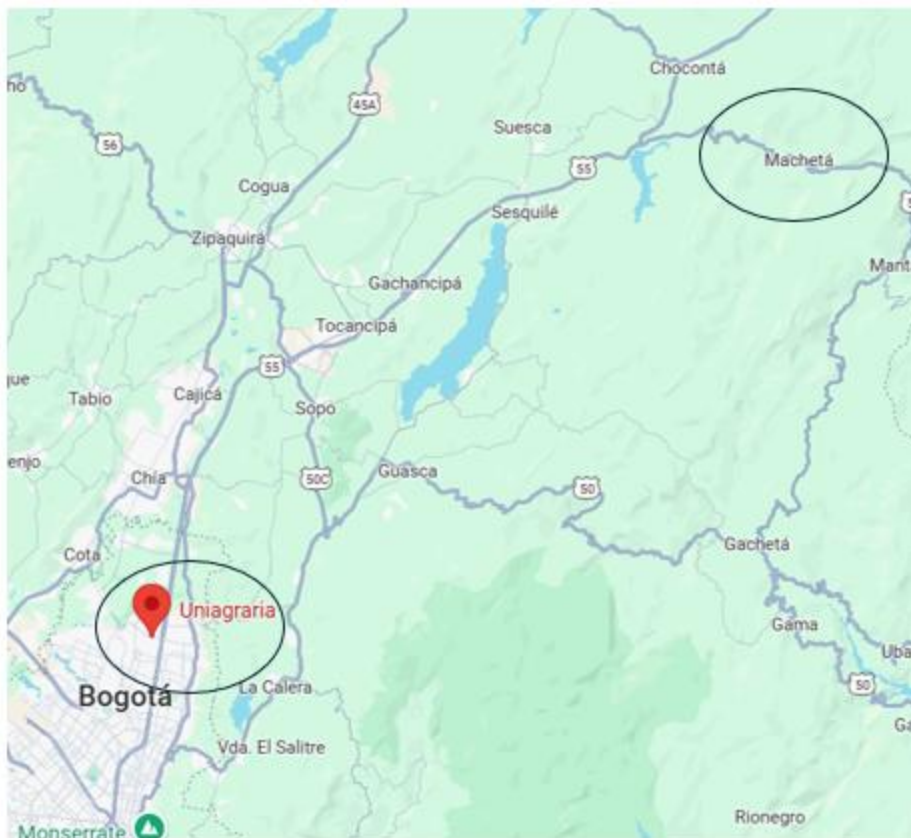


Figura 1. Lugar de estudio, Fundación Universitaria Agraria de Colombia con énfasis en el municipio de Machetá Cundinamarca

Fuente: Tomado de Google Maps (2025).

Condiciones Climatológicas

En la tabla 3. Se realizó la comparación de las condiciones climatológicas del municipio de Machetá frente a las de Bogotá con el fin de evidenciar que los valores son muy similares, por esta razón es factible brindar alternativas de biofertilización y un nuevo sustrato para futuras producciones, adicionalmente se confirma que la temperatura de estos dos lugares favorece la germinación de acuerdo con los requerimientos agroecológicos del cultivo (Salazar & Palacios, 2022) y (Castellanos, 1999).

Tabla 3. Comparación condiciones climáticas

Condiciones	Machetá	Bogotá
Temperatura Promedio (°C)	8 – 20 (17.8 °C)	8 – 20 (13.1 °C)
Humedad Relativa (%)	82 - 91	77 - 83
Precipitación (Mm)	201	797
Elevación (m.s.n.m)	2094	2640
Horas Luz	11:50 – 11:58	11:53 – 11:58

Nota: Tomado de IDEAM (s.f), Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos

4.3 Estado del Arte

De acuerdo con la investigación que realizaron Méndez y Viteri, 2007, el objetivo general fue validar el potencial de cuatro alternativas de biofertilización para la producción de cebolla de bulbo en Cucaita, Boyacá. La metodología empleada fue la implementación de 3 biofertilizantes (Bocashi, Caldo de rizósfera, Caldo super cuatro) y como testigo el fertilizante. Los resultados demostraron que uno de los tratamientos con el caldo de rizósfera tuvo menor incidencia en enfermedades. Esta investigación ratifica la viabilidad de su uso como biofertilizante debido a que arrojó los valores más altos en rendimiento y calidad de los bulbos, aunque es importante aclarar que se diferencia entre esta investigación debido a que solo coincidía con uno de los biofertilizantes que se usará en esta investigación (Caldo de rizósfera) sin embargo este se elaboró a base de raíz de frijol y el de ellos a base de borraja, ortiga y limonaria, adicionalmente ellos combinaron los 4 productos en los distintos tratamientos que usaron y en este caso se trabajaron por separado, el fertilizante que usaron fue triple 15 (NPK) y en este caso será con 13-26-6 (NPK), el proceso de ellos fue hasta la cosecha y el semillero fue hecho en suelo directamente, con cascarilla de arroz y en este caso solo se lleva a cabo en estadio de semillero con fibra de coco.

Hernández, 2014, presento su investigación titulada como: Influencia de una fertilización NPK y tres abonos orgánicos en la producción de cebolla (*Allium cepa* L.), cv “sivan” en el Valle de Chao – La Libertad. El objetivo principal fue determinar la influencia de una fertilización NPK y tres abonos orgánicos en la producción de cebolla *Allium cepa* L. Cv. Sivan en el valle de Chao, provincia de Virú. Esta investigación aporta debido a que soporta que los abonos orgánicos, estiércol y demás favorecen los suelos y cultivos de cebolla, en este caso es similar a la investigación llevada a cabo debido a que usan uno de los biofertilizantes que se trabajaron (Humus de Lombriz). Se diferencia debido a que combinaron los 4 tratamientos con NPK y al testigo absoluto no se le adiciono fertilizante. De acuerdo con los resultados que obtuvieron uno de los mejores tratamientos fue el A (Humus de Lombriz + NPK) debido a que arrojó la mayor altura de las plantas, la mayor cantidad de hojas obtenida a los 90 días, la mejor producción de bulbo de cebollas, calidad y rendimiento. Por tal motivo es viable la implementación debido a sus resultados.

Golubkina et al., 2022 presentó un estudio donde se realizó la comparación entre 2 sistemas agrícolas ,4 dosis de Nitrógeno y 11 cultivares sobre rendimiento. En este estudio se demostró que la agricultura convencional frente a la orgánica brinda mayor rendimiento, peso seco, mayor altura, contenido de nitrato y ácido ascórbico en comparación con el orgánico para la mayoría de los cultivares, mientras que la quercetina se vio más afectada por el manejo orgánico. En cuanto a los resultados mencionados anteriormente se confirma algunas de las desventajas de los abonos orgánicos frente a los químicos, además de que la implementación de estos abonos orgánicos fue con el objetivo de brindar alternativas sostenibles debido a la tendencia actual en cuanto a la protección del medio ambiente frente a la demanda de seguridad y calidad alimentaria.

4.4 Marco Legal

A continuación, se mencionan algunas Normas establecidas para el uso de fertilizantes químicos y abonos orgánicos

Decreto 843 del 26 de mayo de 1.969, expedido por la Presidencia de la República, con el cual se regula el comercio de insumos agrícolas. Este decreto establece que toda persona natural o jurídica que se dedique a la producción e importación de fertilizantes, plaguicidas de uso agrícola, alimentos para animales y drogas veterinarias debe registrarse ante el ICA.

Teniendo en cuenta el decreto mencionado al estar registrado ante el ICA se creó el decreto No. 1974 de 1.989. que estableció la reglamentación sobre Distritos de Manejo Integrado de los Recursos Naturales Renovables. En dicho Decreto se indica en el Capítulo V Numeral 4 la recuperación para la producción de los suelos y cuerpos de agua que presentan procesos de contaminación por manejo inadecuado de agroquímicos. Con el cual se busca que la CAR (Corporación Autónoma regional) realice actividades de educación e investigación sobre la conservación y mejoramiento del medio ambiente. Brindando los conocimientos necesarios sobre las disposiciones en la industria, comercio y aplicación de bioinsumos y productos afines, de abonos o fertilizantes, enmiendas, acondicionadores del suelo y productos afines: plaguicidas químicos, reguladores fisiológicos, coadyuvantes de uso agrícola y productos afines, se estableció la Resolución 3079 del 19 de noviembre de 1.995, del ICA.

En la Resolución No. 00150 (2003), expedida por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) Por la cual se adopta el Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia. Establece requisitos y procedimientos de reglamentaciones internacionales vigentes, tanto para el registro, control legal y técnico de fertilizantes y acondicionadores de suelos;

especialmente en lo relacionado con terminología, comercialización, clasificación, composición garantizada, etiquetado, tolerancias, contenidos mínimos permisibles y parámetros para verificación de la conformidad.

RESOLUCIÓN No. 00375 (27 de febrero de 2004-) presentada por el ICA en el cual se dictan las disposiciones sobre Registro y Control de los Bioinsumos y Extractos Vegetales de uso agrícola en Colombia como la producción, importación, exportación, comercialización nacional e internacional, uso y manejo adecuado y racional de los mismos en el uso agrícola con el fin de prevenir y minimizar daños en la salud humana.

La Resolución No. 54049 de 2014 reconoció que los fertilizantes inorgánicos son clasificados respecto a la composición de cada uno como simples y compuestos. Estos pueden ser desagregados por su condición física en sólidos, líquidos y solubles, generalmente los fertilizantes son aplicados en las hojas de las plantas (foliar) y en las raíces (edáficos), en esta resolución se concluyó que el mercado será clasificado estrictamente por composición como se mencionó anteriormente en simples y compuestos (SIC, s.f.).

La resolución N° 00101 del 2022 reglamentada parcialmente por el Ministerio de Agricultura y desarrollo rural que el artículo 19 de ley 2183 de -2022, relacionado con operaciones autorizadas al fondo para el acceso a los insumos agropecuarios (FAIA), algunas de las operaciones son la financiación, producción, transporte, almacenamiento, compras, importación, garantías de importación y demás actividades para el uso eficiente y sostenible de insumos agrícolas.

4.5. Marco Teórico

4.5.1. Origen e importancia del cultivo de cebolla

La cebolla de bulbo es originaria del Asia (Irán, Afganistán, Pakistán), los españoles son los que la introdujeron a América, el uso de la cebolla data de tiempos remotos, es una especie muy conocida como una hortaliza (Alarcón, 2017). Durante la edad media su cultivo se desarrolló en los países mediterráneos, donde se seleccionaron las variedades de bulbo grande, que dieron origen a las variedades modernas. La cebolla es una de las hortalizas más consumidas desde su aparición, es un alimento bajo en calorías, con alto contenido de agua, un excelente regulador del organismo gracias a su elevado contenido de fibras y vitaminas (Alarcón, A. & Gaviria, J., 2016; El-Hadidi et al., 2016). Es un cultivo muy tradicional tiene un manejo muy cultural el manejo del cultivo es el siguiente, preparación del terreno (arado y armado de surcos), posteriormente sigue la propagación, existen tres métodos de propagación el primero es por trasplante es donde se hacen semilleros es el método más usado con una duración de 45 días, el segundo es llevado a cabo por siembra directa es realizado en lugares mecanizables, mayor costo en semilla y menor en mano de obra y el tercero por bulbillo estos deben tener un diámetro de 1.5 a 2.5 centímetros y exige una alta densidad de semilla por hectárea. Después de hacer la propagación se llevan a cabo actividades de sostenimiento como control de arvenses, riego, fumigación para control de plagas y enfermedades y finalmente la fertilización, todas estas actividades son de vital importancia para lograr la cosecha. Las principales zonas de comercialización son Bogotá, Medellín y Cali (Alarcón & Gaviria., 2016).


Como se mencionó anteriormente uno de los medios de propagación es por semilla está presenta un importante aporte ya que es el principal órgano reproductivo de la gran mayoría de plantas y cultivos dentro de las cuales está el bulbo de la cebolla. Está encargada de la renovación,

persistencia y dispersión de plantas existentes. Entre las ventajas que presentan las semillas se encuentra el almacenamiento por largos períodos, asegurándose así la preservación de especies y variedades de plantas valiosas y adicionalmente que las semillas en la actualidad son modificadas genéticamente con el objetivo de hacerlas más resistentes a plagas y enfermedades (Doria, 2010). Además, han servido para realizar estudios donde se utilizan métodos de aceleración de germinación como campos magnéticos (García et al., 2005). De acuerdo con Ahamed & Bayoumi, 2013, se logró evidenciar que estos campos magnéticos si contribuyen a acelerar la germinación por tanto disminuye el tiempo de producción del cultivo lo que es una ventaja (Carbonell et al., 2004).

4.5.2. Taxonomía de la cebolla de bulbo

La clasificación taxonómica de la cebolla se encuentra relacionada a continuación en la tabla 4:

Tabla 4. Clasificación taxonómica de la cebolla de bulbo

Reino	<i>Plantae</i>	
Genero	<i>Allium</i>	
División	<i>Magnoliophyta</i>	
Clase	<i>Liliopsida</i>	
Subclase	<i>Lilidae</i>	
Orden	<i>Amaryllidales</i>	
Familia	<i>Alliaceae</i>	
Subfamilia	<i>Allioidea</i>	
Especie	<i>Allium cepa L.</i>	

Nota: Tomado de Palacios & Salazar, 2022; Portalfruticola.com, 2017; Flores, 2015.

4.5.3. Condiciones Agroecológicas

Hoy en día la cebolla (*Allium cepa L.*) se produce en muchos climas, pero lo ideal es que sea cultivada en un clima cálido y tropical con una humedad considerable que va desde los 12°C hasta los 23°C y la temperatura óptima de germinación es de 24° C, entre 10 y 20° C crece

perfectamente, es muy resistente al frío, sin embargo, no tolera condiciones extremas de altas temperaturas. Las condiciones del suelo para la cebolla el ideal es que sea franco arcilloso o arcillo arenosa con una pendiente no mayor al 3%, ricos en materia orgánica ya que permiten tener un bulbo de mejor calidad y es importante debido a que es la parte comestible, también tener adecuada aireación en el suelo, buen drenaje, evita la formación de encharcamientos y pudriciones (Palacios & Salazar, 2022) y (Castellanos, 1999).

Dentro de la cebolla hay infinidad de variedades algunas son mencionadas en la tabla 4, la variedad que se va a usar es conocida como Yellow Granex 502 es originaria de Asia, es conocida por presentar bulbos grandes y uniformes en forma de trompos es propia de climas cálidos y medios, aunque las bajas temperaturas alargan su etapa vegetativa esta variedad se favorece en suelos sueltos, profundos con suficiente contenido de materia orgánica, los suministros necesarios para esta variedad son los siguientes de fertilizante debe contener altos niveles de Nitrógeno y potasio, de agua y buena luminosidad y una capacidad de adaptación a una altura de 400 a 2800 msnm (El semillero, s.f) y (Hafez & Gerjes, 2018).

4.5.4. Morfología de la cebolla

La cebolla se cultiva como una especie anual cuando se requiere la recolección de sus bulbos, pero también se cultiva como bianual si se pretende obtener las semillas. Su tallo es reducido, en su parte inferior posee numerosas raíces, en la parte superior hojas, en ocasiones flor y finalmente la base carnosa e hinchada se conoce como el bulbo (Alarcón, 2017) y (Pinzón, 1996).

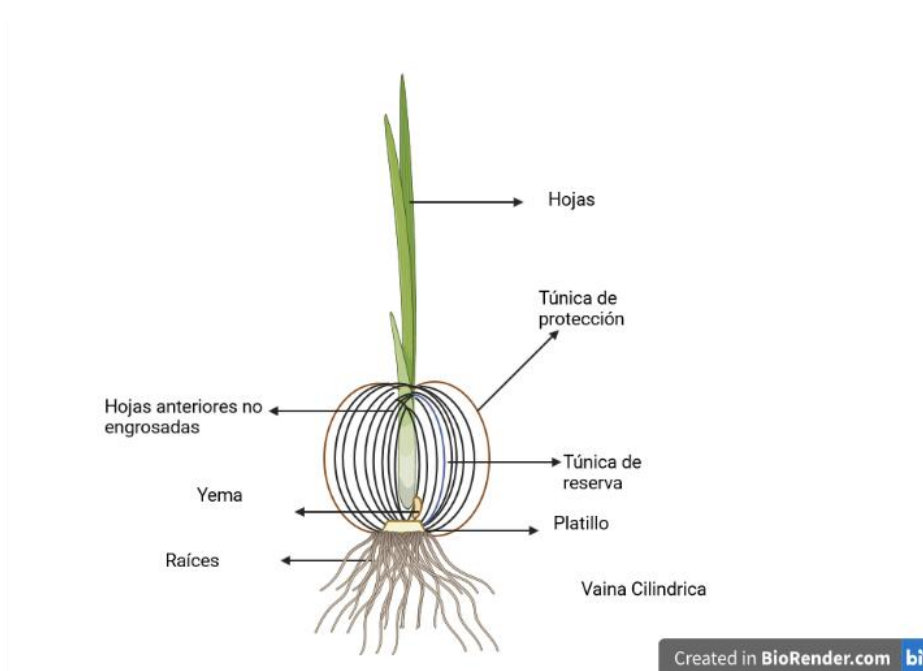


Figura 2. Morfología de la planta de cebolla de bulbo

Fuente: Adaptado de González, 2012.

Está formado por numerosas capas gruesas y carnosas al interior, están recubiertas de membranas secas, delgadas y transparentes, que son base de las hojas. El sistema radicular: es fasciculado, corto y poco ramificado; siendo las 2 raíces blancas, espesas y simples (Alarcón, 2017). A diferencia de las capas exteriores que son más finas y transparentes, de un color variable entre el rojo o violeta al blanco, así se constituye lo que se denomina piel (González, 2012). La segunda parte que conforma la planta es el tallo verdadero que está situado en la base de los bulbos,

de donde brotan las yemas, las hojas y las raíces y el otro tallo conocido como falso tallo que brota del escapo floral. Durante el primer año de vida de la planta, el tallo alcanza una altura de 0.5 a 1.5 centímetros, con un diámetro de 1.5 a 2.0 centímetros, es de forma tabular y hueco alcanzando una altura hasta de 150 centímetros (Alarcón, 2017) y (Blanco., 2017). En cuanto a las hojas son envainadas, alargadas, fistulosas y puntiagudas en su parte libre, están constituidas por una parte basal. Las hojas son cilíndricas, huecas, algunas veces cerosas y están formadas por vainas que se anteponen unas con otras y forman un órgano hinchado denominado botánicamente bulbo tunicado. Las hojas constan de dos partes: el limbo y la vaina. Generalmente, desarrollan una hoja de 1 a 9 días (Alarcón, 2017). Una planta que crece en óptimas condiciones puede producir de 13 a 18 hojas (Enciso, et al., 2019) y (Blanco,2017).

Por otra parte, se encuentra la flor generalmente es vistosa, de coloración blanca o lila, reunidas en una inflorescencia del tipo umbela (Enciso, et. al., 2019); Hermafroditas, pequeñas, verdosas, blancas o violáceas, que se agrupan en umbelas. (Alarcón, 2017), también es de resaltar que de acuerdo con lo observado en campo la flor de la cebolla se genera cuando se siembra un bulbo para obtener una nueva cosecha o cuando son épocas de mucha lluvia y cambia a una época de primavera fría, cuando aparece la flor el tallo de la cebolla es mucho más fuerte y resistente a quiebres. El fruto es una cápsula con tres caras, de ángulos redondeados, que contienen las semillas, las cuales son de color negro, angulosas, aplastadas y de superficie rugosa. (Alarcón, 2017) y (Blanco,2017).

4.5.5. Fisiología de la cebolla

La cebolla a comparación con otras especies tiene un bajo un desarrollo en cuanto a crecimiento, debido a que se centra en la producción de hojas y que es ahí donde se evidencia el desorden fisiológico por medio de la aparición del amarillamiento de la punta de las hojas, las

principales causales son la ausencia o deficiencia de agua en sus raíces, presencia de Trips que causan el daño mecánico, también puede ser por las condiciones climáticas de temporadas cálidas a húmedas debido a que cambios tan bruscos provocan el retraso en el desarrollo foliar y radicular (Vargas & Casierra, 2015); las condiciones climáticas requeridas para que el cultivo de la cebolla se lleve a cabo en temperaturas entre 12 -23 °C, adicionalmente si el fotoperiodo es corto las plantas vegetan sin formar bulbo, el terreno más conveniente para las cebollas es el calizo, suelto, arenoso y fresco finalmente no tolera la acidez alta, siendo el promedio de pH entre 6,0 y 6,8 (SENA,1990). El pH se debe ajustar a las condiciones que se pueda desarrollar, por ejemplo, si el suelo es muy ácido se aplica 1 o 2 toneladas de cal dolomita por grado o punto de acidez para disponer de Calcio, Magnesio y fósforo (SENA,1990) y (Pinzón, 1996).

La cebolla es considerada de días largos en relación con la formación del bulbo, por esta razón el fotoperiodo es uno de los factores más importantes para la formación del bulbo, si las horas luz son muy cortas va a causar que no se bulbifique y siga produciendo hojas, mientras que temperaturas muy bajas (menores a 10 °C) no permiten la formación del bulbo y temperaturas muy altas (mayores 25 °C) arrojaran bulbos pequeños pero prematuros (Vargas & Casierra, 2015).

4.5.6. Fenología de la cebolla de bulbo

La fenología es la observación, registro e interpretación de eventos tales como la producción de hojas, flores, frutos y tamaños; relacionando todos los factores que ocasionan estos cambios.

De acuerdo con Alarcón, 2017 menciona que la fenología de la cebolla se resume en 3 etapas que son, etapa vegetativa, etapa reproductiva y la final es la etapa de madurez como se evidencia en la figura 3.

La fase Vegetativa se caracteriza por ser el instante en que emergen nuevas hojas luego de haberse llevado a cabo el trasplante, son hojas que tienen una forma tubular y varían entre 12 y 16 cm dependiendo la variedad, transcurre entre los 0 y 45 días (Flores, 2015).

La fase reproductiva inicia a los 45 días y finaliza a los 105 días aproximadamente es reconocida por ser el momento en que finaliza la aparición de hojas nuevas, por tanto, inicia la formación del bulbo, esta etapa finaliza antes de que las hojas del bulbo empiezan a doblarse.

La última fase del estado fenológico es la etapa de madurez a los 105 días se caracteriza por el inicio del doblamiento de hojas debido al ablandamiento del tallo, inicia el amarillamiento del cultivo y a los 160 días hay carencia de hojas, listos para ser cosechados y comercializados.

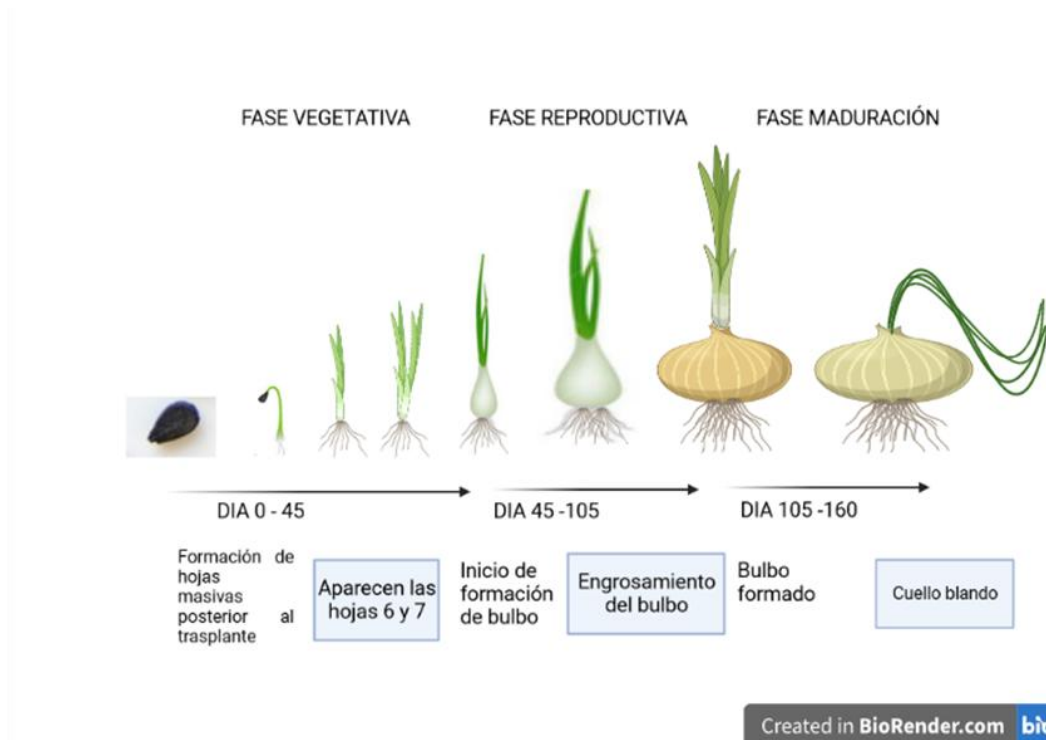


Figura 3. Fases fenológicas de la cebolla de bulbo

4.5.7. Plagas y enfermedades que afectan el cultivo de cebolla

Las pérdidas causadas por plagas en el cultivo de la cebolla en Colombia representan una de las principales amenazas para la producción y la seguridad alimentaria en el país. Diversas especies de insectos, ácaros y hongos afectan tanto el rendimiento como la calidad del producto, generando pérdidas económicas considerables. Según Peña et al. (2020), la plaga más devastadora en la cebolla es el ácaro *Tetranychus urticae*, que afecta las hojas y reduce la fotosíntesis, lo que lleva a una disminución significativa en el rendimiento. Además, el virus del mosaico de la cebolla (*Onion yellow dwarf virus*) es una de las principales causas de mortalidad en las plantas, tal como lo indican Arévalo y Hernández (2019), quienes reportan que este virus afecta tanto a la calidad del bulbo como a la resistencia de las plantas. Por otro lado, la gestión inadecuada de control fitosanitario, como señalan López et al. 2021, contribuye a la expansión de plagas resistentes y agrava el problema, exacerbando los costos de producción y aumentando la vulnerabilidad del sector agrícola. Estos desafíos requieren la implementación de estrategias integradas de manejo de plagas para minimizar las pérdidas y mejorar la productividad en las zonas cebolleras del país.

En el anterior contexto, a continuación, se describen algunos aspectos de interés de aquellas plagas y enfermedades con mayor incidencia:

Trips – (*Thrips tabaci*): Son una plaga silenciosa debido a su diminuto tamaño y el hábito en desarrollarse en las axilas de las hojas y se manifiesta mediante puntos necróticos y se convierte en zona de entrada para la presencia de hongos. Aparecen al inicio de la formación del bulbo hasta el engrosamiento (Drost & Wille, 2018).

Polilla de la cebolla – (*Acrolepia assectella*): Este insecto tiene unos 15 mm de anchura como una mariposa, su presencia se puede dar en diferentes etapas del cultivo, produce las orugas

que cortan el pseudotallo y las hojas se amarillean; se puede controlar manualmente si hay una baja infestación, en el periodo de inflorescencia se cae la flor (Burbano, J., 2022).

Nematodos - (*Dytolenchus dipsaci*): Viven dentro de la planta y se alimenta de las hojas, tallos y bulbos. Es muy dañina, muy resistente, destruye el tejido según se mueve en busca de alimento y puede llegar a destruir la totalidad de las raíces. Causa que las escamas de los bulbos se agrieten longitudinalmente en temporada seca, los bulbos se deshidratan y en húmeda, se descomponen. Sus continuas mordeduras producen hojas abolladas, plantas débiles, bulbos reventados y podridos, son responsables de hojas hinchadas y retorcidas, tallos engrosados y blancos, tiene una importancia muy alta si se presenta una infestación puede acabar con el 60 - 80% del cultivo (Burbano, J., 2022).

Hormigas cortadoras – (*Acromyrmex spp; Atta spp*): Su principal afectación radica en que ocasionan cortes, disminuyendo la población de plantas (Burbano, J., 2022).

Mancha púrpura - (*Alternaria porri*): Se manifiestan inicialmente en las hojas como manchas blanquecinas circulares, irregulares o alargadas de color marrón, aumentando de tamaño con zonas de color púrpura. En zonas de alta humedad relativa, la superficie de las lesiones queda cubierta por anillos concéntricos de coloración marrón o gris oscuro. Está presente a partir del estadio de semillero hasta la finalización del engrosamiento del bulbo (Enciso, Pedro, Santacruz, & González, 2019)

Antracnosis – (*Colletotrichum gloesporioides*): Se produce por un hongo saprofito (se alimenta de elementos en descomposición) facultativo, puede sobrevivir por mucho tiempo en el suelo, en los restos del cultivo, en las semillas, en los cultivos adyacentes y/o en malezas nativas hospederas. Los conidios son diseminados dentro del campo por el viento, agua de lluvia/riego, y a través de los implementos agrícolas. A larga distancia, la diseminación ocurre a través de los

bulbos y semillas infectadas o infestadas con los conidios del hongo, su temperatura optima de desarrollo es 23°C-30°C. (Enciso, Pedro, Santacruz, & González, 2019).

Botrytis – (*Botrytis cinerea*): Es muy común entre las hortalizas. Bajo condiciones de alta humedad y baja temperatura, produce una capa fructífera conformada por las estructuras del hongo (conidióforos y conidias), que forman un moho de color gris sobre los tejidos afectados. Las principales afectaciones están en las flores y pudrición en los frutos, cogollos y tallos, manchas foliares o tizones, pudriciones de bulbo y de raíz (ICA, 2012).

Pudrición basal – (*Fusarium oxysporum*): La infección puede ocurrir en cualquier fase del crecimiento del cultivo. El hongo se encuentra en el suelo, sobrevive por largos periodos en forma de estructuras de resistencia llamadas clamidosporas. La infección ocurre a través de las heridas naturales de las plantas. (Enciso, et al., 2019). La pudrición basal puede alcanzar un 40% de reducción de rendimientos (Salazar, et al 2020).

4.5.8. Variedades

Es importante tener en cuenta que las variedades se clasifican de acuerdo con su necesidad o requisito de fotoperiodo, a continuación, se relacionan algunas de las variedades de cebolla (*Allium cepa* L.) que se han cosechado dentro del municipio (Tabla 5).

Tabla 5. Variedades de cebolla de Bulbo

Variedades	Rango de Adaptación
Amarilla	
Yellow Granex	0 – 3.000 msnm
Granex 429	0 – 1.500 msnm
Blanca	
Rexor	1.700 – 2.500 msnm
Cristal White Wax	0 – 1.500 msnm
CHA (102- 105)	800 – 1.500 msnm
Roja	
Red Creole	0 – 1.700 msnm
Red Granex	1.800 – 2.800 msnm

Nota: Tomado de (Tomes; Gort & Veiga., 2017) y (Galindo, 2020), Variedades de cebolla de Bulbo.

4.5.9. Requerimientos Nutricionales

Los fertilizantes NPK es decir que contienen un alto contenido de nitrógeno, fósforo y potasio; que son los nutrientes más requeridos para el desarrollo y crecimiento adecuado del bulbo. Además, son los implementados por los agricultores del municipio ya que son asesorados por los ingenieros de las mismas marcas que van a las distribuidoras de insumos agrícolas existentes dentro del municipio. Los nutrientes absorbidos por la cebolla siguen el siguiente orden: K>N>Ca>S>P>Mg>Fe>Mn>Cu>Zn. Al ser, el nitrógeno uno de los elementos más demandado por la cebolla, y su deficiencia produce plantas amarillentas, reducidas, torcidas o enrolladas y a la madurez el cuello no se dobla ni se seca (INTAGRI, S.C.) (Pinzón, et al., 2019).

Los fertilizantes en el cultivo son necesarios para producir un bulbo de consistencia dura, tamaño y coloración adecuada, por tal motivo necesita de la presencia de nutrientes como el nitrógeno, potasio y fosforo. Desde hace años se ha venido implementando los fertilizantes minerales es decir los que están elaborados a base de químicos, de acuerdo con la información recolectada no se ha cuestionado su efectividad y rendimiento en el desarrollo de los cultivos, sin embargo, estos conllevan riesgos muy altos debido a que generan una elevada contaminación de suelos y de aguas subterráneas y por escorrentía (Martínez, 2018) y (SENA,1990).

En la tabla 6 se encuentran los requerimientos nutricionales en cuanto a macro y micronutrientes contenidos dentro de los abonos.

Tabla 6. Descripción de la composición de los abonos en cuanto a sustancias nutritivas para las plantas

Caracterizaciones utilizadas hasta ahora	Caracterizaciones actuales, que se imponen internacionalmente
N (Nitrógeno)	N (Nitrógeno)
P ₂ O ₅ (Pentóxido de fósforo)	P (Fósforo)
K ₂ O (óxido de potasio)	K (Potasio)
MgO (óxido de magnesio)	Mg (magnesio)
Ca (Calcio)	Ca (Calcio)
Caracterizaciones útiles para las enmiendas del suelo	
Materiales calizos: CaO o MgO	
Abonos orgánicos: Materia orgánica	

Nota: Tomado de (; INTAGRI, S.C.) y (AGRINET, 2019),

De acuerdo con la tabla anterior, los nutrientes necesarios fundamentales para la agricultura en general deben tener un alto contenido en Nitrógeno (N), Fosforo (P), Potasio (K) debido a que son macronutrientes requeridos por las plantas para un crecimiento óptimo (Martinez,2018). En su totalidad las plantas requieren de grandes cantidades de estos nutrientes en comparación con los micronutrientes como lo son en el caso del Zinc, Hierro, Boro, etc. (INTAGRI, S.C.).

En el cultivo de cebolla los macronutrientes y micronutrientes se requieren en el siguiente orden de mayor a menor : K>N>Ca>S>P>Mg>Fe>Mn>Cu>Zn (INTAGRI, S.C.), pero son los macronutrientes los más importantes nutrientes para obtener el desarrollo del bulbo (Pinzón, et al., 2019), por tal motivo se ha visto la necesidad de usar los biofertilizantes que son considerados como abonos verdes es decir sus componentes en la mayoría son de estiércoles, extracto de plantas y uso de microorganismos como bacterias, la función principal de estos microorganismos es que al ser inoculados pueden vivir asociados o en simbiosis con las plantas, aunque se debe tener en

cuenta que si se adicionan de una manera descontrolada e irresponsable puede ser una gran fuente de patógenos en los cultivos (Cabrera, Diaz, Peña, & Vera, 2012). Adicionalmente, existen factores que se deben tener en cuenta para que no se vea afectada la efectividad del biofertilizante como el cultivo, la temperatura, humedad, acidez, contenido de componentes del suelo como N, P, Ca, S, Mg, Mo, Fe y Co (Afanador, 2017).

De acuerdo con las características mencionadas anteriormente se logra evidenciar que los abonos orgánicos son fuente de macro y micronutrientes necesarios para el cultivo, por tal razón dentro de la investigación se va a implementar el uso de biofertilizantes como los que se mencionaran a continuación.

4.5.10. Gallinaza

La gallinaza es un abono orgánico que se obtiene de las aves ponedoras o de ceba, la composición en cuanto a nutrientes depende de la dieta y del sistema de alojamiento de las aves, existen dos maneras de obtención de la gallinaza la primera es haciendo una explotación de la materia directamente de piso que está compuesta por deyecciones y absorbentes como viruta, pasto seco, cascarillas, etc. La segunda es obtenida de jaula contiene deyecciones, plumas, residuo de alimento y huevos rotos, que caen al piso y se mezclan. Dando como resultado que tiene un alto contenido de humedad y altos niveles de nitrógeno, que se volatiliza rápidamente, creando malos y fuertes olores, generando susceptibilidad a las plagas y enfermedades y de esta forma perdiendo calidad como fertilizante, adicionalmente el alto contenido de sales . Para lo anterior se debe someter la gallinaza a secado y facilitar su manejo. Al ser deshidratada, se produce un proceso de fermentación aeróbica que genera nitrógeno orgánico, siendo mucho más estable y siendo la razón

fundamental por la que se tuvo en cuenta para el uso como biofertilizante en la cebolla (Estrada, 2005) y (Shaheen, 2007).

En la tabla 7 se presentan los componentes nutricionales de la gallinaza, donde se logra evidenciar que la cantidad de nitrógeno está en menor proporción y el mayor aporte es de fósforo, el cual es el que fortalece el crecimiento radicular en el bulbo

Tabla 7. Ficha Técnica Gallinaza Compostada

Parámetros	Aporte
Ph	7.6
Conductividad eléctrica (dS/m)	33.2
Humedad (%)	30%
Cenizas (%)	39.8
Perdidas por volatilización	38.5%
Carbono orgánico oxidable total COOx	20.5
Relación C/N	12.1
Nitrógeno Total	1.6 %
Fosforo TOTAL (P ₂ O ₅)	3.6 %
Potasio soluble en agua (K ₂ O)	2.8%
Calcio Total (CaO)	16.2%
Magnesio Total (MgO)	1.1%
Azufre total (S)	0.422%
Hierro total (Fe)	0.401%
Manganeso total (Mn)	421 mg/kg
Cobre total (Cu)	53.2 mg/kg
Zinc total (Zn)	366 mg/kg
Boro total (B)	35.6 mg/kg
Sodio Total (Na)	0.356%
Silicio (Soluble en HF) (SiO ₂)	6.31%
Residuos insolubles en Acido	13.7%

Nota: Tomado de (Abonos conagrícola, 2020), Ficha técnica gallinaza compostada

4.5.11. Humus

El humus de lombriz es el producto obtenido de la transformación de la materia orgánica que consume la lombriz, se obtiene de la transformación de residuos del compostaje, por medio de la Lombriz Roja de California. Mejora la porosidad y la retención de humedad, aumenta la colonia bacteriana y su sobredosis no genera problemas (Bettoni et al, 2016). Tiene las mejores cualidades constituyéndose en un abono de excelente calidad debido a sus propiedades y composición (Castaño, 2012) como se citó en (Mora,2015). La acción de las lombrices permite valorarlo como un abono completo mejorador de suelos especialmente del pH. Una de las principales características del humus es el alto contenido de microorganismos (bacterias y hongos benéficos). La composición nutricional que presenta la existencia de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, manganeso, hierro, cobre, cinc, carbono, etc., en cantidad suficiente para garantizar el perfecto desarrollo de las plantas, además de un alto contenido en materia orgánica, que enriquece el terreno (Toro y Farfán, 2008) como se citó en (Mora,2015). Está definido como un organismo vivo que actúa sobre las sustancias orgánicas del terreno donde se aplica y contiene una alta cantidad de fitohormona las cuales son agentes reguladores de crecimiento (Lara,2009)

En la tabla 8 se relacionan los componentes nutricionales del humus, donde se evidencia que es factible su uso pues contiene los 3 principales nutrientes requeridos por la planta, al presentar los aportes más altos por el Nitrógeno favorece aún más a la planta debido a que la planta demanda la mayor cantidad para sintetizar las proteínas desde la siembra hasta el inicio de la formación del bulbo (Lara, 2009).

Tabla 8. Composición del Humus líquido

Componente	Valores	Componente	Valores
Ph	7-7.5	Calcio (CaO)	1000 ppm
Materia orgánica	0.5 – 1.2 %	Magnesio (MgO)	1000 ppm
N-NO ⁻³	250 ppm	Zinc	3 - 10 ppm
N-NH ⁺⁴	4500 ppm	Cobre	3 - 10 ppm
Nitrógeno Total	1.8 – 2.3 %	Proteína	7.3 %
Fosforo asimilable	2400 ppm	Densidad	1,04 Kg/l
Potasio total	0.5 – 0.8 %	Ácidos Fúlvicos	2.8 -5.8 %

Nota: Tomado de (Lara, 2009), Composición del humus líquido.

4.3.12. Caldo de Rizósfera

Es un líquido que contiene microorganismos presentes en la Rizósfera (raíces) de plantas libres de enfermedades, mejorando las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, aumentando su fertilidad, esta se manifiesta en una mejor retención de agua lo que significa mayor aprovechamiento de las lluvias y ahorro de riego; estos caldos son ricos en microorganismos como el *Rhizobium* sp. es un género de bacterias gram-negativas del suelo que fijan nitrógeno atmosférico. Pertenece a un grupo de bacterias fijadoras de nitrógeno que se denominan colectivamente rizobio viven en simbiosis con determinadas plantas (como por ejemplo las leguminosas) en su raíz, después de un proceso de infección inducido por la propia planta mediante la secreción de lectina, a las que aportan el nitrógeno necesario para que la planta viva y está a cambio le da protección (Baca, Soto, & Pardo, 2000).

El objetivo principal con esta alternativa es realizar la extracción de las bacterias que se van a encontrar fijadas en los nódulos de las raíces de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) y suministrarlas a las plántulas de cebolla, así de esta manera poder evaluar el desarrollo de las plántulas en comparación con los demás biofertilizantes.

En algunos estudios se llevó a cabo la implementación de inoculación de microorganismos fijadores de nitrógeno como bacterias y hongos. Dentro del grupo de las bacterias estaban *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus macerans*, *Enterobacter agglomerans* y *Pseudomonas* sp. Dentro de los hongos está el ectomicorrízico *Suillus luteus* que se usó en interacción con el hongo, pero la fijación de nitrógeno fue muy baja (Orozco y Martínez, 2009). Según el estudio presentado por Mayz, (2004) se menciona los microorganismos fijadores de nitrógeno como bacterias, algas verde-azules (Cianobacterias) y actinomicetes, los cuales pueden vivir libremente o en asociación.

4.3.13. Generalidades del manejo del cultivo en el municipio de Machetá- Cundinamarca

Actualmente en la región se implementan varias marcas de fertilizantes minerales pero los más usados dentro del cultivo de la cebolla de bulbo son:

- Nutrimon: 13-26-6 y 10-20-20 complejos granulares NPK
- Yara: 15-15-15 complejo granular NPK
- Abocol: 10-30- 10 complejo granular NPK

A continuación, se relacionan las tablas 9, 10,11, 12 en las cuales se presentan los aportes nutricionales que le brindan al cultivo los fertilizantes mencionados anteriormente, cabe resaltar que en la etapa de germinación se implementa el 13-26-6

Tabla 9. Composición nutricional fertilizante 13-26-6

Aporte	Cantidad
Nitrógeno Total	13%
Nitrógeno Amoniacal	10.5%
Nitrógeno Nítrico	2.5%
Fósforo asimilable	26%
Potasio soluble en agua	6%

Nota: Tomado de (Monomeros S.A, 2022), Composición nutricional fertilizante 13-26-6.

El Fertilizante 13-26-6 es un Complejo Compuesto NPK está indicado especialmente para el cultivo de papa en suelos con deficiencia en nitrógeno y fosforo, pero con altos contenidos o medio de potasio (Monomeros S.A, 2022).

Tabla 10. Composición nutricional fertilizante 10-20-20

Aporte	Cantidad
Nitrógeno Total	10%
Nitrógeno Amoniacal	7.2%
Nitrógeno Nítrico	2.8%
Fósforo asimilable	20%
Potasio soluble en agua	20%

Nota: Tomado de (Monomeros S.A, 2022), Composición nutricional fertilizante 10-20-20.

El fertilizante 10-20-20 es un fertilizante completo con alto contenido Fósforo y Potasio, particularmente útil para las etapas de floración y llenado de frutos y tubérculos (Monomeros S.A, 2022).

Tabla 11. Composición nutricional fertilizante 15-15-15

Aporte	Cantidad
Nitrógeno Total	15 %
Nitrógeno Amoniacal	10.5 %
Nitrógeno Nítrico	6.11 %
Fósforo asimilable	15 %
Potasio soluble en agua	15 %

Nota: Tomado de (YARA, 2022), Composición nutricional fertilizante 15-15-15.

El fertilizante Yara 15-15-15 es un complejo granular con los tres elementos mayores contenidos en un solo gránulo. Recomiendan aplicarlo en condiciones de suelo o cultivos que requieran un alto aporte de nitrógeno, fósforo y potasio, como consecuencia de lo anterior es apto para muchos tipos de cultivos en diferentes etapas de desarrollo, incluyendo papa, maíz, café, arroz, frutales y hortalizas (YARA, 2022).

Tabla 12. Composición nutricional fertilizante 10-30-10

Aporte	Cantidad
Nitrógeno Total	10 %
Nitrógeno Amoniacal	8.2 %
Nitrógeno Nítrico	1.8%
Fósforo asimilable	30 %
Potasio soluble en agua	10 %

Nota: Tomado de (Monomeros S.A, 2022), Composición nutricional fertilizante 10-30-10.

El fertilizante 10-30-10 es un fertilizante foliar líquido con elementos mayores como el nitrógeno, fósforo y potasio, diez (10) elementos menores y un adherente especial. Tiene un grado de uso tradicional en muchos cultivos anuales y de ciclo corto, así como en las fases iniciales de crecimiento en las especies perennes (Monomeros S.A, 2022).

De acuerdo a la información adquirida de los productores del municipio el manejo del cultivo en estadio de semillero en el municipio de Machetá tiene una duración de 1.5 – 2 meses, antes de realizar la siembra se desinfecta el suelo y se corrige la acidez con cal dolomita, posteriormente se coloca la semilla y se cubre con tierra, aserrín o cascarilla de arroz; En el cultivo de forma tradicional se realiza la fertilización con un NPK conocido como 13-26-6, la primera fertilización entre los 7 y 10 días, la segunda es a los 20 días y la última en estadio de semillero se realiza a los 45 días. La cantidad de fertilizante varía entre 10-20 gramos por planta y la fumigación la realizan cada 7 días para prevenir la presencia de la araña roja, generalmente la realizan con Antracol o Manzate (fungicidas foliares contra hongos y plagas). El riego lo realizan aproximadamente cada 3 días hasta que cumpla 20 días de germinado de ahí en adelante se realiza dependiendo de las condiciones de humedad del suelo.

Las características que se tienen en cuenta para realizar un trasplante a suelo son las siguientes:

- Debe tener un mínimo de 10 raíces
- El grosor del bulbo debe estar entre 10 - 20 mm
- Tener un aproximado de 3-5 hojas
- Una longitud de 15 a 25 cm

5. METODOLOGIA

5.1. -Material Vegetal

Se empleó semillas de cebolla de bulbo importada, variedad Amarilla conocida como Cebolla Texas Yellow 502, pureza de 98%, germinación de 75% y un clima: medio-frio, proveniente de la Distribuidora SEMICOL S.A con un registro ICA IMP.2443/10.

Para obtener las colonias de la bacteria *Rizhobium* sp., se estableció un cultivo de frijol común de la variedad Diquís de *Phaseolus vulgaris* en condiciones de campo y un tiempo a su cosecha de 65 – 70 días aproximadamente (este se cosechó en estado vegetativo, dado a que se requirió solo que sus raíces estuvieran inoculadas con la bacteria objetivo).

5.2. Sustrato

El sustrato que se utilizó fue fibra de coco proveniente de la Distribuidora SEMICOL S.A con un registro ICA IMP.2443/10. La siembra se desarrolló de forma directa en bandejas de plantación de 50 alveolos (orificios) (Largo x Ancho x Profundidad: 55 x 29 x 9 cm) a razón de 1 semilla por alveolo. Es importante aclarar que debido a que la investigación está enfocada a brindar alternativas de biofertilización, este sustrato también tiene la posibilidad de ser implementado en la producción llevada a cabo en el municipio por ser desconocido.

5.3. Biofertilizantes

Los biofertilizantes usados fueron la gallinaza y el humus líquido, ambos adquiridos en SEMICOL S.A., por ser los que se emplean de forma comercial en este cultivo, adicionalmente se elaboró caldo de rizósfera. El caldo de rizósfera contenía la siguiente formulación:

De acuerdo con el procedimiento de Méndez & Viteri, (2007), la preparación del caldo rizósfera se llevó a cabo con la selección de plantas sanas de Frijol (*Phaseolus vulgaris*). Se les adicionaron 200 cm³ de agua y se licuaron. El licuado se filtró y recogió en una botella de 2 L y se le agregaron 2 cm³ de yogurt natural, 2 cm³ de melaza, 3 g de harina y una gota de oxígeno líquido C-250. Después de agitar bien, al contenido se le agregó agua hasta un volumen de 1,5 L. La botella se tapó con algodón y se dejó en un lugar fresco durante una semana, agitando el contenido por lo menos una vez por día. Al término de la primera semana, el contenido se llevó a una caneca de 55 galones y se agregaron 4 cm³ de yogurt, 8 g de harina, 1,5 L de agua limpia y 2 gotas de oxígeno líquido. La caneca se tapó con un lienzo y se dejó en un lugar bajo sombra durante otra semana. A partir de la tercera semana, el caldo microbiano se alimentó semanalmente, hasta obtener un producto de color amarillo lechoso con una especie de lana felpuda (Indicadora del crecimiento de los microorganismos) en la superficie de color habano y de aproximadamente 2 cm de espesor.

El calendario seguido para la alimentación semanal del caldo rizósfera se presenta en la tabla 9. Ocho días después el caldo rizósfera estuvo listo para ser utilizado.

Tabla 13. Calendario seguido en la alimentación de los microorganismos del caldo rizósfera.

Ingrediente	Semanas					
	3	4	5	6	7	8
Yogurt natural (cm ³)	8	16	25	50	100	200
Harina de soya (g)	16	30	60	125	250	500
Melaza (cm ³)	8	15	25	50	100	200
Oxígeno líquido C-250 (gotas)	3	6	15	25	50	100
Agua (L)	3	6,5	12,5	25	50	100

Nota: Tomado de (Méndez & Viteri, 2007), Calendario seguido en la alimentación de los microorganismos del caldo rizósfera.

Teniendo en cuenta la información anterior la propuesta de fertilización que se empleó se relaciona a continuación en la tabla 14.

Tabla 14. Propuesta de fertilización empleada

TRATAMIENTOS	CALDO DE RIZOSFERA	HUMUS	GALLINAZA	N-P-K
Norma	30%	10%	8 t ha ⁻¹	50 kg ha ⁻¹
Dosis real	30/100 (v.v.)	10/100 (v.v.)	119,2 g/bandeja	0,745 g/bandeja

Es de aclarar que los biofertilizantes sólidos fueron diluidos en 3 litros de agua, con el fin de aplicarlos todos en líquido.

5.4. Evaluación de parámetros de germinación y crecimiento de semillas de cebolla (*Allium cepa* L.)

5.4.1. Determinación del porcentaje de germinación

Según Suárez-Rivero et al., (2018) plantea la siguiente ecuación para calcular el porcentaje de germinación de semillas

Se determinó dado por la relación que existe entre número de semillas sembradas y las germinadas a los 30 y 60 días. Para determinar este porcentaje se utilizó la siguiente fórmula:

(Ecuación 1)

$$\text{Porcentaje de germinación} = (\# \text{ semillas germinadas}) / (\# \text{ semillas sembradas}) * 100$$

Se realizaron 3 réplicas para cada uno de los tratamientos

5.4.2. Número de hojas por plántula

De acuerdo con la metodología empleada por Suárez, et al. (2018), se realizó por conteo del número de hojas totalmente extendidas, es decir las hojas verdes.

5.4.3. Área Foliar (cm²)

Se determino a los 30 y 60 días posteriores al inicio de la germinación, marcando la silueta de todas las hojas de tres plantas por tratamiento (cada una por independiente) en papel bond de una misma resma, estas se recortaron y se determinó el peso de cada unidad en balanza analítica. Adicionalmente se pesan un (1) cm² de papel utilizado y por regla de tres se determinó el área foliar de cada planta por tratamiento (Suárez, et al. 2018).

5.4.4. Masa fresca de la planta (g)

Se calculó por medio de una balanza analítica el peso fresco de tres plantas por cada uno de los tratamientos. Debido a que la etapa de germinación tarda 2 meses dependiendo de la variedad, esta medida se realizó a los treinta días posteriores al inicio de la germinación y sesenta días después de la siembra (Suárez, et al. 2018).

5.4.5. Masa seca de la planta (g)

Se midió una vez al tener las plántulas listas para trasplante por deshidratación de tres plantas por cada uno de los tratamientos a 60 °C durante 24 horas y posteriormente se pesaron en la balanza analítica Sartorius® (Suárez-Rivero et al. 2018).

de la última hoja completamente desarrollada o extendida con una regla milimetrada (Suárez-Rivero et al. 2018).

5.4.6. Longitud de raíz

Se determinó una vez al momento de tener las plántulas listas para trasplante; en el semillero se tomaron 10 plántulas de la bandeja, se tomaron las raíces más largas de cada plántula y se midieron con una regla.

5.4.7. Altura de la plántula

Se determinó una vez por semana usando un pie de rey, midiendo desde la superficie alta (cabeza del bulbo) hasta la terminación de la hoja más larga (Suárez-Rivero et al. 2018).

5.5. Determinación de indicadores de desarrollo fisiológicos de la cebolla (*Allium cepa L.*)

La determinación de indicadores de desarrollo fisiológico en el estadio de semillero de la cebolla (*Allium cepa L.*) es fundamental para evaluar la respuesta a la aplicación de biofertilizantes, los cuales han mostrado un potencial significativo para mejorar el crecimiento y la salud de las plantas. Según Díaz et al. (2022), los indicadores como la tasa de crecimiento relativo (TCR), la eficiencia fotosintética y la absorción de nutrientes son claves para monitorizar la respuesta a estos tratamientos, permitiendo identificar las mejoras en la nutrición y el vigor de las plántulas. Es por lo que en la tabla 9, se evidencian los indicadores de desarrollo que fueron estudiados para este caso particular.

A continuación, se relaciona la tabla 15 que contiene las formulas con las cuales se realizaron las mediciones de estos indicadores.

Tabla 15. Índices fisiológicos de desarrollo de la cebolla

Índice de crecimiento	Símbolo	Valor instantáneo	Valor promedio en un intervalo de tiempo (T ₂ -T ₁)	Unidades
Tasa de crecimiento relativo	TCR	$1/(w) \frac{dw}{dt}$	$TCR = \frac{((LnW2 - LnW1))}{((T2 - T1))}$	g/ (g día)
Tasa de asimilación neta	TAN	$1/AF \frac{dw}{dt}$	$TAN = \frac{\left(\frac{W2-W1}{T2-T1}\right)}{\left(\frac{LnAF2 - LnAF1}{AF2 - AF1}\right)}$	g/ (cm ² día)
Índice de área foliar	IAF	AF/AS	$IAF = \frac{(AF2 + AF1)}{2} \left(\frac{1}{As}\right)$	Dimensional según las unidades
Tasa de crecimiento del cultivo	TCC	$1/As \frac{dw}{dt}$	$TCC = \frac{1}{As} \cdot \frac{(W2 - W1)}{(T2 - T1)}$	g/(cm ² día)
Tasa absoluta de crecimiento	TAC	$\frac{dw}{dt}$	$TAC = \frac{(W2 - W1)}{(T2 - T1)}$	g/día
Duración de área foliar	DAF	-	$DAF = \frac{(AF2 + AF1) \cdot (T2 - T1)}{2}$	cm ² /día
Área foliar específica	AFE	AF/MF	$AFE = \frac{\left(\frac{AF2}{W2}\right) + \left(\frac{AF1}{W1}\right)}{2}$	cm ² /g

(dw/dt) = derivada de la función, AF=área foliar, AS= área del suelo, MF= masa seca foliar, = tiempo, W= masa seca)

Nota: Tomado de (Suárez-Rivero *et al*, 2016) y (Suárez-Rivero *et al.*, 2010).

5.6. Contenido de pigmentos fotosintéticos (Clorofilas y carotenoides) en plántulas de cebolla.

La determinación de los pigmentos de clorofila (A, B y totales) se realizó por espectrometría. Para la realización de las lecturas se realizó una extracción por maceración de la parte foliar de la planta (aproximadamente 2 gr en 10 ml de acetona al 80%). Tras la extracción de las soluciones se leyó la absorbancia a 470, 647 y 663 nm (utilizando un espectrofotómetro UV). Posteriormente, el contenido de pigmento (mg / L) se calculó con las ecuaciones 2 a 4.

$$\text{Clorofila a} = (12,25 * A_{663\text{nm}}) - (2,79 * A_{647\text{nm}}) \quad (2)$$

$$\text{Clorofila b} = (21,5 * A_{647\text{nm}}) - (5,1 * A_{663\text{nm}}) \quad (3)$$

$$\text{Clorofila total} = (7,15 * A_{663\text{nm}}) - (18,7 * A_{647\text{nm}}) \quad (4)$$

Las ecuaciones mencionadas anteriormente tienen en cuenta los coeficientes de absorción molar de estos pigmentos cuando los tres están presentes en la misma solución de acetona al 80%. Es de aclarar que los procedimientos se realizaron de acuerdo con lo planteado por la AOAC, 1990 como se citó en Suarez, et al. (2017).

5.7. Evaluación de calidad del producto

Esta variable dependió en gran medida de las variables anteriores y estuvo dada por el número de plántulas aptas para el trasplante. Para ello se contabilizó el número de plántulas de la bandeja que presentaron condiciones óptimas para el trasplante de un total de plantas por bandeja (número total de alveolos), para determinar la calidad se realizó una comparación con las características mencionadas por los productores.

5.7.1. Diseño Experimental (tipo de estudio, factores, variables y tratamientos)

Se empleó un diseño experimental de bloques al azar (DBCA). La base del diseño experimental radica en el montaje de 5 bandejas de germinación con 30 semillas por tratamiento, 5 tratamientos y su efecto posterior en 30 plantas por cada tratamiento y 150 plantas en total.

5.7.2. Variables.

Dentro del diseño experimental se analizaron las siguientes variables:

- **Variable independiente**

- Biofertilizante
- Sustrato

- **Variables dependientes**

- ✓ % de germinación
- ✓ Variables relacionadas al Crecimiento y Desarrollo
- ✓ Calidad al trasplante

- **Biofertilizantes:**

Biofertilizante 1: Humus líquido

Biofertilizante 2: Gallinaza

Biofertilizante 3: Caldo de Rizósfera

- **Sustrato:**

Sustrato 1: fibra de coco

- **Control:**

Fertilizante Tradicional: 13-26-6, es un fertilizante Complejo Compuesto NPK, es usado en una gran variedad de cultivos en etapa de siembra y pre-siembra.

De acuerdo con el manejo del cultivo presentado dentro del municipio y la información recolectada se utilizó un promedio de 10 - 20 gramos por planta.

- **Control Negativo**

En este caso se manejó con agua.

Teniendo en cuenta la información mencionada anteriormente en la tabla 12 se presenta el diseño experimental llevado a cabo en esta investigación

Tabla 16. Diseño experimental

Factores	Biofertilizante	Biofertilizante	Biofertilizante	Control	Control Negativo
	1	2	3	4	5
	Humus Líquido	Gallinaza	Caldo de Rizósfera	de 13-26-6	Agua
Sustrato	T1	T2	T3	T4	T5

5.7.3. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) simple entre las medias de las muestras por tratamiento con un nivel de significancia del 95% ($\alpha=0,05$) para establecer si existen diferencias significativas para las variables en evaluación. En caso de no presentarse diferencias significativas entre las muestras se realizó una prueba de rangos múltiples empleando el paquete estadístico SSPSS y la prueba realizada fue la de Tukey.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Parámetros de germinación y crecimiento de semillas de cebolla (*Allium cepa L.*) en el estadio de semillero bajo condiciones de invernadero

6.1.1. Porcentaje de germinación

El porcentaje de germinación en todos los tratamientos representa una interacción compleja de las propiedades de cada biofertilizante y las condiciones fisiológicas de las semillas en la etapa de plántula. Algunos aspectos de la información recopilada son más complejos y razonables, lo que resalta el valor práctico y científico de los datos obtenidos.

De acuerdo con la figura 4, el tratamiento de control logró alcanzar un 100 por ciento de éxito en germinación, lo cual resulta inesperado dada la falta de biofertilizantes y fertilizantes químicos. Este resultado indica que las semillas trabajadas tenían un alto grado de viabilidad, inconveniente que puede deberse a su alta pureza genética y condiciones fitosanitarias óptimas. Sin embargo, ese nivel de germinación sin ninguna intervención externa no significa necesariamente que cualquier desarrollo posterior sea óptimo, debido a que por falta de nutrientes pueden empezar a secarse las plántulas.

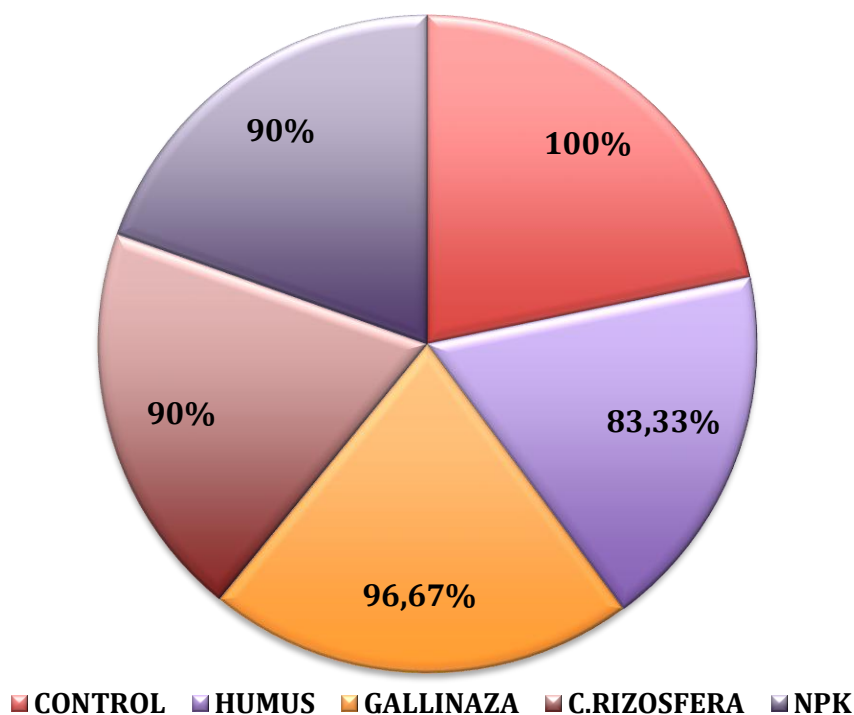


Figura 4. Porcentaje de germinación de cebolla bajo los diferentes los tratamientos

El uso de humus como tratamiento arrojó un resultado de germinación del 83.33%, el cual es inferior al resultado del control. Este resultado podría estar relacionado con la composición y especificidad del humus líquido que, a pesar de ofrecer una gran cantidad de nutrientes y microorganismos, pudo tener un efecto negativo en el inicio de germinación por la alta conductividad eléctrica (Lara,2009). Este resultado plantea algunas consideraciones sobre la necesidad de modificar la dosificación de humus debido a que uno de los principales nutrientes para la germinación y sostenimiento de la raíz es el fosforo y de acuerdo con la ficha técnica hay mayor proporción de nitrógeno y su aplicación en etapas críticas como la germinación, debido a que teniendo en cuenta el contenido de nitrógeno proporcionado por el humus.

Por otro lado, el tratamiento de gallinaza tuvo tasas de germinación notables del 96,67%. Este rango particular subrayó la capacidad del biofertilizante para crear las condiciones adecuadas

durante el proceso de germinación, especialmente debido a su alto contenido de nitrógeno y fósforo, que son cruciales para las actividades metabólicas de la semilla. El uso prolongado de gallinaza, especialmente sin control, presenta algunos problemas como la acumulación de sales o el crecimiento de patógenos, lo que indica la importancia de una correcta gestión de la dosificación.

El Caldo de Rizosfera y el NPK lograron un porcentaje de germinación del 90%. Este valor indica que ambos métodos son capaces de promover la germinación, aunque lo hagan por diferentes vías. En el caso del caldo de rizosfera, las condiciones del sustrato debieron ser, de alguna forma, mejoradas por microorganismos simbióticos, mientras que el NPK los nutría de forma inmediata y disponible. Sin embargo, aunque no hubo un sobrepaso al control en términos de germinación requiere cuestionar la relación entre las semillas y estas condiciones, así como de los factores ambientales y su injerencia en la germinación.

El análisis comparativo muestra que los biofertilizantes y los fertilizantes químicos no garantizan un aumento sustancial en el porcentaje de germinación, incluso cuando las semillas poseen alta viabilidad y crecen bajo condiciones controladas. Por otro lado, su efecto podría ser más significativo en situaciones donde las condiciones del sustrato son muy restrictivas o donde la calidad de la semilla es de bajo valor intrínseco. Además, esta investigación enfatiza la necesidad de preocuparse por las consecuencias a largo plazo, además de las inmediatas, de cada tratamiento sobre el crecimiento y desarrollo de las plántulas.

Para concluir, el porcentaje de germinación por tratamiento demuestra la eficacia respecto a los insumos suministrados, destacando la gallinaza como la más cercana al control en términos de germinación, seguida por el caldo de rizosfera y el NPK. El humus, aunque mostró una ligera disminución en comparación con los demás, ofrece ventajas adicionales en etapas posteriores del desarrollo. Sin embargo, este análisis demuestra que los resultados obtenidos son altos frente al

porcentaje de germinación suministrada está dentro de los valores proporcionados en la ficha técnica del material vegetal usado, también subrayan la necesidad de una planificación estratégica en la aplicación de biofertilizantes para maximizar su efectividad en la etapa reproductiva y de maduración.

6.1.2. Evaluación de la longitud de la raíz, diámetro del falso tallo y número de hojas

De acuerdo con la morfología presentada en la figura 2 se evidencia que los componentes externos de la cebolla son la raíz, el falso tallo y las hojas.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente en la gráfica 5 se relaciona la longitud de raíz la cual depende de los nutrientes disponibles en el suelo de acuerdo con lo evidenciado los biofertilizantes presentaron los valores más altos lo cual confirma lo presentado en la tabla 6 que hace mención de que el fósforo y el nitrógeno contribuyen a la formación de raíces. También Bonillo, et al., (2014) demostró que los biofertilizantes aplicados (té de lombricompost y té de compost) al cultivo de cebolla arrojo los mejores resultados en cuanto a la longitud de la raíz

De acuerdo con la investigación llevada a cabo por (Sánchez, A. et al. 2018) donde usaron biofertilizantes a partir de excretos de vaca con ceniza, frutal y minerales demostró que la dinámica de crecimiento presentada a los 30 días de sembradas las semillas son similares a los resultados obtenidos en esta investigación con los biofertilizantes.

Para concluir, los resultados obtenidos en estas investigaciones confirman que los biofertilizantes favorecen la longitud de la raíz en las plántulas de cebolla

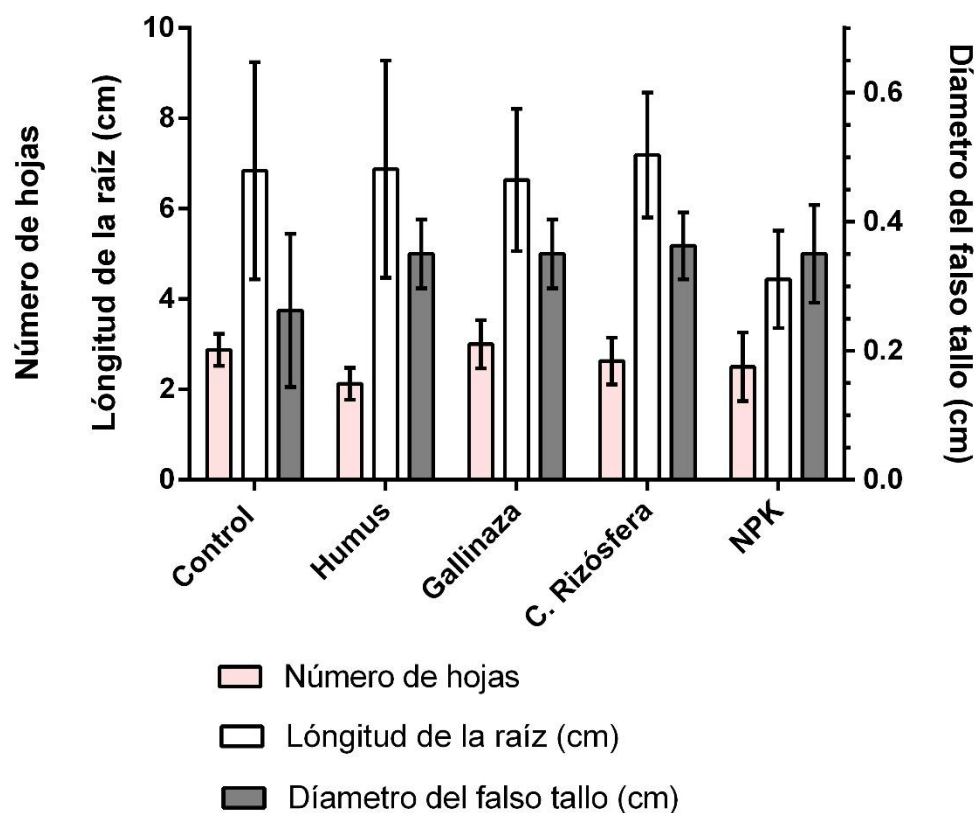


Figura 5. Índices de desarrollo por tratamiento

Los estudios realizados en cuanto al uso de biofertilizantes también han demostrado impactos positivos en el rendimiento económico del cultivo. (Vachan & Tripathi, 2017), hallaron que el uso combinado de *Azospirillum* y fósforo solubilizador con fertilización química incrementó significativamente el peso del bulbo, diámetro del bulbo y la rentabilidad del cultivo en comparación con la aplicación exclusiva de fertilizantes químicos. En este estudio la reducción de costos asociada al uso de biofertilizantes se planteó como una de las ventajas clave para los agricultores, alineándose con estos hallazgos sin embargo el diámetro del falso tallo varía según el tamaño, forma y peso del bulbo.

Además, la aplicación de microorganismos eficientes y extractos orgánicos como biofertilizantes ha mostrado beneficios similares en términos de calidad del bulbo y reducción de la dependencia de fertilizantes químicos. (Abdul Hussein & Hassan, 2023), demostraron que la aplicación de *Bacillus megaterium* incrementó la disponibilidad de fósforo en el suelo y mejoró el crecimiento del cultivo de cebolla. De acuerdo con los resultados obtenidos se evidenció que el caldo de rizosfera mostró un desempeño similar, al potenciar la actividad microbiana del suelo y mejorar la absorción de nutrientes esenciales en el diámetro del falso tallo pues este, está dentro de lo estipulado esto puede ser debido a que el fotoperíodo que tuvieron las plantas fue óptimo, de lo contrario no hubiera formado bulbo (SENA, 1990).

Se finalizó con los resultados obtenidos del número de hojas de la plántula, en este caso el conteo se realizó de forma manual. Las hojas tienen relación directa con la dosis de aplicación de los biofertilizantes (humus, gallinaza, Caldo de rizosfera), a mayor dosis se espera que el número de hojas sea mayor. Sin embargo, la cantidad de hojas varía debido a la cantidad de nutrientes y humedad presentes en el suelo y en la raíz pues es aquí donde se generan los desórdenes fisiológicos debido a que la cebolla está centrada en la producción de hojas (Vargas & Casierra, 2015).

De acuerdo con la gráfica 5 se evidencia que el promedio más alto de hojas lo presenta la gallinaza con 3,00 hojas seguido del control con 2,88 hojas, mientras el caldo de rizosfera y el NPK tuvieron un mismo resultado con 2,57 hojas. Teniendo en cuenta los resultados se evidencia que estos se asemejan con algunas investigaciones donde trabajaron abonos orgánicos como los datos presentados por Cáceres & Suquilanda, 2017, quienes reportaron que a los 30 días las plántulas tenían 3,46 hojas con un tratamiento de bovinaza. También por la investigación llevada a cabo por Álvarez, et al. 2022, quienes reportaron que el Bocashi dio como resultado 3,38 hojas

a los 30 días. Es importante mencionar que la planta sobrevive por la presencia de nutrientes, especialmente de N que apoya el crecimiento de la raíz y de hojas y estas a su vez favorecen la formación del bulbo. Adicionalmente en Arboleya, J., (2024) presenta una tabla donde se hace mención que entre los 50 y 70 días la planta debe tener un aproximado de 3 a 4 hojas.

El crecimiento de una planta se ve limitado por el fotoperiodo, temperatura, humedad, disponibilidad de nutrientes y en este caso se demuestra que el caldo de rizosfera aporta la cantidad de nitrógeno necesario por la planta, teniendo en cuenta la figura se evidencia que los biofertilizantes caldo de rizosfera y gallinaza establecen la relación y confirman que la cebolla no se enfoca en altura sino en el número de hojas. La eficiencia fotosintética y que por tal razón se mantiene el porcentaje de germinación inicial (Vargas & Casierra, 2015).

6.1.3. Evaluación de la altura de la plántula de cebolla

En la figura 6 se evidencia la altura de las plántulas por tratamiento presentada en M1 y M2, en los cuales se evidencia que estos no son significativos en cada momento. Sin embargo, el mayor crecimiento es el caldo de rizosfera con 24,60 cm seguido por la gallinaza con 22,13 cm los cuales obtuvieron un aumento de crecimiento en el M2 de 9,22 cm y 8,0 cm respectivamente.

La dinámica de crecimiento relaciona el diámetro del falso tallo y la altura de la planta, Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente se evidenció que el caldo de rizosfera y la gallinaza arrojaron 24,60 cm y 22,13 cm respectivamente, se evidencia una diferencia significativa frente al control que arrojó 16,63 cm a los 60 días. En la investigación llevada a cabo por Álvarez, et al. 2022 se evidenció que los valores obtenidos para el humus fueron aproximadamente de 17,30 cm a los 30 días. De acuerdo con lo mencionado anteriormente se evidencia una diferencia significativa en tiempo y en crecimiento se puede asumir que es debido a la variedad de cebolla que, para el caso de Álvarez, et al. 2022 fue roja Arequipeña.

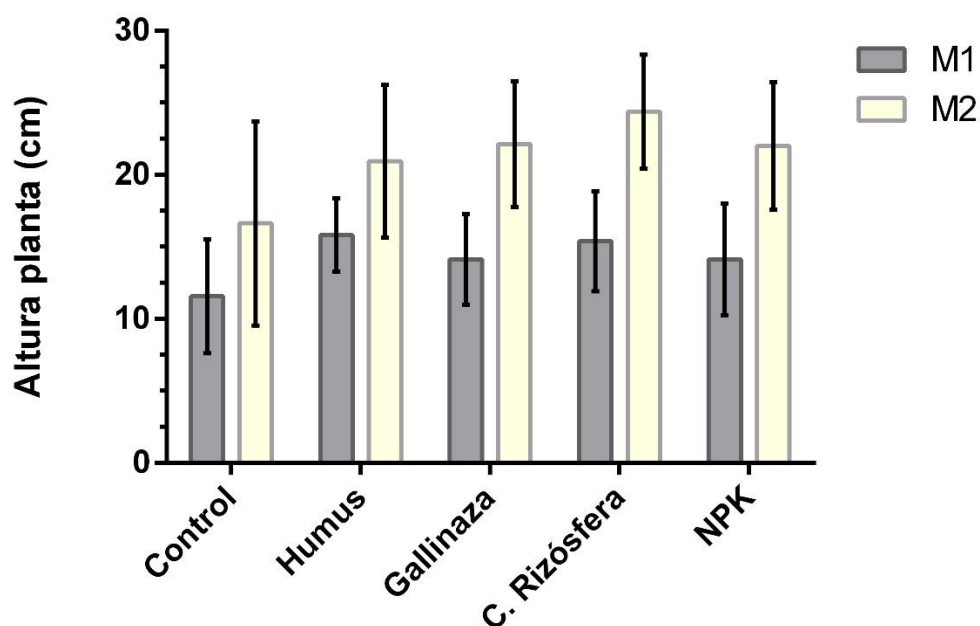


Figura 6. Altura de la plántula por tratamiento

6.1.4. Área Foliar

En la figura 7 el caldo de rizósfera nuevamente se destaca con un área foliar promedio de $30,49 \text{ cm}^2$ en M2, seguido por humus ($28,27 \text{ cm}^2$) y gallinaza ($25,28 \text{ cm}^2$). El control y el tratamiento NPK presentan valores menores, con promedios de $15,12 \text{ cm}^2$ y $24,14 \text{ cm}^2$ respectivamente. Estos datos subrayan el impacto positivo de los biofertilizantes sobre la expansión foliar, lo cual es fundamental para la fotosíntesis y el crecimiento vegetal. Este efecto se debe, en parte, a la acción de compuestos bioactivos presentes en los biofertilizantes, como los ácidos húmicos en el humus y las fitohormonas naturales en el caldo de rizósfera, que estimulan la división celular y el alargamiento de las hojas (Bettoni et al, 2016). De acuerdo con estudios de Armenta, et al., 2010, la mayor área foliar está directamente relacionada con una mayor eficiencia fotosintética, lo que se traduce en un incremento general de la productividad del cultivo.

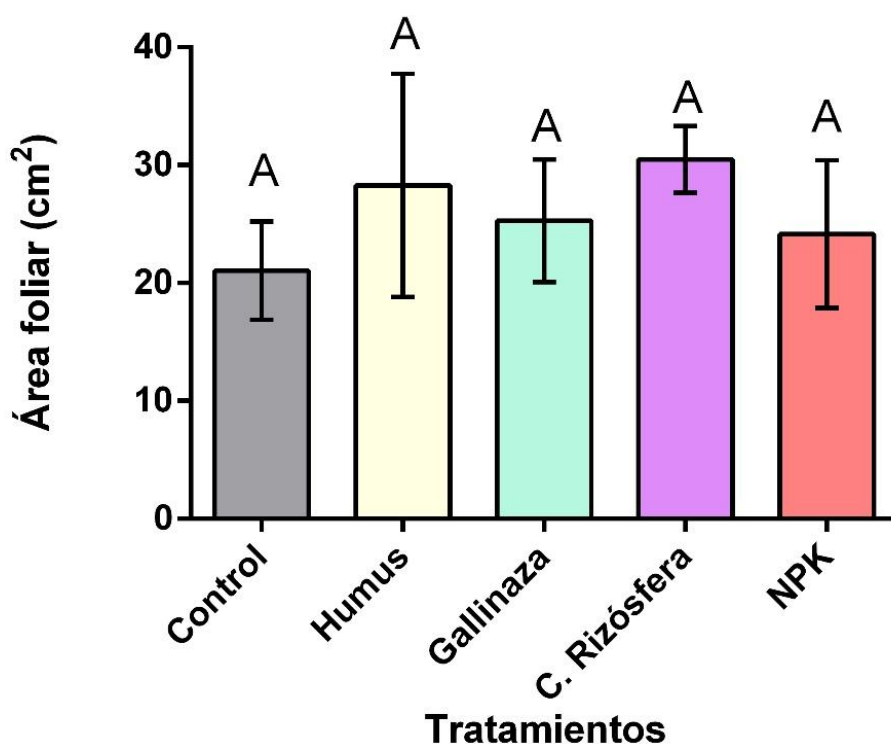


Figura 7. Productividad foliar obtenida entre tratamientos

El análisis del área foliar indica la existencia de diferencias entre los tratamientos. En el control, el área foliar promedio fue moderada (16.24 cm² en M1 y 22,66 cm² en M2), pero claramente inferior a los valores registrados en los tratamientos de rizósfera (19.80 cm² en M1 y 30.49 cm² en M2). La gallinaza y el humus también indicaron un área foliar relativamente alta, sugiriendo una mejora en la capacidad fotosintética de las plantas tratadas. El caldo de rizósfera, en particular, tuvo el tratamiento con el área foliar promedio más alta, lo que implica un desarrollo foliar acelerado y una mayor interceptación de luz para la fotosíntesis, este resultado confirma que el caldo de rizósfera en la simbiosis que realiza con la planta favorece el crecimiento de la raíz y por ende las hojas de la cebolla las cuales dependen de la cantidad de nutrientes presentes en la

raíz (Baca, Soto, & Pardo, 2000). Esto es crucial para el rendimiento de los cultivos, ya que una mayor área foliar se asocia con una mayor eficiencia en la utilización de recursos.

6.1.5. Peso fresco y peso seco

La figura 8 muestra el promedio de peso fresco donde se evidencia que el tratamiento con humus logra los valores más altos en la masa fresca promedio (1,107 g en M2 y 0,1 g en M1), superando ampliamente al control, que presenta 0,612 g en M2. Este incremento sugiere que el humus proporciona una disponibilidad de nutrientes que favorece el desarrollo del tejido fresco de las plántulas, puede ser debido a que el humus según la tabla 7 contiene los tres principales nutrientes especialmente de nitrógeno y así puede sintetizar las proteínas para poder llevar a cabo la fase de bulbificación (Lara,2009). El tratamiento con rizósfera también se destaca con 0,947 g en M2, indicando que los microorganismos presentes en este biofertilizante contribuyen significativamente al crecimiento vegetal (Agudelo & Casierra, 2004). Estos resultados respaldan la hipótesis de que los biofertilizantes mejoran el desarrollo, rendimiento por la absorción de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio en comparación con el fertilizante químico NPK, que muestra un desempeño inferior (0,658 g en M2) (Hernández,2014).

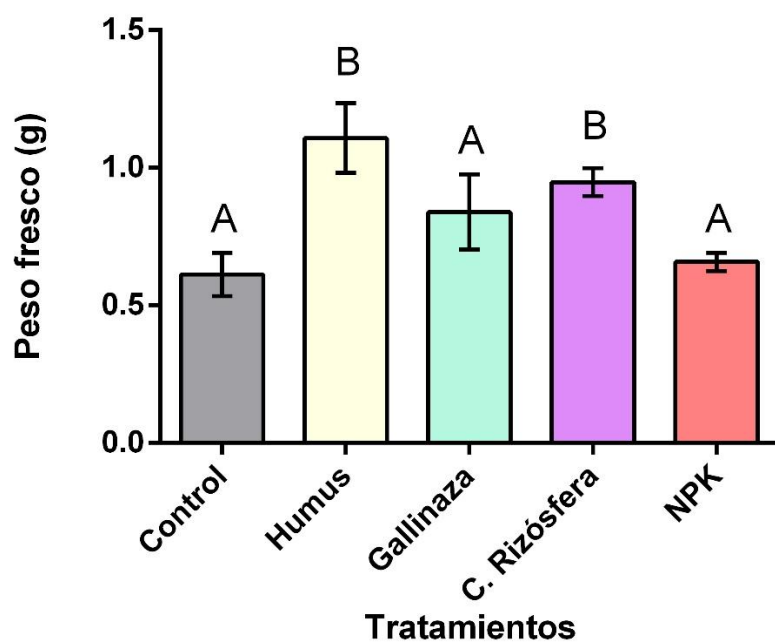


Figura 8. Efectos de los biofertilizantes sobre la masa fresca de plántulas de cebolla

El peso seco obtenido provino de realizar el secado en una estufa en el cual se eliminó todo el contenido de agua, como se evidencia en la figura 9.

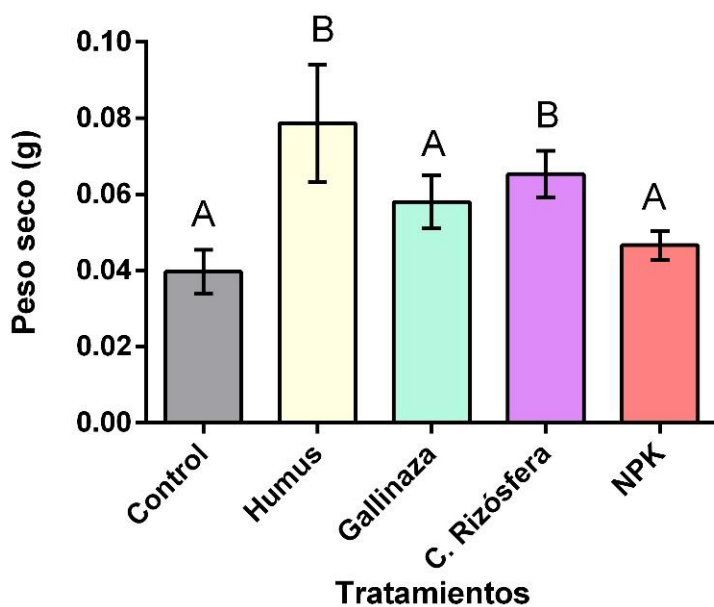


Figura 9. Variación de la masa seca entre tratamientos

La figura 9 que el caldo de rizósfera muestra el mayor promedio de peso seco (0,0988 g en M2), seguido por humus (0,0807 g en M2) y gallinaza (0,0581 g en M2). Estos resultados son consistentes con el hecho de que los biofertilizantes, al mejorar la estructura del suelo y promover la actividad microbiana, facilitan la acumulación de materia seca en las plantas. Esto también podría atribuirse a la mayor retención de agua y disponibilidad de micronutrientes esenciales como el zinc y el hierro, que están involucrados en la síntesis de clorofila y proteínas estructurales. Comparando estos resultados con estudios previos, se observa un comportamiento similar al descrito por Pazos & Geovany, (2009) quienes destacan el efecto positivo de los biofertilizantes sobre la acumulación de biomasa seca en diversos cultivos.

De acuerdo con la investigación llevada a cabo por Méndez & Viteri, (2007) demostró que los biofertilizantes que contenían caldo de rizosfera tuvieron los resultados más altos, revisando los resultados obtenidos se evidencia que el caldo de rizosfera implementado arrojó los mejores resultados en cuanto a los parámetros de área foliar, masa fresca y seca, tasa de crecimiento del cultivo, tasa absoluta de crecimiento y densidad de área foliar; con esto se concluye que el caldo de rizosfera aporta los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plántulas y del producto final.

En cuanto a la evaluación de la masa fresca MF y la masa seca MS en plántulas de cebolla *Allium cepa* L. en diferentes biofertilizantes demuestra un desarrollo completamente diferente en relación con los tratamientos de biofertilización que se han analizado. Esta información sirve para un propósito importante al intentar determinar el efecto que los fertilizantes orgánicos y químicos tienen sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas en las primeras etapas, particularmente en el entorno controlado de un invernadero.

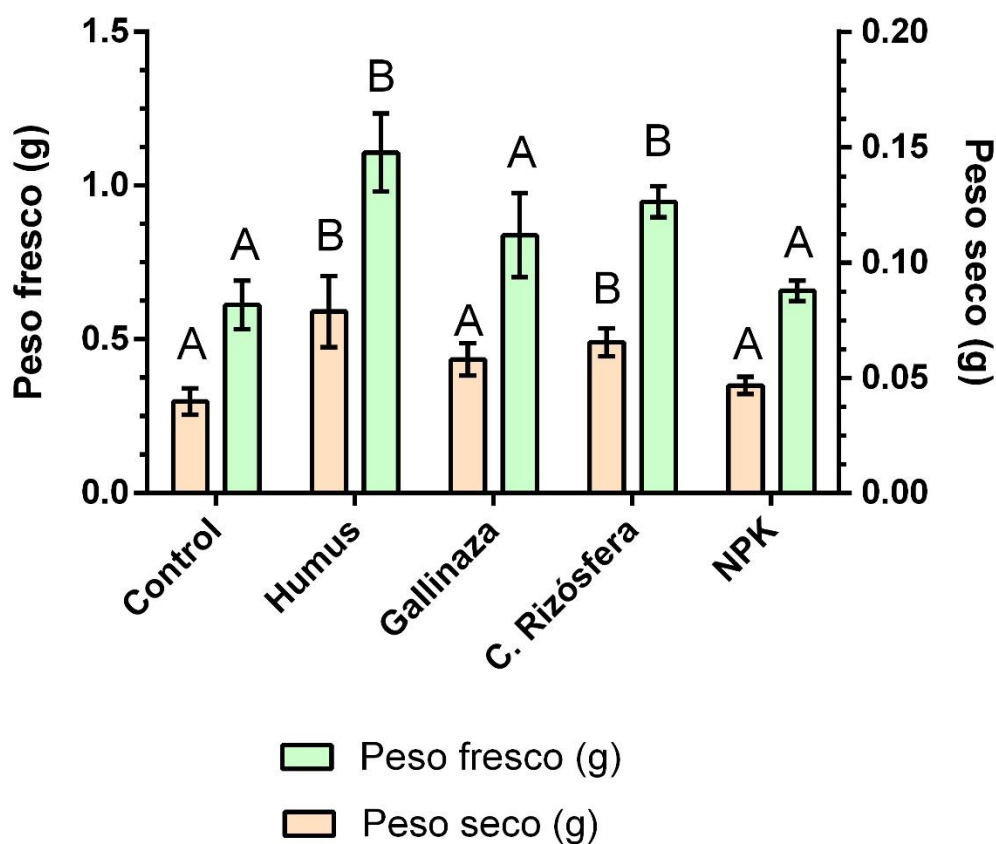


Figura 10. Relación entre variables de masa fresca y seca en plántulas de cebolla de bulbo con diferentes alternativas de biofertilización

Según la figura 10, en el tratamiento Control, la masa fresca promedio se registró en tres semanas en cero gramos y un bajo promedio de masa seca de 0,0016 gramos. La circulación sugiere que, al no aplicar biofertilizantes ni fertilizantes químicos, la planta presenta una grave subnutrición, sugiriendo que el sustrato base nunca se infecta en un nivel activo. El informe también anticipa el área foliar que este tratamiento tuvo junto con los bajos niveles de acumulación de biomasa.

El método de tratamiento que se aplicó con el uso de gallinaza se distinguió por su eficiencia a nivel de la masa seca promedio, alcanzando 0,045 g y conservando la masa fresca a

0,1 g. Estos hallazgos ponen de manifiesto la riqueza en nitrógeno y fósforo que están presentes en la gallinaza y el desarrollo de la planta, ya que estos nutrientes son fundamentales para la división celular y el crecimiento en la tabla 7. Ahora bien, sin que esto reste énfasis, el uso de la gallinaza, al igual que otros insumos de esta naturaleza, requiere de un control fitosanitario para prevenir plagas específicas (Estrada,2005).

Por su parte, el uso de humus ha demostrado resultados superiores en la masa seca promedio alcanzado, teniendo 0,032 g y la masa fresca de 0,1 g. Este incremento tan significativo en la masa seca se puede explicar con la elevada biodiversidad y disponibilidad de macronutrientes y microorganismos que están en el humus, lo cual promueve un mejor desarrollo estructural y fisiológico (Mora, 2015) y (Lara,2009). El contenido de materia orgánica junto al equilibrio de nutrientes parece haber optimizado el desarrollo radicular y la acumulación de reservas en las plantas.

El caldo de rizósfera mostró una respuesta intermedia, aproximadamente 0,027 gramos de masa seca. Esto indica que, a pesar de los beneficios, los microorganismos del suelo asimilativos afectan la acumulación del peso seco de la meso biomasa en menor medida que los suministros de nutrientes más ricos disponibles. Sin embargo, ayuda a mejorar las condiciones generales del suelo al apoyar un microbiota beneficioso que podría ser útil a largo plazo.

Por último, la aplicación de fertilizantes NPK tuvo una masa seca promedio de 0,004 gramos, que es inferior a cualquiera de las opciones orgánicas exploradas anteriormente. Este hallazgo presenta desafíos parciales a la creencia convencional de los agricultores de que la aplicación de fertilizantes químicos en la agricultura siempre aumenta la productividad.

La comparación entre masa fresca y masa seca resalta la mayor efectividad de los biofertilizantes, particularmente la gallinaza y el humus, como opciones económicas y amigables con el medio ambiente para optimizar el crecimiento inicial de las plántulas de cebolla. Estos tratamientos no solo ofrecen ventajas en la acumulación de biomasa, sino en la mejora de la calidad del sustrato y la sostenibilidad ambiental, lo cual es muy importante dentro del contexto de prácticas agrícolas responsables. No obstante, la selección del tratamiento más ideal sigue siendo un desafío porque, además de los resultados cuantitativos, se deben tener en cuenta la viabilidad económica y la adecuada gestión de riesgos.

En primer lugar, la selección de la gallinaza y el humus como biofertilizantes está justificada debido a una ventaja económica “grado de libertad”. Debido a la negligencia en la acumulación de biomasa seca, el tratamiento de agro higiene y veterinario de los biofertilizantes puede facilitar el tratamiento. En este caso particular, el beneficio de utilizar humus biofortificado suministrado por una granja avícola se hace evidente en el objetivo.

6.2. Indicadores de desarrollo fisiológicos que permitan realizar la estimación de la respuesta a la aplicación de los biofertilizantes seleccionados en el estadio de semillero de la cebolla (*Allium cepa* L.)

6.2.1. Tasa de crecimiento del cultivo (TCR) y Tasa de asimilación Neta

El análisis de la Tasa de Crecimiento Relativo (TCR) en plántulas de cebolla (*Allium cepa* L.) bajo diferentes tratamientos refleja la eficiencia con la cual las plantas convierten la biomasa

acumulada en nuevo crecimiento durante un intervalo de tiempo. Este índice fisiológico es un indicador crítico del vigor y desempeño adaptativo de las plantas frente a los insumos aplicados, y su variación proporciona información detallada sobre los procesos metabólicos y la eficiencia en el uso de los recursos. Con base en la gráfica 9, el tratamiento Control presentó la TCR más alta, con un valor de 0,108 g/(g día) en relación con TCR de tratamiento. En un contexto donde no se aplican biofertilizantes ni fertilizantes químicos, las semillas y el sustrato parecían contener reserva inicial de nutrientes suficientes para sustentar un crecimiento vigoroso en las primeras etapas, esta afirmación está basada en la investigación presentada por (Rincón, et al. 2016) donde se logró probar que la fibra de coco tiene una capacidad de retención de agua, extracto no nitrogenado, nutrientes y demás factores que pueden favorecer el crecimiento de las plántulas. Aun así, cabe señalar que una alta TCR inicial no se traduce necesariamente en un desarrollo sostenido a lo largo del tiempo, dado que la disponibilidad limitada de nutrientes en este sistema podría restringir el crecimiento en etapas posteriores.

En la figura 11 el TCR durante el tratamiento con Humus se registró en 0,030 g/(g día), lo que es significativamente inferior al control, según la prueba tukey manejada. Este resultado sugiere que el humus, a pesar de que proporciona nutrientes y compuestos bioactivos, su bioactividad puede haber sido menor en etapas iniciales de desarrollo (Bettoni et al, 2016). Posibles razones que pudieron haber restringido la tasa relativa de acumulación de biomasa durante el tiempo de estudio son: nutrientes en proporción desequilibrada de macronutrientes que están disponibles, o lenta amortiguación controlada de nutrientes. La contribución del humus puede aún quedar manifiesta en fases posteriores donde su potencial de brindarle un mejoramiento a la

estructura del suelo y la actividad microbiana favorece un crecimiento más sustentable (Bettoni et al,2016).

Por otro lado, el tratamiento de Gallinaza ha demostrado tener la TCR más baja con un valor de 0,009 g/(g día). Este rendimiento puede explicarse por características específicas de la gallinaza como su alto contenido de fósforo y la alta concentración de sales en el sustrato, lo que podría haber creado condiciones desfavorables para la absorción eficiente de agua y nutrientes (Conagrícola,2020). A pesar de que es efectivo en etapas avanzadas de los cultivos, la gallinaza puede no ser tan efectiva en aumentar la tasa de crecimiento en las etapas iniciales de desarrollo de plántulas, particularmente en un sistema que tiene una rotación de nutrientes muy alta.

El tratamiento con caldo de Rizósfera, resultó en TCR de 0,043 g/(g día), superando al humus ya la gallinaza, aunque aún por debajo del control. Este resultado demuestra cuán efectivo es el caldo de rizósfera en potenciar el desarrollo de plántulas a través del aumento en la disponibilidad de nutrientes y microbiota beneficiosa. La presencia de microorganismos fijadores de nitrógeno y promotores del crecimiento vegetal habría ayudado en la asimilación de recursos, pero su efectividad es mínima en comparación con el control, probablemente debido a condiciones específicas del sustrato y requerimientos del cultivo.

El fertilizante NPK registró una TCR de 0,086 g/(g día), clasificándolo como el segundo entre los tratamientos en cuanto a la tasa de crecimiento. Esto sirve para resaltar la efectividad de los fertilizantes químicos en el suministro de nutrientes esenciales porque están disponibles en formas que pueden ser utilizadas y cosechadas eficientemente en las etapas iniciales de desarrollo. Sin embargo, el rendimiento del NPK, que es más aproximado al del control, no lo supera, lo que puede deberse a la ausencia de componentes orgánicos que soporten una actividad microbiana

beneficiosa a largo plazo, limitando así el efecto acumulativo en el desarrollo del sistema radicular y la estructura foliar.

La TCR permite concluir que existen diferencias en la eficiencia inicial de los tratamientos analizados. El control fue el que mayor valor obtuvo, en esta etapa, los biofertilizantes, aunque son menos eficientes, ofrecen posibilidades en la sostenibilidad y mejoramiento del suelo en el futuro. El humus y el caldo de rizosfera tienen un desempeño intermedio que resulta en el desarrollo sostenido de las plántulas, mientras que la gallinaza tiene que ser manejada con más cuidado para evitar limitaciones que surgen de su composición química. Por último, el NPK demuestra que es posible maximizar el crecimiento en el corto plazo, aunque su efecto sostenido está condicionado al cuidado durante la aplicación de insumos en conjunto con otras estrategias. Estos resultados resaltan que se debe ser más crítico en la selección de insumos dependiendo del estadio fenológico y de lo específico del cultivo.

Teniendo en cuenta los valores mencionados anteriormente se logra evidenciar que estos se encuentran dentro de los valores obtenidos por Jaramillo et al, (1997) aunque dicha investigación se realizó a campo abierto y se usaron fertilizantes tradicionales, sin embargo los biofertilizantes demostraron que son competitivos y pueden aportar los mismos nutrientes a las plántulas.

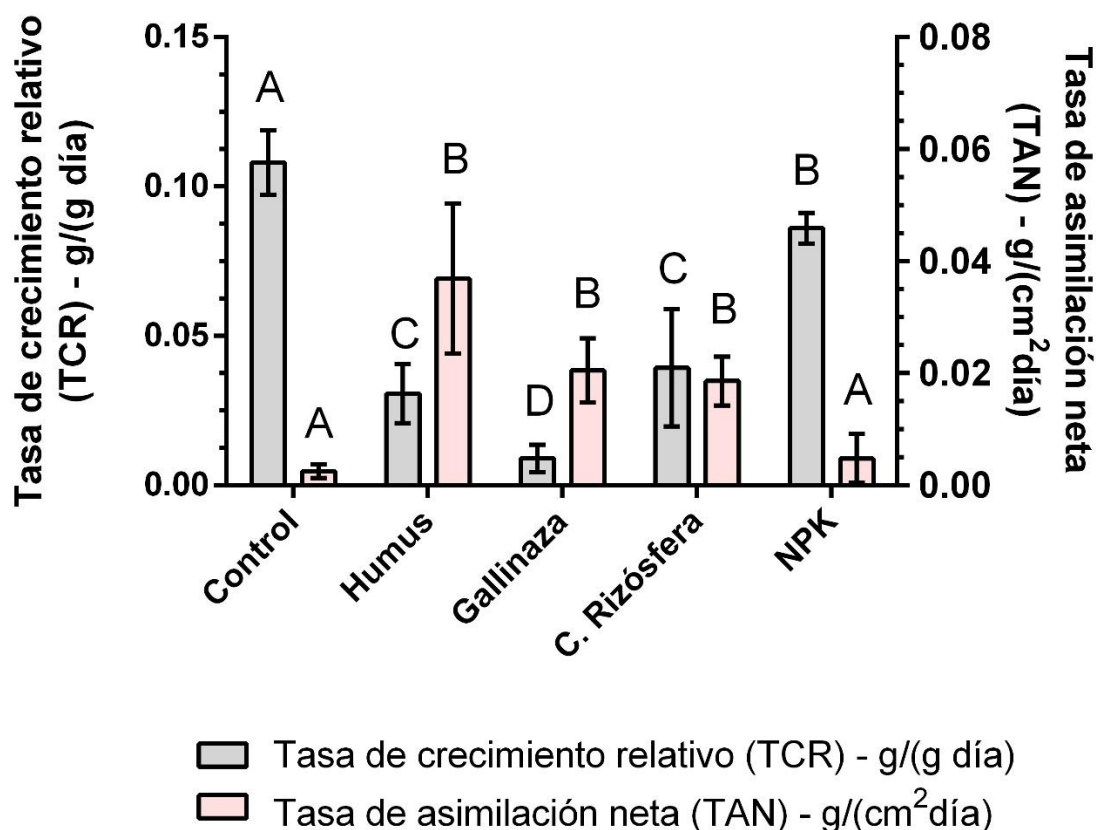


Figura 11. Aumento de biomasa por tratamientos

La TCR y TAN dieron también mediciones importantes sobre la respuesta a los tratamientos. En el caso de la rizósfera, hubo un TCR de 0,043 g/(g día) y un TAN de 0,0197 g/(cm² día) que eran superiores a los de los demás tratamientos, evidencia de una tasa de crecimiento acelerada. Por su parte, la gallinaza mostró valores inferiores (TCR de 0,009 g/(g día) y TAN de 0,0208 g/(cm² día)) posiblemente por un desequilibrio en la mezcla de nutrientes o por una capacidad de absorción menor que en la rizósfera. El control fue, como se esperaba, el de valor más bajo de TAN, lo que refuerza la importancia de los tratamientos de biofertilización para mejorar el desarrollo del cultivo.

Un análisis de la TAN que se expresa en gramos por centímetro cuadrado por día proporciona información sobre la capacidad de las plántulas de cebolla (*Allium cepa* L.) para convertir eficazmente los recursos fotosintéticos disponibles en biomasa acumulativa. Esta métrica permite determinar el potencial de las plantas para alcanzar el crecimiento máximo en relación con el índice de área foliar activa, y es esencial para medir la eficiencia fisiológica lograda en respuesta a los tratamientos.

Como se observa en la gráfica 11, el Tratamiento de Control tuvo la menor TAN de 0.0019 g/(cm²/d). Este hallazgo respalda la noción de que hay un bajo potencial fotosintético para transformar recursos en biomasa y es comprensible considerando que este tratamiento no tuvo fertilizantes orgánicos o químicos añadidos. Si bien el grupo de control logró un alto porcentaje de germinación y una notable tasa de crecimiento relativo, el significativo valor de TAN ilustra que la calidad del sustrato por sí sola es insuficiente para un desarrollo fotosintético efectivo. Este resultado sugiere la necesidad de suplementación de nutrientes para aumentar la productividad fotosintética y la acumulación de biomasa del cultivo.

El tratamiento donde se empleó Humus presenta un valor de 0,0374 g/(cm² día), lo cual implica una TAN alta en comparación con el resto de los tratamientos. Este dato concordó con el humus que se ha documentado de manera extensiva como una enmienda orgánica rica en nutrimentos y compuestos bioactivos. Su alta capacidad para mejorar la actividad microbiana y la estructura del suelo, la liberación sostenida de nutrientes y la actividad microbiana favorecen un incremento significativo en la eficiencia fotosintética. Este tratamiento sugiere mayor producción y almacenamiento de biomasa en relación con la superficie foliar, lo cual implica un mayor vigor en las plantas y mejor adaptabilidad a condiciones de estrés.

El tratamiento con Gallinaza presentó un TAN de 0.0208 g/(cm² día), ubicándose como el segundo tratamiento más eficiente. Este valor resalta el uso importante de la gallinaza en la provisión de nitrógeno y fósforo que son importantes en la síntesis de biomoléculas y energía en la planta. Por otra parte, el valor por debajo del humus puede explicarse por cierto descontrol como un mal manejo en términos de sobreacumulación de nutrientes, o medidas rápidas de aportación de nutrientes que superó la capacidad de asimilación de las plántulas en el inicio de su crecimiento. A pesar de esto, la gallinaza se acerca a las condiciones necesarias para que la eficiencia fotosintética se vea limitada por las condiciones en sistemas de producción donde el manejo es correcto.

Aplicando Caldo de Rizósfera se obtuvo una TAN de 0,0197 g/(cm² día), lo que evidencia el impacto positivo sobre la fotosíntesis que se logra al incentivar la actividad microbológica benéfica en el sustrato. Este tratamiento complementa la nutrición y la absorción de agua, lo que mejora la conversión de energía solar en biomasa. Si bien su eficiencia es menor que la del humus y la gallinaza, contribuye a un mejor equilibrio en el desarrollo del sistema radicular y la parte aérea, especialmente en suelos con baja fertilidad natural.

El fertilizante NPK presenta una TAN de 0,0051 g/(cm² día) que se ubica entre el control y los orgánicos. Este resultado evidencia el conocimiento que se tiene sobre la acción de los fertilizantes químicos que, por más que su uso esté asociado al abuso, deben ser reconocidos como herramientas que nutren al suelo de forma inmediata a partir de la siembra. No obstante, el valor de eficiencia bajo al compararlo con los orgánicos puede deberse a la no aumento de las propiedades biológicas y físicas del sustrato, y la alta lixiviación de nutrientes que tiene este tipo de sustrato, limitando así la biomasa que puede ser acumulada durante la fotosíntesis.

En suma, los resultados del estudio de la Tasa de Asimilación Neta revelan que, dentro de los tratamientos orgánicos, el humus y la gallinaza presentan una eficiencia fotosintética mayor al control y el NPK. Sobresale el humus como el tratamiento más eficiente, seguido de la gallinaza; intermedios al caldo de rizosfera, que resultan con beneficios adicionales al promover la salud del suelo. Resulta de gran importancia considerar el enfoque menos convencional que no solo mejoran la alimentación inmediata de nutrientes, sino que, además, condicionan el sustrato para un crecimiento eficiente en el futuro.

Respecto a la investigación llevada a cabo por Jaramillo et al, (1997) evidenció que la TAN obtenida oscilo entre 0.0005 – 0.0568 aunque son diferentes variedades de cebolla las trabajadas en estas dos investigaciones los resultados obtenidos en esta investigación están dentro de este rango, por tanto se puede asumir que los biofertilizantes no limita la eficiencia fotosintética en las plántulas de cebolla.

6.2.2. Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y Tasa absoluta de crecimiento (TAC)

La Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC), cuya unidad de medida es $g/(cm^2 \text{ día})$, en la gráfica 12 refleja el grado en que las plantas son capaces de transformar la luz en biomasa por unidad de área foliar. Este parámetro permite conocer el resultado de la actividad fisiológica de la planta a partir del manejo agronómico que se le ha proporcionado. En este análisis, las variaciones obtenidas en los diferentes tratamientos reflejan lo que la TCC se refiere a la variabilidad de los efectos de cada fertilizante en el desarrollo del cultivo durante sus etapas iniciales que se observan en la figura 12. El tratamiento Control tuvo un TCC de $0,00025 g/(cm^2 \text{ día})$. Este dato, que refleja lo que se considera un índice de plantas de escaso crecimiento, lo que puede atribuirse a que el sustrato no le suministró nutrientes esenciales, como el nitrógeno y el fósforo, y las plantas no fueron capaces de maximizar el uso del área foliar disponible para incrementar la fotosíntesis.

El tratamiento con humus muestra un incremento notable en la TCC que alcanzó un valor de $0.00032 \text{ g}/(\text{cm}^2 \text{ día})$. Este resultado resalta la efectividad del humus como un fertilizante orgánico ya que proporciona una cantidad de nutrientes y mejora la calidad del suelo debido a las fitohormonas presentes que también estimulan el crecimiento (Mora, 2015). Por otro lado, el humus parece también estimular la proporción foliar y el incremento de biomasa en las plantas, lo que es muy importante para el mantenimiento del crecimiento a largo plazo.

El tratamiento con gallinaza presentó el valor más bajo con un TCC de $0.00009 \text{ g}/(\text{cm}^2 \text{ día})$ en comparación con los demás tratamientos. Este rendimiento deficiente probablemente puede estar vinculado a ciertas características de la gallinaza, incluida su alta dimensionalidad y la posibilidad de desequilibrios nutricionales si no se controla adecuadamente. Es cierto que esta forma de fertilizante es bien conocida por suministrar fósforo y nitrógeno, pero la posibilidad inicial de fitotoxicidad, junto con la absorción ineficaz de nutrientes, podría haber limitado la capacidad de la fotosíntesis durante esta primera etapa de crecimiento (Conagricola, 2020). A pesar de ello, es bueno tener en cuenta que la gallinaza podría tener otras ventajas importantes en fases posteriores, después de que los sistemas radiculares de las plantas estén mejor desarrollados y adaptados al entorno.

La TCC más alta, $0,00048 \text{ g}/(\text{cm}^2 \text{ día})$, se logró con el Caldo de Rizósfera. Este resultado muestra la capacidad para potencializar la fotosíntesis y el crecimiento del cultivo. Microorganismos benéficos presentes en el caldo de rizósfera, como las bacterias fijadoras de nitrógeno y las Fito promotoras, parecen haber mejorado la disponibilidad de nutrientes, así como la interacción planta-suelo, aumentando el rendimiento fisiológico de los cultivos (Agudelo & Casierra, 2004). El alto valor de TCC obtenido pone en evidencia que el caldo de rizósfera puede ser un recurso potente para aumentar la productividad del cultivo en condiciones controladas.

El uso de biofertilizantes en la producción de cebolla (*Allium cepa* L.) ha sido objeto de múltiples investigaciones recientes, evidenciando su potencial para mejorar el crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo en comparación con fertilizantes químicos. Los resultados obtenidos en la investigación desarrollada reflejan tendencias similares a las de estudios previos, aunque con ciertas variaciones en la efectividad de los tratamientos según el tipo de biofertilizante empleado.

El fertilizante NPK registró un índice de 0.00029 g/(cm² día), lo que lo coloca ligeramente por encima del control y por debajo del humus y el caldo de rizósfera. Este resultado revela la capacidad del NPK para suministrar nutrientes esenciales de inmediato, lo que ayuda a superar los procesos fotosintéticos en comparación con sustratos no cultivados. Sin embargo, la efectividad relativa fue menor que la de los tratamientos orgánicos, lo que probablemente se deba a su incapacidad para mejorar las propiedades físicas y biológicas del suelo, que son esenciales para un desarrollo agrícola sostenible. Este rendimiento destaca el problema de combinar fertilizantes químicos, agricultura intensiva y la salud del ecosistema del suelo.

En este caso, se observa que las prácticas que emplearon insumos orgánicos, en especial el caldo de rizósfera y el humus, incrementaron los cultivos en relación con los tratamientos que no usaron insumos, por el aumento de la eficiencia fotosintética y de biomasa. Es cierto que el Control y el NPK intentaron mejorar la TCC, pero fue en una medida bastante baja, sin embargo, el uso de los biofertilizantes es una propuesta que mejora el desarrollo y es sostenible. Se concluye además que es importante evaluar los efectos de distintas prácticas agronómicas e insumos adicionales tanto en el corto como en el largo plazo.

Los estudios revisados indican que la implementación de fertilización química y biofertilizantes genera mejoras significativas en la producción de cebolla. Por ejemplo, (Kaur &

Singh, 2019), encontraron que la aplicación combinada de fertilizantes químicos, vermicompost y *Azotobacter* aumentó la altura de la planta, el número de hojas y el diámetro del bulbo, además de mejorar la calidad bioquímica del cultivo. Estos hallazgos son congruentes con los obtenidos en este estudio, donde se evaluó la eficacia de la gallinaza, el humus líquido y el caldo de rizosfera en el crecimiento de las plántulas. La mejora en la absorción de nutrientes y el fortalecimiento del sistema radicular observados coinciden con los beneficios de *Azotobacter* y otros biofertilizantes documentados en la literatura como los *Rhizobium*, *Mesorhizobium*, *Bradyrhizobium*; *Azospirillum*; *Azotobacter*; *Pseudomonas*, microorganismos solubilizadores de fosfato y *Trichoderma* (Grageda et al, 2012).

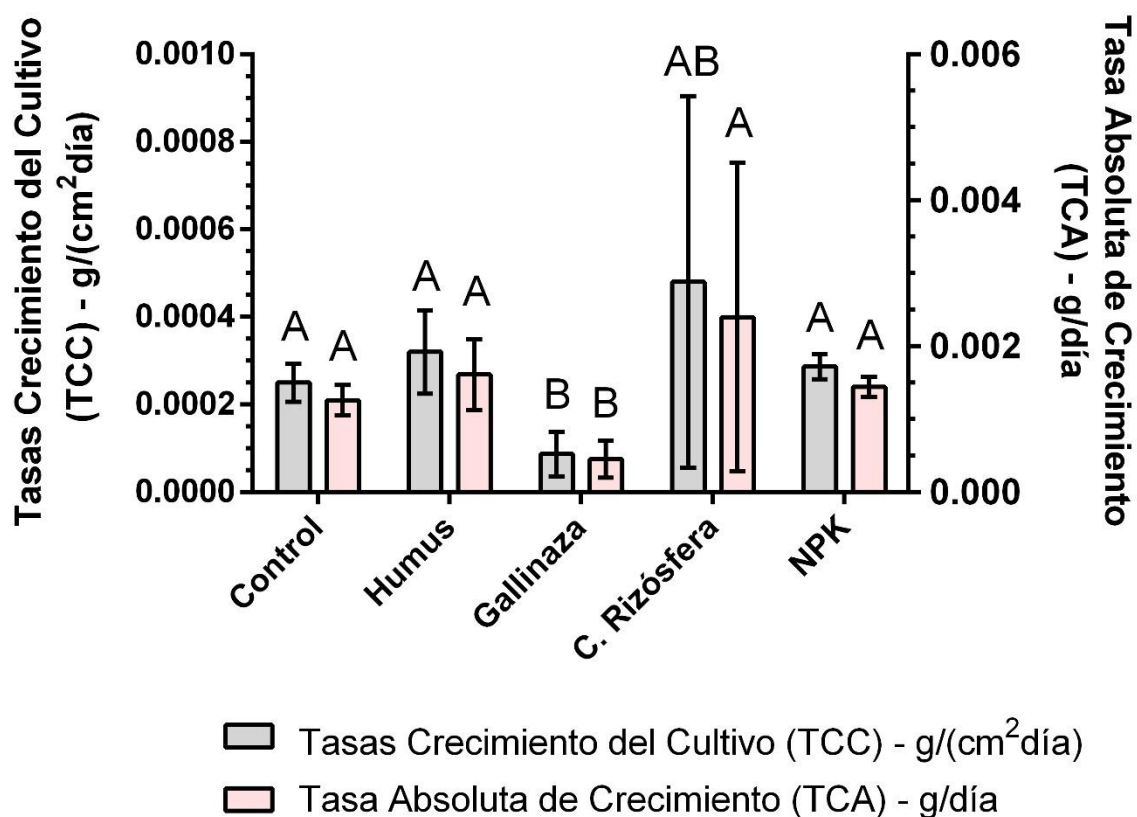


Figura 12. Ganancia de biomasa vegetal en el cultivo

La Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC), que se expresa en gramos por día, es el total de biomasa producida por un montón de plántulas dentro de un período determinado. Esto tiene gran importancia en el análisis de cada uno de los tratamientos realizados sobre el cultivo en función de su eficiencia aditiva parcial de productividad total. En la tabla 12 se ven reflejados los resultados obtenidos.

El tratamiento Control, presentó una TAC de 0,00126 g/día. Este resultado expresa que, si bien hubo un bosquejo de superación en el crecimiento de las plántulas, les fue imposible incrementar sus recursos por el exiguo sustrato de nutrientes en el medio. En sistemas de cultivo de este tipo, que no dependen del sistema de adición de fertilizantes, es de esperar que las reservas iniciales de semillas y la nutritiva de manera natural de la tierra, resultan insuficientes para los estadios superiores de crecimiento. No obstante, la conducta que fue observada en los controles respecto al TAC por el contrario, deja ver las competencias que en materia mínima poseen las plantas para la acumulación de biomasa, aunque esta se presenta de forma extremadamente moderada.

El tratamiento con humus tuvo un TAC de 0,00161 g/día, por lo que superó al control y varios otros tratamientos. Este aumento tan grande se explica fácilmente ya que se hizo un aporte continuo de nutrientes primordiales, en especial nitrógeno y fósforo, claves en los procesos metabólicos que llevan a cabo la biomasa. Por otro lado, el humus también ayuda a mejorar la estructura del suelo y la actividad microbiana, la retención de agua y nutrientes. Este tratamiento resulta eficaz en la optimización de la acumulación de biomasa durante las etapas iniciales del cultivo, logrando un mayor desarrollo en comparación con el uso de fertilizante químico (Lara,2009) y (Mora,2015).

En cambio, el tratamiento con Gallinaza mostró un TAC de 0.00045 g por día, el valor más bajo de todos los evaluados. Este resultado muestra el grado de incapacidad de este insumo para facilitar el crecimiento en las etapas tempranas debido a su composición química que tiene un contenido de fósforo muy alto junto con un alto potencial de salinidad (Venancio et al, 2022). Estos elementos pueden haber creado condiciones hostiles dentro del sustrato, lo que restringió la eficiencia de absorción de nutrientes. Aunque menos común, se sabe que la gallinaza es útil en sistemas de agricultura sostenible, pero estos resultados indican que su uso es más beneficioso en etapas posteriores cuando los sistemas radiculares de las plantas están más desarrollados y establecidos.

El Tratamiento de Caldo de Rizósfera resultó en la TAC más alta con una cifra de 0.00240 g/día. debido al hecho de que los microorganismos, presentes usualmente en este tipo de biofertilizantes, son capaces de mejorar la disponibilidad de nutrientes, la actividad radicular y fotosintética. El alto valor de TAC alcanzado sugiere que este tratamiento mejora los procesos metabólicos que conducen a la acumulación de biomasa, logrando así proporcionar un mayor crecimiento que los fertilizantes químicos, otros biofertilizantes y tratamientos fríos similares. El rendimiento del caldo de rizósfera como la principal contribución en este estudio revela una potente posibilidad de mejorar el crecimiento absoluto de plántulas bajo condiciones de ambiente controlado.

El NPK tuvo un TAC de 0.00144 g/día, que es mayor que el control y la gallinaza, pero menor que el humus y el caldo de rizósfera. Este valor particular que demuestra que el NPK es que puede aportar nutrientes esenciales de manera instantánea y, como consecuencia, la acumulación inicial de biomasa se facilita muy fácilmente. No obstante, es posible que la ausencia de materia orgánica, que es tan importante para la mejora de las propiedades físicas y biológicas del suelo,

esté restringiendo la capacidad de la materia orgánica para proporcionar un crecimiento equilibrado y sostenido. Sin embargo, es cierto que el NPK, independientemente de sus componentes cuestionables, todavía tendió a ser un suplemento efectivo en términos de acumulación de biomasa a corto plazo.

En este sentido, lo que resalta el análisis de la Tasa Absoluta de Crecimiento, es que los tratamientos orgánicos, en especial el caldo de rizosfera y el humus, son los que brindan un mayor incremento de biomasa en las plántulas. Estos insumos no solo entregan los nutrientes indispensables, sino que también mejoran las condiciones generales del suelo, lo que potencia un crecimiento equilibrado y sostenido. Por su parte, el NPK y la gallinaza contribuyen con ciertos beneficios, aunque son mucho menos eficaces que los orgánicos en las fases tempranas. Estos hallazgos enfatizan la necesidad de tener en cuenta no solo la composición química de los fertilizantes, sino también sus efectos a largo plazo en la sostenibilidad del sistema agrícola y la calidad de los cultivos.

6.2.4. índice de área foliar (IAF) y Área foliar específica (AFE)

El Índice de Área Foliar (IAF) es un parámetro importante en la fisiología vegetal, dado que indica cuán eficiente es una planta en el uso de su superficie fotosintética para realizar la captura de luz y la fotosíntesis. Este indicador es de gran importancia en cultivos, caso de la cebolla (*Allium cepa* L.), debido a que la relación entre el área foliar y la biomasa producida afecta el rendimiento y la calidad del cultivo. En el presente análisis, los datos de IAF obtenidos bajo diferentes tratamientos muestran variaciones que son significativamente reflejando las capacidades diferenciales de cada insumo para optimizar este aspecto fisiológico fundamental

Como puede apreciarse en la figura 13 el tratamiento control, que no recibió ningún insumo adicional, presentó un valor de 21,05. Este resultado podría considerarse poco relevante en estos casos, dado que se espera que las plántulas alcancen un área foliar suficiente para sostener un crecimiento inicial aceptable. Sin embargo, en ausencia de fertilización, su potencial fotosintético está severamente limitado. Este resultado sugiere que el desarrollo foliar no alcanza su esplendor máximo porque los reservorios internos de las semillas y el sustrato natural no son lo suficientemente completos.

Este escenario puede indicar ciertos límites con respecto a la eficiencia fotosintética y la acumulación de biomasa, factores que pueden ser perjudiciales para el rendimiento del cultivo durante las etapas posteriores de desarrollo.

Por otro lado, el tratamiento con Humus logró un aumento significativo en IAF, alcanzando el valor de 28.27. Este valor muestra cómo el humus puede enriquecer los sustratos al agregar nutrientes, materia orgánica y microorganismos benéficos que mejoran el crecimiento foliar. La mejora del IAF se espera por la disponibilidad prolongada de nitrógeno y otros macronutrientes que apoyan la expansión foliar, así como la mayor eficiencia de la fotosíntesis (Bettoni et al, 2016) y (Lara,2009). Este aumento en el área foliar está probablemente relacionado con un aumento en la captura de luz y, consecuentemente, en la producción de biomasa, mejorando así el rendimiento general del cultivo.

El tratamiento con Gallinaza mostró un IAF de 25.28, siendo el tercero más alto entre los tratamientos evaluados. Estos valores capturan la efectividad de la gallinaza como fuente de fósforo, nitrógeno y materia orgánica que promueven el crecimiento foliar. Sin embargo, el valor de IAF que es ligeramente inferior al de humus y caldo de rizosfera puede estar asociado con una buena gestión de este fertilizante, ya que la gallinaza tiende a aumentar la salinidad del suelo, lo

que puede restringir la expansión foliar bajo ciertas condiciones. No obstante, su desempeño es bueno e indica la posibilidad de aumentar el área foliar para sistemas agrícolas sostenibles.

El Caldo de Rizósfera es un destacado notable en los rankings de IAF, logrando una puntuación de 30.49, superando a todos los demás tratamientos. Los resultados provienen de la acción benéfica de los microorganismos que se encuentran en el caldo de rizósfera, que aumenta la disponibilidad de nutrientes en el suelo y facilita las interacciones raíz-suelo (Vessey, 2003). Este aumento del área foliar sugiere que las plántulas son capaces de lograr un equilibrio óptimo entre la captura de luz y la actividad fotosintética, que promueve de manera eficiente el crecimiento equilibrado de las plántulas. Así, este tratamiento también podría ser efectivo en suelos con baja fertilidad o en presencia de estrés ambiental.

El tratamiento con NPK, aunque es químicamente efectivo, mostró un IAF de 24.14 que queda por debajo del humus, el caldo de rizósfera y del control. Ahora en esta parte podemos ver las plantas que fueron tratadas con humus y caldo de rizósfera. Recuerden que el control fue las plantas tratadas con el suelo y agua. Este resultado muestra el problema de los fertilizantes químicos: si bien algunos nutrientes pueden mejorar la estructura y la microbiota del suelo, su efecto benéfico es bastante incierto. El NPK, aunque mejora la cobertura de las hojas, no tiene límites orgánicos para retener adecuadamente el agua y la actividad microbiana, por lo que es comprensible que el área foliar afectada por los tratamientos químicos resulta mucho más que por los tratamientos orgánicos. Aun así, esto se puede aceptar para la mayoría de los cultivos en su etapa de crecimiento como una plántula.

El proceso de evaluación y estudio del Índice de Área Foliar requiere la ponderación de los distintos resultados que se han logrado con los tratamientos realizados. Tanto el caldo de rizósfera como el humus se proponen como los más adecuados para el incremento de la superficie

fotosintética, así como de la biomasa. La gallinaza debe ser tenida en cuenta porque puede competir. Su efectividad, sin embargo, puede estar solicitada a consideraciones de manejo y salinidad, esa es la razón de estos estudios, que enfatizan la necesidad de fertilización proactiva para el incremento “foliar” y agroecológica sostenible para el desarrollo de la productiva y la calidad del cultivo. El NPK, por su parte, garantiza un buen efecto inmediato, pero a diferencia de los tratamientos orgánicos, no son útiles para el crecimiento a largo plazo. Para finalizar el IAF En la investigación llevada a cabo por Jaramillo et al, (1997) los valores obtenidos en dicha investigación fueron más bajos que los obtenidos en esta investigación, dicha acción se podría atribuir a la variedad de material vegetal y al uso de biofertilizantes.

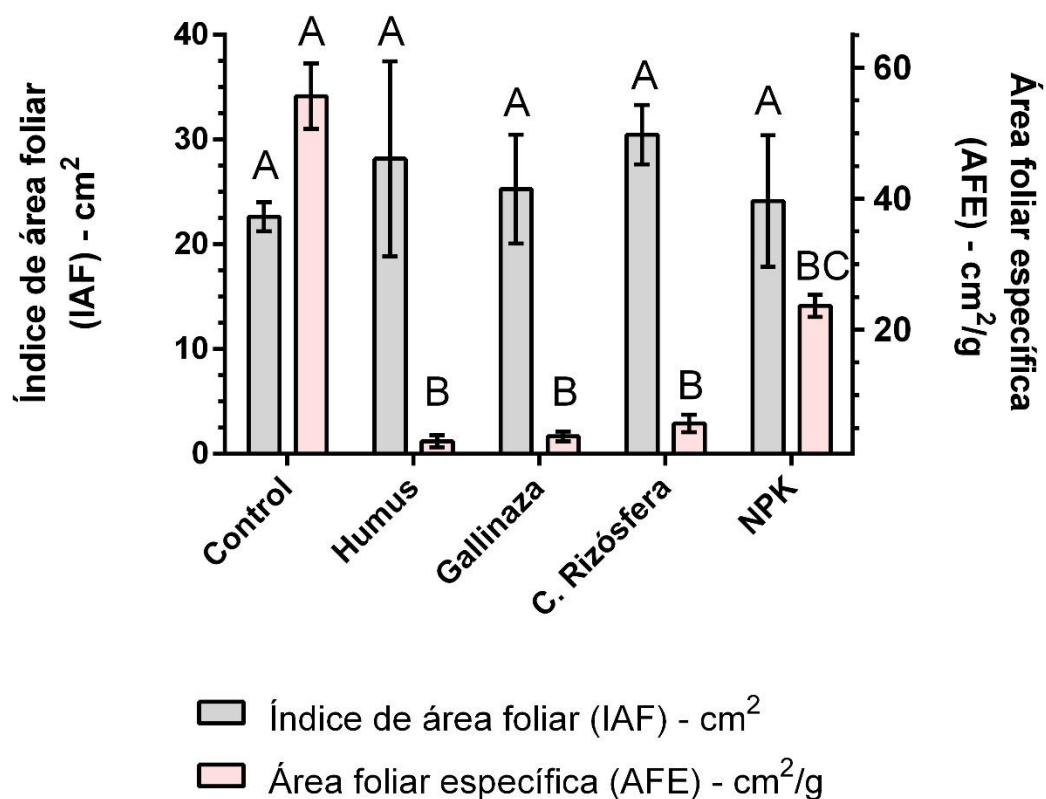


Figura 13. Parámetros foliares por tratamiento

La relación entre la cantidad de biomasa seca que la planta acumula y el área foliar activa, se mide a través de un indicador esencial conocido como el área foliar específica, el cual se divide en cm^2/g . El AFE permite definir cuán eficiente una planta o cultivo es a la hora de expandir el área que captura luz por medio de los fotosintetizadores, con respecto a la cantidad de recursos que consume. Entre las plántulas de cebolla (*Allium cepa* L.) se sabe que, aunque en algunos tratamientos se presenta variación en el AFE, la eficiencia y conducta fisiológica frente a los recursos disponibles marcan diferencias fundamentales en cada caso.

Teniendo en cuenta lo anterior en la figura 13, el tratamiento control obtuvo la AFE más alta con un valor de $55,06 \text{ cm}^2/\text{g}$. Este resultado sugiere que los vegetales no fertilizados concentraron sus recursos en expandir el área foliar en vez de la biomasa seca. Si bien esta estrategia puede optimizar la captura de luz en una planta joven, es indicativo de un menor nivel de fotosíntesis debido a la baja concentración de nutrientes en el sustrato. Una alta AFE hace suponer que las plántulas presentan restricciones en la producción de biomasa, lo que provoca esa relación desproporcionada entre la superficie foliar y la materia seca. Esto, al igual que la alta AFE, es útil en los niveles iniciales donde es más difícil sobrevivir, pero se torna poco favorable considerando las altas demandas del metabolismo en las etapas posteriores del crecimiento.

El uso de Humus resultó en el registro más bajo de AFE, de $2,84 \text{ cm}^2/\text{g}$. Esto indica un enfoque fisiológico completamente distinto al control, donde las plántulas utilizaron eficientemente sus recursos hacia la biomasa seca en relación con la expansión foliar. Este tipo de comportamiento se explica por un incremento en la eficiencia fotosintética que ha sido aumentada por la constante disponibilidad de nutrientes a partir del humus. Además, la mejora de la microflora del suelo y el incremento en la actividad microbiana generada por el uso de este biofertilizante, incrementaron la eficiencia en el uso de los recursos (Baca, Soto, & Pardo, 2000). Este equilibrio

en el área foliar y la materia seca revelan la habilidad del humus en el incremento del crecimiento de las plántulas de manera eficiente, sostenida y robusta.

El tratamiento con gallinaza mostró un AFE de 3,64 cm²/g, mostrando una vez más una elevada efectividad en la creación de biomasa seca. Por otro lado, aunque se sabe que la gallinaza es una fuente rica de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, su influencia en el AFE puede ser limitada debido a la posible acumulación de sales y el desequilibrio nutricional dentro del sustrato (Estrada, 2005). Aun así, la capacidad de la gallinaza para optimizar recursos hacia la biomasa seca la posiciona firmemente como uno de los factores más importantes para el crecimiento del cultivo. Este comportamiento sugiere que, aunque el área de producción foliar fue moderada, las relaciones con la biomasa seca fueron suficientes para la captura de luz y generación de biomasa.

El Caldo de Rizósfera alcanzó un AFE de 5,22 cm²/g. Se destaca como un tratamiento equilibrado que combina una expansión foliar efectiva con acumulación de biomasa seca. Este valor muestra la capacidad del caldo de rizósfera para optimizar las condiciones del sustrato mediante la acción de microorganismos beneficiosos que mejoran la absorción de nutrientes y el metabolismo de la planta. Estos hallazgos sugieren que hay un desarrollo suficiente del dosel además de acumulación de materia seca para soportar un crecimiento robusto y alta eficiencia fotosintética.

El fertilizante NPK exhibió un AFE de 23,58 cm²/g, variando entre plantas de control y tratadas orgánicamente. Este valor relativamente alto sugiere que el NPK aumentó la oferta inicial de nutrientes y permitió una expansión moderada de la cobertura del dosel, pero no tanto como el control. Los resultados indican que las plantas cultivadas bajo este tratamiento pudieron expandir el área foliar, sin embargo, la mejora fue más moderada en comparación con el grupo de control. Se esperan aumentos en el follaje bajo la aplicación de NPK porque dichos fertilizantes son

altamente útiles. La ausencia de mejora del suelo y el equilibrio ecológico de los componentes podría explicar estas limitaciones basadas en nitratos durante la observación de la eficiencia fotosintética.

Los resultados del análisis del AFE revelan, en términos generales, variaciones importantes en la estrategia de asignación de recursos de los tratamientos. En el control y el NPK, hubo una expansión desproporcionada del área foliar en relación con la biomasa seca, una diferencia de la eficiencia demostrada en el acumulado de biomasa por área foliar en los tratamientos orgánicos, sobre todo el humus y el caldo de rizosfera. Estos hallazgos hacen énfasis en la necesidad de adoptar prácticas de fertilización que logren el equilibrio entre la producción de biomasa y el aumento del área foliar, que a su vez es un requisito para que el cultivo logre un alto nivel de fotosíntesis y crezca de manera sostenible

6.2.5. Duración de área foliar

La Duración del Área Foliar (DAF) sin duda refleja, en $\text{cm}^2/\text{día}$, uno de los rasgos más característicos en cuanto a la eficiencia en la fotosíntesis, o más específico, cultivo en la luz dentro de la planta. Por lo tanto, este parámetro resulta ser esencial para evaluar la eficacia en la cebolla (*Allium cepa* L.) considerando su desarrollo, la fertilización utilizada, el incremento de biomasa, el crecimiento foliar e incluso el pestañeo estratégico.

En la figura 14 se observa que el tratamiento Control obtuvo una DAF de $0.62 \text{ cm}^2/\text{día}$, este valor permite notar lo que una planta sin la intervención de insumos puede lograr en base a un área foliar activa. Estos valores indican que en control no se lograron altos resultados ya que la fertilización no permite superar el área foliar, lo que probablemente pasa es que el sustrato no cuenta con los nutrientes básicos que se necesitan.

Este resultado sugiere que, aunque las plantas bajo este tratamiento pudieron desarrollar una superficie foliar funcional, el tiempo fue limitado, lo que puede afectar desfavorablemente la acumulación de biomasa y el rendimiento fotosintético posteriores.

Por ejemplo, el tratamiento con Humus mostró un DAF de $0,59 \text{ cm}^2/\text{día}$, que es ligeramente inferior al valor del control. Este comportamiento puede parecer paradójico a la expectativa de que los bioproductos orgánicos mejorarían el desarrollo del área foliar. Sin embargo, esta observación es posible debido a la liberación lenta de nutrientes que ofrece el humus, que es menos efectiva durante las primeras etapas del cultivo. A pesar de esto, la mejora de la estructura del suelo y los beneficios del microbiota proporcionado por el humus pueden indicar que su impacto positivo es más sustancial durante las etapas posteriores del cultivo que durante la siembra.

Por otro lado, el tratamiento de Gallinaza registró un DAF de $0,64 \text{ cm}^2/\text{día}$, que es un poco más alto que el control. Este resultado resalta el papel de la gallinaza en proporcionar nutrientes esenciales como nitrógeno y fósforo para sostener el desarrollo foliar (Gutiérrez, L. 2020). Sin embargo, este tratamiento es menos efectivo que el resto, probablemente debido a malas prácticas de manejo que llevaron a la acumulación de sales o desequilibrios de nutrientes dentro del sustrato. Sin embargo, la gallinaza mejoró la proporción del área foliar activa para otros tratamientos, ilustrando un grado de respuesta.

El tratamiento de Caldo de Rizósfera se destaca por lograr el DAF más alto de $0,84 \text{ cm}^2/\text{día}$. Esta cifra demuestra el valor de los microorganismos beneficiosos para la absorción de nutrientes y agua en los objetivos, por el mantenimiento prolongado del área foliar activa. Al apoyar la simbiosis entre las raíces y los microbios circundantes, la rizosfera mejora el metabolismo de la planta y proporciona apoyo para mantener un área foliar activa sostenida (Agudelo &

Casierra,2004). La importancia del caldo de rizósfera como un biopromotor efectivo del crecimiento foliar se enfatiza con estos resultados.

El NPK reportó un DAF de 0.65 cm²/día, que se sitúa ligeramente por encima del control y es comparable al tratamiento con gallinaza. Este resultado denota el potencial inmediato que tienen los fertilizantes químicos de nutrir el cultivo, lo que permite mantener activa una mayor superficie foliar. No obstante, su efectividad fue inferior a la del caldo de rizósfera, probablemente por falta de algunos componentes orgánicos que contribuyen a la salud del suelo y a la retención de agua. El NPK es sin duda eficiente, pero por razones de sustentabilidad, el tratamiento orgánico debe ser mayormente preferido.

El análisis referente a la DAF revela que el caldo de la zona de raíces es el mejor tratamiento ya que prolonga al máximo el área foliar activa. Entre los demás, gallinaza y NPK se desempeñan por debajo del promedio mientras que los tratamientos con humus y control son moderadamente efectivos, pero están severamente restringidos por la disponibilidad de nutrientes y la velocidad a la que son liberados. Estos resultados demuestran cuán crítico es el diseño de procedimientos de fertilización que no solo fomentan el crecimiento foliar inicial, sino que también permiten un área foliar activa sostenida para optimizar la productividad del cultivo a lo largo del tiempo.

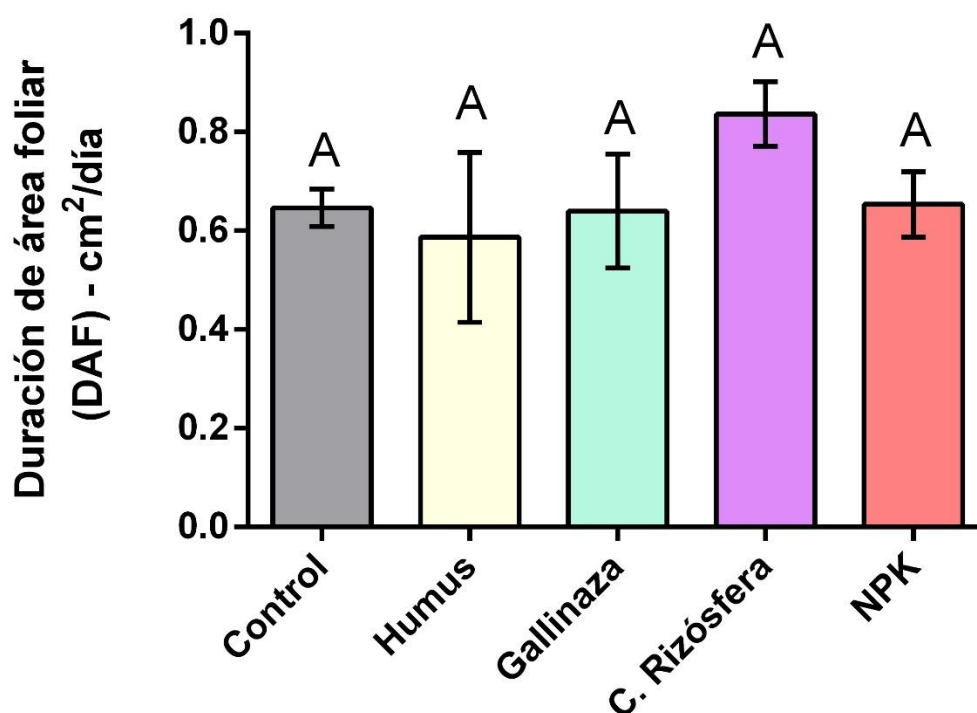


Figura 14. Duración de área foliar por tratamiento

6.3. Contenido de pigmentos fotosintéticos (Clorofilas y carotenoides) en plántulas de cebolla en condiciones de fertilización orgánica.

En cuanto al contenido de clorofila (expresado en $\mu\text{g/g}$), en la figura 15 los resultados reflejan que los tratamientos con humus y rizósfera presentan los niveles más altos, especialmente en el momento 2. El tratamiento con humus alcanza un contenido total de clorofila (Chl T) de $4,0 \mu\text{g/g}$, mientras que la rizósfera llega a $3,9 \mu\text{g/g}$. Estos valores son superiores significativamente a los del control y el tratamiento con NPK, que muestran niveles de $1,2 \mu\text{g/g}$. La clorofila es crucial para la fotosíntesis, y estos datos sugieren que los biofertilizantes favorecen no solo el crecimiento estructural sino también la eficiencia fotosintética de las plantas, incrementando así su capacidad para sintetizar biomasa. Estudios previos, como el de (Méndez & Viteri, 2007), respaldan esta

afirmación al destacar que los biofertilizantes estimulan la producción de pigmentos fotosintéticos en diversos cultivos. Los datos exhiben un notable incremento en los tratamientos con biofertilizantes como en el control, en lo relativo al contenido de clorofila. A nivel I, el control tuvo unos niveles de clorofila total (Chl T) moderados ($0,103 \mu\text{g/g}$), mientras que el humus y la rizosfera presentaron valores mayores ($0,127$ y $0,087 \mu\text{g/g}$, respectivamente).

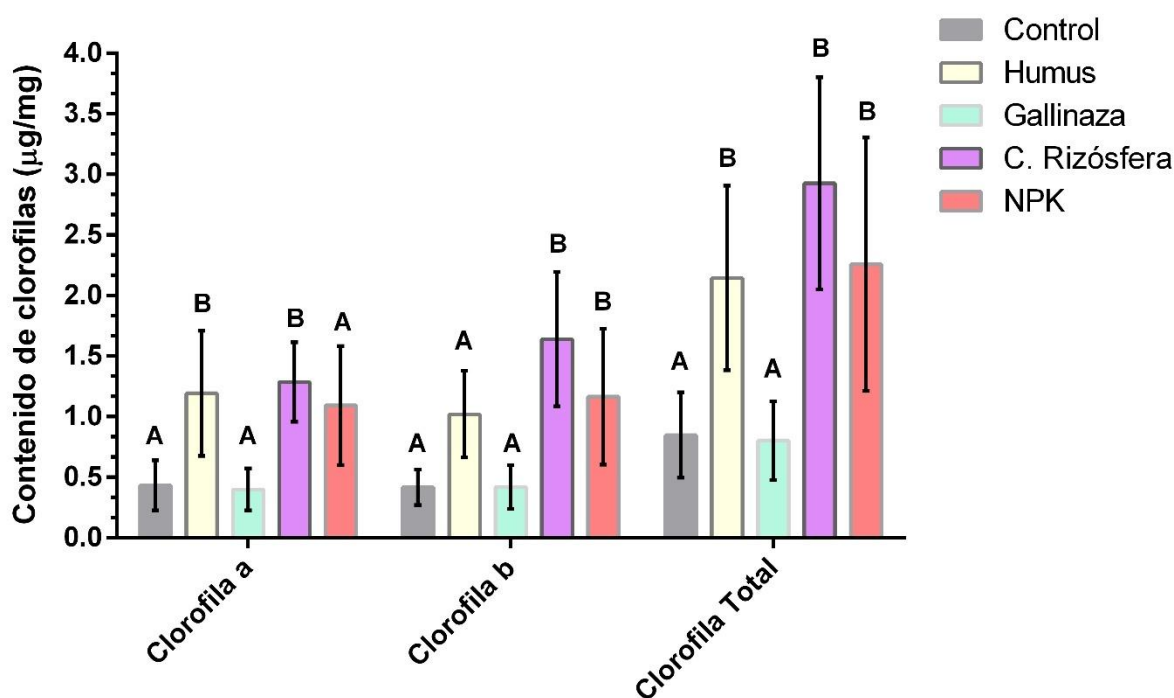


Figura 15. Contenido de clorofila

De acuerdo con la figura 15, en el tratamiento Control, el contenido de clorofila total muestra una progresión de $0,416 \mu\text{g/g}$ en el Momento 1 a $2,547 \mu\text{g/g}$ en el Momento 2. Este incremento refleja una capacidad basal para la síntesis de clorofila, sustentada únicamente por los nutrientes disponibles de manera natural en el sustrato. Sin embargo, el valor absoluto de clorofila total en el Momento 2 es considerablemente menor en comparación con los tratamientos

enriquecidos, lo que subraya la limitación de nutrientes disponibles para un desarrollo fotosintético óptimo.

El tratamiento con Humus evidencia un incremento significativo en el contenido de clorofila total, pasando de 0,368 $\mu\text{g/g}$ en el Momento 1 a 7,435 $\mu\text{g/g}$ en el Momento 2. Este resultado destaca la eficacia de este biofertilizante en la promoción de la síntesis de clorofila, atribuible a su alta concentración de nitrógeno disponible y compuestos orgánicos que actúan como reguladores fisiológicos. La notable diferencia en los valores entre los dos momentos sugiere que el humus favorece no solo la producción inicial de clorofila, sino también su acumulación progresiva a medida que la plántula madura. Este comportamiento es un indicador de una alta eficiencia fotosintética, lo que probablemente se traduce en un mayor vigor y calidad de las plántulas (Pérez, Peña & Torres. 2007).

En el caso de la Gallinaza, el contenido de clorofila total aumenta de 0,194 $\mu\text{g/g}$ en el Momento 1 a 2,407 $\mu\text{g/g}$ en el Momento 2. Aunque se observa un incremento, este es en comparación con otros tratamientos orgánicos. Este resultado puede estar relacionado con una absorción limitada de los nutrientes debido a posibles desequilibrios en la proporción de nutrientes suministrados, como el alto contenido de fósforo frente a la disponibilidad de nitrógeno en etapas iniciales. A pesar de que la gallinaza es un fertilizante efectivo en términos de aporte nutricional, estos datos sugieren que su aplicación podría ser más efectiva en etapas posteriores al trasplante, cuando las plántulas ya han desarrollado sistemas radiculares más robustos capaces de absorber nutrientes con mayor eficiencia.

El tratamiento con Caldo de Rizósfera muestra un incremento notable en el contenido de clorofila total, desde 0,250 $\mu\text{g/g}$ en el Momento 1 a 8,777 $\mu\text{g/g}$ en el Momento 2. Este comportamiento resalta la capacidad del caldo de rizósfera para optimizar las condiciones del

sustrato mediante la acción de microorganismos benéficos, como bacterias fijadoras de nitrógeno y promotoras del crecimiento vegetal. La elevada concentración de clorofila en el Momento 2 indica una mayor eficiencia en la utilización de la luz para la fotosíntesis, lo que podría traducirse en un desarrollo más vigoroso y un potencial productivo superior en etapas posteriores del cultivo.

El fertilizante NPK también muestra un incremento considerable, de 0,234 $\mu\text{g/g}$ en el Momento 1 a 6,772 $\mu\text{g/g}$ en el Momento 2. Aunque menos efectivo que el caldo de rizósfera y el humus, este tratamiento confirma la capacidad de los fertilizantes químicos para proporcionar nutrientes esenciales de manera inmediata, lo que se refleja en un incremento sustancial en la producción de clorofila. Sin embargo, su menor efectividad relativa podría estar relacionada con una rápida lixiviación o la falta de componentes orgánicos que promuevan una absorción más sostenida de los nutrientes.

En síntesis, el análisis comparativo del contenido de clorofila total pone de manifiesto las ventajas de los tratamientos orgánicos, especialmente el humus y el caldo de rizósfera, en la promoción de una alta eficiencia fotosintética y una calidad superior de las plántulas. La capacidad de estos biofertilizantes para favorecer la acumulación de clorofila está directamente asociada con su aporte nutricional balanceado y su capacidad para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del sustrato (Baca, Soto, & Pardo, 2000) y (Lara, 2009). Por otro lado, aunque los fertilizantes químicos como el NPK son efectivos en el corto plazo, sus beneficios parecen ser inferiores en comparación con las alternativas orgánicas en términos de sostenibilidad y mejora integral de la planta. Este análisis subraya la importancia de considerar las necesidades específicas de cada etapa de desarrollo del cultivo y las características del sustrato al seleccionar el fertilizante más adecuado.

Al integrar estos hallazgos, se puede argumentar que las alternativas de biofertilización evaluadas son prometedoras para la producción sostenible de cebolla en condiciones de invernadero. Los resultados del porcentaje de germinación a la semana 4 también apoyan esta afirmación, mostrando tasas superiores al 90 % para todos los tratamientos con biofertilizantes, frente al 83,33 % del control. La gallinaza, aunque efectiva en varios parámetros, presenta algunas desventajas en términos de manejo y posibles problemas fitosanitarios, como la atracción de trips, lo que requiere atención especial. Adicionalmente, se observa que los biofertilizantes reducen la dependencia de fertilizantes químicos, lo que coincide con la información proporcionada en el archivo adjunto sobre los efectos adversos de los agroquímicos en la estructura del suelo y la biodiversidad.

Estos resultados concuerdan con estudios previos que resaltan las ventajas de los abonos orgánicos sobre los fertilizantes químicos. Por ejemplo, las investigaciones de (Méndez & Viteri, 2007) y (Pazos & Geovany, 2009), subrayan que los biofertilizantes mejoran las propiedades físicas y químicas del suelo, lo que coincide con los resultados observados en este estudio. Adicionalmente, el análisis económico resalta que los biofertilizantes son opciones más accesibles y sostenibles en comparación con los fertilizantes químicos, alineándose con las metas de desarrollo sostenible en la agricultura.

Un estudio relevante es el de (Mohamed, y otros, 2022), que evaluó la aplicación de biofertilizantes junto con diferentes niveles de potasio, observando que la combinación de biofertilizantes con dosis reducidas de fertilización química mejoró el rendimiento del cultivo sin comprometer la calidad del bulbo. En este sentido, los resultados obtenidos en Machetá respecto al uso del humus líquido y del caldo de rizosfera como sustitutos parciales de los fertilizantes

químicos encuentran respaldo en la literatura científica, ya que estos tratamientos han mostrado beneficios en la absorción de nutrientes y el equilibrio del suelo.

Finalmente, los resultados obtenidos en la investigación llevada a cabo son consistentes con los hallazgos de estudios previos sobre el impacto de la biofertilización en la producción de cebolla. La evidencia sugiere que los biofertilizantes pueden sustituir parcial o completamente los fertilizantes químicos sin afectar significativamente el rendimiento del cultivo, siempre que se utilicen en combinación con prácticas agronómicas adecuadas. Además, los beneficios en términos de sostenibilidad del suelo y reducción de costos respaldan la viabilidad de su adopción en sistemas agrícolas.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Dando respuesta al objetivo de esta investigación se evidencia que los resultados obtenidos para el porcentaje de germinación, la calidad del crecimiento posterior a la germinación resulta ser el factor diferenciador más relevante. Adicionalmente, la gallinaza destaca por su impacto en la acumulación de biomasa, mientras que el humus y el caldo de rizósfera ofrecen beneficios adicionales para la salud del suelo y el desarrollo radicular. De acuerdo con lo mencionado anteriormente se logra confirmar que los porcentajes de germinación obtenidos se encuentran por encima del valor mencionado en la ficha técnica del material vegetal y que esto conlleva a obtener una mayor área sembrada.

El análisis de los indicadores fisiológicos del crecimiento vegetal, como la tasa de crecimiento relativo (TCR), la tasa de asimilación neta (TAN) y el índice de área foliar (IAF), revela diferencias significativas entre los tratamientos aplicados. En el caso de la TCR, el control mostró un desempeño alto (0.108 g/g día), probablemente explicado por las reservas iniciales de las semillas. Sin embargo, los tratamientos con biofertilizantes destacaron por su sostenibilidad a largo plazo. El caldo de rizósfera presentó un valor competitivo (0.043 g/g día), evidenciando su capacidad para equilibrar la actividad microbiana con la disponibilidad de nutrientes.

El humus mostró la TAN más alta (0.0374 g/cm² día), superando al control y al NPK. Se demuestra la eficiencia del humus en la fotosíntesis, al proveer nutrientes esenciales y compuestos bioactivos que optimizan el uso de recursos disponibles. En contraste, la gallinaza, aunque eficiente en TCR, presentó limitaciones en TAN debido a posibles desequilibrios de salinidad.

El IAF, como indicador de la eficiencia fotosintética global, fue más alto en el tratamiento con caldo de rizósfera (30.49). Esto resalta su potencial para maximizar la producción de biomasa

al mejorar la capacidad fotosintética de las plántulas. Este resultado también sugiere que los microorganismos benéficos no solo mejoran la fertilidad del suelo, sino que también promueven un desarrollo estructural y funcional equilibrado.

Estos resultados destacan que los biofertilizantes, particularmente el humus y el caldo de rizósfera, ofrecen ventajas fisiológicas sostenibles en comparación con los fertilizantes químicos, cuyos beneficios parecen limitarse a un corto plazo.

El análisis de pigmentos fotosintéticos respalda la eficacia de los biofertilizantes, particularmente del humus y el caldo de rizósfera, como alternativas sostenibles para mejorar la eficiencia fotosintética en plántulas de cebolla. En particular, el humus se destacó al mostrar el contenido más alto de clorofila total ($4.0 \mu\text{g/g}$), lo que evidencia su capacidad para mejorar la síntesis de estos pigmentos esenciales.

El caldo de rizósfera también sobresalió, alcanzando valores competitivos de clorofila total ($3.9 \mu\text{g/g}$). Este resultado confirma su efecto positivo en la promoción de la actividad fotosintética, posiblemente debido a la acción de microorganismos fijadores de nitrógeno y promotores del crecimiento vegetal. Por otro lado, la gallinaza presentó valores más bajos en comparación con el humus y el caldo de rizósfera, lo que podría estar relacionado con un manejo inadecuado que genera estrés fisiológico en las plántulas.

Han sido muchos los estudios realizados a lo largo de los años y que demuestra que la implementación de algunos abonos orgánicos (estiércol de bovino, caprino, gallinaza, etc.) son beneficiosos y demuestran la viabilidad de la implementación de biofertilizantes en diferentes cultivos y en la agricultura.

En el estudio se demostró que en nueve de los indicadores evaluados el caldo de rizosfera presente los valores más altos, por tanto, todo parece indicar, que este biofertilizante es una alternativa viable para el cultivo de Cebolla en etapa de germinación y durante los primeros 60 días, también teniendo en cuenta los beneficios nutricionales en la planta y el suelo.

RECOMENDACIONES

Se sugiere que para próximos estudios se tenga en cuenta el establecimiento de un plan de manejo integrado de plagas y enfermedades sobre el cultivo y así mismo, tratamiento previo del sustrato, evitando la aparición de errores experimentales por variables no controladas.

Realizar evaluación económica que determine la viabilidad de las opciones de fertilización, considerando la relación costo-beneficio y los rendimientos en número de plántulas del cultivo.

Investigaciones futuras deben evaluar los efectos causados por los biofertilizantes enfocados en las posibles alteraciones a los parámetros fisiológicos y biológicos en el resto del ciclo de producción de la cebolla de bulbo, es decir, posterior al transplante.

9. REFERENCIAS

- Abonos Conagrícola. (2020). Ficha Técnica gallinaza compostada. <https://www.abonosconagricola.com/PDF/DOCUMENTOS-PAGINA-WEB/PRODUCTOS/GALLINAZA-COMPOSTADA/FICHA-TECNICA-GALLINAZA-COMPOSTADA.pdf?t=1599491004>
- Afanador, L., (2017). Biofertilizantes: conceptos, beneficios y su aplicación en Colombia. *Ingeciencia*, 2(1), 65–76. Recuperado a partir de <https://revistas.ucentral.edu.co/index.php/Ingeciencia/article/view/2353>
- AGRONET, Ministerio de Agricultura. (2019). Los nutrientes del suelo N,P,K. <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Los-nutrientes-del-suelo-N,-P,-K.aspx>
- AGRONET, Ministerio de Agricultura (2022). Abonos orgánicos, aliados de la agricultura sostenible. <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Abonos-org%C3%A1nicos,-aliados-de-la-agricultura-sostenible.aspx>
- AGRONET, Ministerio de Agricultura. (2022). Reporte: Área, producción y rendimiento nacional por cultivo. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Agudelo, M. & Casierra. (2004). Efecto de la micorriza y gallinaza sobre la producción y la calidad de cebolla cabezona (*Allium cepa* L) yellow granex.
- Aguiñaga-Bravo, A., Medina-Dzul, K., Garruña-Hernández, R., Latournerie-Moreno, L., & Ruíz-Sánchez, E. (2020). Efecto de abonos orgánicos sobre el rendimiento, valor nutritivo y capacidad antioxidante de tomate verde (*Physalis ixocarpa*). *Acta universitaria*, 30. Doi: <https://doi.org/10.15174/au.2020.2475>
- Ahamed, E., & Bayoumi, Y. (2013). Effect of magnetic field on seed germination, growth and yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Revista asiática de ciencia de cultivos*, Vo 5 (3), 2013, 286-294. <https://doi.org/10.3923/ajcs.2013.286.294>
- Alarcón, K. (2017). Evaluación de desarrollo y producción del cultivo de cebolla de bulbo aplicando tecnologías de sistemas de acolchado y riego por goteo para el municipio de Chipaque Cundinamarca. Biblioteca Universidad de Cundinamarca Extensión Facatativá, 55.
- Alarcón, A. & Gaviria, J. (2016). Sistema de información para los agricultores de cebolla cabezona vereda Siatame-Municipio de Sogamoso. [Repositorio.uptc.edu.co](https://repositorio.uptc.edu.co)
- Álvarez, B. (2008). Los biofertilizantes como complementos en la nutrición de los cultivos en el sistema de agricultura urbana. *Agrotecnia de Cuba*, 32(2), 1-10.
- Álvarez, C., Kari, A., Echegaray, N., Huaraca, R., Flores, N. & Barreto, J. (2022). Efecto de biofertilizantes en la fase vegetativa del cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.). C&T Riqchary.

- Revista de investigación en ciencia y tecnología 4(1):33-38. [https:// 10.57166/riqchary/v4.n1.2022.86](https://10.57166/riqchary/v4.n1.2022.86)
- Anaya M., & Guzmán T.M y Acea C.M. (2011). El campo magnético aplicado a la industria alimentaria. Publitec S.A, Argentina, Pp 3-4.
- AOAC. (1990). Métodos oficiales de análisis de la AOAC, 15ª ed. Métodos 932.06, 925.09, 985.29, 923.03. Asociación de químicos analíticos oficiales. Arlington, Virginia, Estados Unidos.
- Araujo, S. & Collahuazo, Y. (2019). Producción de biofertilizantes a partir de microalgas. CEDAMAZ. Revista del Centro Delaware Estudio y Desarrollo Delaware la Amazonia, Vo. 10, No. 02, 75–80.
- Arbolea, J. (2024). Crecimiento y fisiología de la cebolla.
- Arévalo, M., & Hernández, D. (2019). Estudio de los efectos del virus del mosaico de la cebolla en el rendimiento y la calidad del bulbo. Revista Colombiana de Fitopatología, 32(4), 210-215.
- Arjona, H., Herrera, J., Gómez, J., & Ospina, J. (2004). Evaluación de la aplicación de urea, melaza y aminoácidos sobre el crecimiento y rendimiento de la cebolla de bulbo (*Allium cepa* L. Grupo cepa) híbrido yellow granex, en condiciones de la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana*, 22(2), 177-184.
- Armenta, A., García, C., Camacho, J., Apodaca, M., & Nava, E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6, 51-56.
- Baca, B., Soto, U., & Pardo, M. (2000). Fijación Biológica de nitrógeno. SIDALC Alianza de servicios de información agropecuaria. Universidad autónoma de puebla.
- Barakade, A., Lokhande, T., y Todkari, G. (2011). Economía del cultivo de cebolla y su modelo de comercialización en el distrito de Satara, Maharashtra. *Revista Internacional de Ciencias Agrícolas*, 3 (3), 110. Bettoni, M., Mógor, Á., Kogerastki, J., & Pauletti, V. (2016). Onion (*Allium cepa* L.) seedling growth using humic substances. *Idesia*, 34(2), 57-62.
- Blanco, C., (2017). Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Manual de producción de cebolla. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/5c1bf71c-f85f-4c17-9f7b-c853b8d83b6e/content>
- Bonillo, M., Rivera, A., Álvarez, S., Hamity, V., Arias, M. (2014). Crecimiento de raíz principal en plántulas de zanahoria y cebolla pretratadas con abonos líquidos orgánicos y *trichoderma sp.* Vol. VIII, N°15, 56-61
- Cabrera, O., Diaz, A., Peña, J., & Vera, J. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Vo. 3 n° 6.

- Cáceres, K. (2017). Evaluación de dos formulaciones de fertilización química en forma edáfica en dos épocas de aplicación, con tres dosis de fertilización foliar, en el cultivo de cebolla colorada (*Allium cepa*. Var. *Burguesa*) (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Cáceres, J.M. & Suquilanda V., M.B., 2017. Evaluación del efecto de *Trichoderma harzianum* y *bocashi* en la producción de cebolla (*Allium cepa* L.) utilizando el método de investigación participativa en el canton Santa Isabel, Azuay como un sistema alternativo de producción [en línea]. S.l.: Universidad de Cuenca
- Carbonell, M., Guzmán, T., & Acea, C. (2004). influence of magnetically treated water on germination of signalgrass seeds. *Ciencia y tecnología de semillas* 32(2):617-619. <https://doi.org/10.15258/sst.2004.32.2.30>
- Carillo C, 2013. FERTILIZANTES, HISTORIA, DEFINICION Y OBTENCION. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Caracas Venezuela. 72 p.
- Castellanos, P. (1999). Manejo integrado del cultivo de cebolla de rama *Allium fistulosum* L., para el departamento de Risaralda. KIPDF
- Crespo-Garay, C. (2022). ¿Cuál fue el origen de la agricultura? <https://www.nationalgeographic.es/historia/2022/01/cual-fue-el-origen-de-la-agricultura>
- Cubero, D., & Vieira, M. (1999). Abonos Orgánicos y fertilizantes Químicos ¿Son Compatibles con la agricultura? <https://studylib.es/doc/5381743/abonos-org%C3%A1nicos-y-fertilizantes-qu%C3%ADMICOS-%C2%BFson-compatible...>
- Chaudhry UK, ZNÖ Gökçe, AF Gökçe (2020). Effects of salinity and drought stresses on the physio-morphological attributes of onion cultivars at bulbification stage. *Intl J Agric Biol* 24:1681–1691. DOI: 10.17957/IJAB/15.1611
- DANE. (2019). Encuesta Nacional Agropecuaria 2019. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena>
- DANE. (2022). Boletín Técnico N° 118 Insumos y factores de la producción agropecuaria (SIPSA_I). https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_abr_2022.pdf
- Díaz, A., Sánchez, M., & Martínez, P. (2022). Impacto de biofertilizantes sobre el desarrollo fisiológico y la absorción de nutrientes en semilleros de cebolla. *Journal of Agricultural Science*, 58(4), 422-431.
- Díaz, J., Pérez, A., Lewin, P., Requena, B., & Oteyza, S. (2006). Colombia: Nota de análisis sectorial. Agricultura y desarrollo rural. CAF, FAO. Retrieved from <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/655>

- Díaz, M., Duarte, G., & Plante, E. (2003). Manual práctico para el cultivo de girasol. Asociación Argentina de girasol- ASAGIR. <https://news.agrofy.com.ar/noticia/36895/manual-practico-para-el-cultivo-de-girasol>
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos tropicales*, 31(1).
- Drost, D., & Wille, C. (2018). Cebollas en el huerto. Universidad Estatal de Utah.
- El-Hadidi, E., El-Shazly, M., & Hegazy, H. (2016). Effect of N, P and Cu fertilization on onion yield, quality and nutrients uptake. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 7(2), 231-236.
- El semillero, s.f. Cebolla texas yellow grand 502 (semilla). https://www.elsemillero.co/shop/cebolla-texas-yellow-grand-502-semilla-2576#attribute_values=17
- Enciso, C., Pedro, V., Santacruz, A., & González, J. (2019). Guía Técnica de cultivo de cebolla. Universidad Nacional de la Asunción, 68. https://www.researchgate.net/publication/332233335_GUIA_TECNICA_CULTIVO_DE_CEBOLLA
- Estrada, M. (2005). Manejo y procesamiento de la gallinaza. *Lasallista de investigación*, 43-48. <https://repository.unilasallista.edu.co/items/9b15cecf-ba57-48a1-b8dd-617fe4ff5c95>
- Estrada, W., Elio, B., Álvarez, A., & Yariuska, M. (2015). Niveles de humedad en el suelo en la producción de bulbos de cebolla. *Agronomía mesoamericana*. Vo 26 n° 1.
- FAO. 2008. Tendencias y perspectivas mundiales de los fertilizantes hasta 2011/2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Italy, Rome. 171 p.
- FINAGRO, (2022). Agro Guía Marco de Referencia Agroeconómico cebolla de bulbo. <https://www.finagro.com.co/sites/default/files/2022-07/MRA-Cebolla-Boyaca-Sutamarchan-VilladeLeyva.pdf>
- Finck, A. (1984). Fertilizantes y fertilización ([edition unavailable]). Reverte. Retrieved from <https://www.perlego.com/book/2644485/fertilizantes-y-fertilizacin-pdf> (Original work published 1984)
- Flores, C. (2015). Evaluación de diferentes métodos para el control de *sclerotinia sp* en dos variedades de Cebolla Paiteña en el Cantón Bolívar, provincia del Carchi. Ecuador. Universidad técnica de Babahoyo
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Resolución No. 00150. Bogotá, 2003.
- Galindo- Pacheco, J. (2020). Cebolla de bulbo (*Allium Cepa* L.). Corporación colombiana de investigación agropecuaria (AGROSAVIA).
- García, G. (2019). Influencia de los abonos organicos sobre las propiedades de los suelos en el cultivo de maiz (*Zea mays* L.) (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB, 2019).

- García, M., Padrino, M. & Ramírez, E. (2005). Influencia de campos magnéticos estacionarios de 125mT y 250 mT en la germinación de semillas de girasol. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, (3), 34-39.
- Garrido Gómez, L. (2016). Parámetros de eficiencia fotosintética al final de la maduración como indicadores del potencial enológico del viñedo.
- Golubkina, N., Amalfitano, C., Sekara, A., Tallarita, A., Pokluda, R., Stoleru, V. & Caruso, G. (2022). Yield and bulb quality of storage onion cultivars as affected by farming system and nitrogen dose. *Scientia Horticulturae*, Vo 293.
- Gómez, D., & Vásquez, M. (2011). Abonos orgánicos. <https://metrocert.com/files/abonos%20organicos%2024-05-2011.pdf>
- Gonzalez, A. (2012). Botánica Morfológica. http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema3/tema3_2geofito.htm
- González, P. (2019). Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes.- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf
- Grageda, O., Díaz, A., Peña, J., & Vera, J. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), 1261-1274.
- Gutierrez, L. (2020). Alternativas para el uso y manejo adecuado de gallinaza cruda en los cultivos de cebolla larga- junca en el municipio de Aquitania – Boyacá.
- Hafez, E., & Gerics, L. (2018). Effect of nitrogen fertilization and biostimulative compounds on onion productivity. Repository of Iași University of Life Sciences, Romania.
- Huertas, L. (2008). El control ambiental en invernaderos: humedad relativa. *Hortícola*, 205, 52-54.
- Instituto Colombiano Agropecuario, 2004. Resolución 00375 del 2004. <https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-ica/resoluciones-oficinas-nacionales/resoluciones-derogadas/resolucion-375-de-2004.aspx>
- IDEAM (s.f). Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc>
- INTAGRI, S. (2022). Cómo enfrentar la crisis de los fertilizantes. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/como-enfrentar-la-crisis-de-los-fertilizantes-parte-1>

- INTAGRI, S.C. (s.f.). Fertilización nitrogenada en el cultivo de cebolla. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/fertilizacion-nitrogenada-en-el-cultivo-de-cebolla?p=registro>
- Isaac, E. (2011). El uso de los campos magnéticos en la agricultura: apostando por una agricultura sostenible. <https://es.scribd.com/document/394211992/El-Uso-de-Los-Campos-Magneticos-en-La-Agricultura-Apostando-Por-Una-Agricultura-Sostenible-Magnetismo-Aplicado>
- Jaramillo, S., Jaramillo, J., & Jaramillo, A. (1997). Estudio fenológico de tres tipos de cebolla de bulbo *Allium cepa* L. *Acta Agronómica*, 47(3), 16-25.
- Kazimierzczak, R., Średnicka-Tober, D., Barański, M., Hallmann, E., Góralaska-Walczak, R., Koczyńska, K., ... & Kaniszewski, S. (2021). The effect of different fertilization regimes on yield, selected nutrients, and bioactive compounds profiles of onion. *Agronomy*, 11(5), 883.
- Lara, C., (2009). Evaluación de diferentes abonos orgánicos (humus, humus líquido, vermicompost y casting) en la producción de forraje y semilla de *stipa plumeris* (paja de páramo). Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1057>
- León, D., (2017). Elaboración de una guía de planificación técnica y financiera para el cultivo de la cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.). estudio de caso.
- López, J., Rodríguez, F., & García, M. (2021). Manejo integrado de plagas en cultivos de cebolla: Un enfoque para mitigar pérdidas económicas. *Agroecología y Sostenibilidad*, 14(3), 45-59.
- Martínez, R. (2018). Los peligros de los fertilizantes químicos- Bio Eco Actual. <https://www.bioecoactual.com/2018/02/21/los-peligros-los-fertilizantes-quimicos/#:~:text=Los%20efectos%20de%20los%20fertilizantes,sobre%20los%20que%20se%20aplican.>
- Matiz, D. J., Villamil, E. O., & Torres, L. F. (2005). Comparación de la eficiencia de los abonos orgánicos con respecto a los abonos químicos en fertilización en el cultivo de toronjil (*Melissa officinalis*). *Tecnogestión: Una mirada al ambiente*, (2)1.
- Mayz-Figueroa, J. (2004). Fijación biológica de nitrógeno. *Revista Científica UDO Agrícola*, Vol. 4 N°1, 1-20.
- Méndez, M., & Viteri, S. E. (2007). Alternativas de biofertilización para la producción sostenible de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) en Cucaita Boyacá. *Agronomía colombiana*, 1-9.
- Mera Mera, N. A. (2014). Comportamiento agronómico de las hortalizas, cebolla de rama (*Allium fistulosum* L.), y cebolla colorada (*Allium cepa* L.), con dos fertilizantes orgánicos en el Centro Experimental La Playita de la UTC-ext La Maná. 2013.

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). Cadena de las Hortalizas. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Hortalizas/Documentos/2019-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Ministerio de Agricultura y desarrollo rural (2019). S3707-20200602 Plan OP Cebolla de bulbo.pdf. <https://sioc.minagricultura.gov.co/DocumentosContexto/S3707-20200602%20Plan%20OP%20Cebolla%20de%20bulbo.pdf>
- Ministerio de agricultura y desarrollo rural. (2021). El sector agropecuario creció 3,8% en el PIB del segundo trimestre de 2021. <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/El-sector-agropecuario-creci%C3%B3-3,8-en-el-PIB-del-segundo-trimestre-de-2021.aspx>
- Ministerio de agricultura y desarrollo rural. (2018). AGRONET. Reporte: Área, Producción y Rendimiento Nacional por Cultivo. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Ministerio de Agricultura y desarrollo rural, Página principal ministerio de agricultura y desarrollo rural. Resolución 00101 del 2022. <https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Resoluciones/RESOLUCI%C3%93N%20NO.%20000101%20DE%202022.pdf>
- Monomeros S.A – perfil proveedor. croper.com(s.f). Fertilizante NUTRIMON 13-26-6 x 50kg. https://croper.com/products/7822-13-26-6?utm_term=&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&utm_campaign=Anuncios%20Din%C3%A1micos%20V2&hsa_net=adwords&hsa_grp=107417211740&hsa_mt=&hsa_tgt=dsa-19959388920&hsa_kw=&hsa_src=s&hsa_acc=2598014817&hsa_cam=10818953657&
- Mora Cevallos, J.C., 2015. Abonos orgánicos en el cultivo de cebolla roja (*Allium cepa* L.) en la Finca Glantina Cantón Bue-nafe [en línea]. S.I.: Tesis de pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Návos, N. (2021). La agricultura familiar cebollera en el valle bonaerense del río colorado: organizaciones, problemáticas y expresiones de la desigualdad. argentina: universidad nacional de quilmes. vol. 11, núm. Esp.21. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/181/1811731003/index.html>
- Orozco, C., & Martínez, P. (2009). Evaluación de la inoculación con microorganismos fijadores de nitrógeno asimbióticos aislados de la rizósfera de *Pinus patula* en Colombia. *Bosque* (Valdivia), 30(2), 70-77.
- Ortiz, R. (2012). Banco interoamericano de desarrollo. Obtenido de <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36736182>
- Salazar, B., Palacios, J., (2022). “Respuesta agronómica del cultivo de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) a la aplicación de abonos edáficos en combinación con bioestimulantes foliares. ecuador.

- Sánchez, A., Sánchez, B., Trujillo, S. & Prado, G. (2018). Producción de Biofertilizante a partir de Desechos Agropecuarios y Materia Orgánica. Pag. 115-125.
- Peña, J., Sánchez, V., & Ríos, G. (2020). Impacto del ácaro *Tetranychus urticae* en la producción de cebolla en la región andina de Colombia. *Agricultura y Desarrollo Rural*, 36(2), 112-118.
- Pérez, J., Peña, E. & Torres, C: Efecto del nitrógeno y la irradiación en la eficiencia fotosintética del anamú *Petiveria alliacea* (Phytolaccaceae). *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 31 (118): 49-55, 2007. ISSN 0370-3908.
- Pinzón, E., Munevar, O., Cruz, E., & Torres, D. (2019). Efecto de una fuente alterna de fosforo en la producción de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) bajo condiciones de campo. *Revista de investigación agraria y ambiental, DIALNET*.
- Pinzón, H. (1996). *Agrosavia. Botánica, morfología y fisiología (ajo y cebollas)*. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/1566/38900_21812.pdf?sequence=1
- Portalfruticola.com. Manual básico de cultivo de la cebolla. Manejo y disponibilidad de variedades (2017). <https://www.portalfruticola.com/noticias/2017/11/06/manual-basico-de-cultivo-de-la-cebolla-manejo-y-disponibilidad-de-variedad-made-in-chile/>
- Rico, F. (2014). Campo magnético variable en semillas de brócoli (*Brassica oleracea* L.) bajo una perspectiva sistemática transdisciplinaria. México D.F.
- Rincón, J., & Zanguña, M. (2019). Análisis de grupo de las unidades productivas de cebolla de bulbo (*Allium Cepa* L.) en el distrito de riego del Alto Chicamoca (Drach). Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, Duitama.
- Rincon, J., Torres, E., Mondragón, A., Sánchez, M., Arana, A., Ortiz, A. & Jiménez, E. (2016). Caracterización fisicoquímica y funcional de la fibra de mesocarpio de coco (*Cocos nucifera* L.) Vol. 1, No. 2. 279-284
- Ruiz, C., Russián, T., & Tua, D. (2007). Efecto de la fertilización orgánica en el cultivo de la cebolla. *Agronomía Tropical*, 57(1), 7-14.
- Salazar, C., Lagos, L., Díaz, V.; Mora, S. & Betancourth, C. 2020. Caracterización de *Fusarium* spp. asociado con la pudrición basal de la cebolla de rama. *Revista. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 23(1). <http://doi.org/10.31910/rudca.v23.n1.2020.1471>
- Shaheen, A., Fatma, M., Rizk, A., & Singer, S. M. (2007). Growing onion plants without chemical fertilization. *Res. J. Agr. Biol. Sci*, 3(2), 95-104.
- Soto, E. (2005). El cultivo del girasol en Venezuela. *Revista Digital CENIAP Hoy*, 9.
- Suárez Rivero, D., Ortiz Aguilar, J., Marín Mahecha, O., Velásquez Perilla, P. E., Acevedo Pabón, P. A., & Santis Navarro, A. M. (2010). The Effect of Magnetic and Electromagnetic

- Fields on the Morpho-Anatomical Characteristics of Corn (*Zea mays* L.) during Biomass Production. Bogota D.C, Colombia.
- Suárez Rivero D., Marín Mahecha, O., Salazar Torres, V., Real, X., Ortiz Aguilar, J., & Suarez Rivero, M. (2017). Biomass Production And Morpho- Physiological Effects On Sunflower Plants (*Helianthus Annuus* L.) Under Induced Magnetics Fiels. Bogotá D. C, Colombia.
- Suárez Rivero D., Sua Villamil A.M., Marin Mahecha O., Mejia Teran A., Suarez Rivero M., Santis Navarro A.M., 2016, Evaluation of the effect of two types of fertilizer on the growth, development and productivity of hydroponic green forage oat (*Avena sativa* L.) and ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) as a biomass source, Chemical Engineering Transactions, 50, 385-390
- Suárez Rivero D., Ranzi, Eliseo & Costa, Mario & Marin, Olga & González, Abraham & Puentes, Esperanza & Ortiz Aguilar, Jannet. (2018). Composition and Behavior of Sunflower Seeds (*Helianthus annuus* L.) From Plants Treated with Magnetic Fields for Energy Potential Use of Biomass. Chemical Engineering Transactions. 64. 679 - 684. 10.3303/CET1865114.
- Suárez Rivero, D., Ortiz Aguilar, J., Marín Mahecha, O., Velásquez Perilla, P., Acevedo Pabón, P. A., & Santis Navarro, A. M. (2016). The Effect of Magnetic and Electromagnetic Fields on the Morpho-Anatomical Characteristics of Corn (*Zea mays* L.) during Biomass Production. Chemical engineering transactions, Vol. 50.
- Superintendencia de Industria y comercio. (s.f.). Estudios económicos sectoriales: Estudio sobre el mercado de fertilizantes inorgánicos en Colombia (2009 – 2018). <https://www.sic.gov.co/estudios-economicos-sectoriales>
- Tapia, M. (1999). El cultivo de la cebolla. SIDALC Alianza de servicios de información agropecuaria.
- Tamo Z. (2010). La influencia del nitrógeno y el diámetro de bulbillo en el rendimiento de cebolla, (*Allium cepa* L.), Cv Roja Camaneja para la campaña de otoño en el valle de Camana. Tesis Mg Sc. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Tello, E., & Garrabou, R. (2007). La evolución histórica de los paisajes mediterráneos: algunos ejemplos y propuestas para su estudio. *Territorios, paisajes y lugares: trabajos recientes de pensamiento geográfico, coordinado por Valerià Paül i Carril y Joan Tort i Donada*, 19-64.
- Tomes, A. V., Gort, D. G., & Veiga, D. P. (2017). Agroproductive Behavior of Four Onion Varieties (*Allium cepa*) in Suburban Arid Lands in Camalote, Camaguey, Cuba. *Agrisost*, 23(2), 66-71.
- Umajinga, C. D. (2021). Evaluación de tres abonos orgánicos (estiércol de bovino, cuyaza y humus), con dos dosis de aplicación en el cultivo de cebolla perla (*Allium cepa* L), en el sector de salache. Latacunga. Cotopaxi. 2021. Latacunga, Ecuador.

Vargas, N., & Casierra, F. (2015). Fisiología del crecimiento y la nutrición en cebolla de bulbo (*Allium cepa* L. hib. 'Yellow Granex') en Condiciones Tropicales.

Venancio, J., Da Silva, N., De Medeiros, J., de Moraes, P., do Nascimento, C., de Sousa, O., & da Silva, S., (2022). Yield and morphophysiology of onion grown under salinity and fertilization with silicon. *Scientia Horticulturae*, 301, 111095.

Vessey, J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*. 255:571-586.

YARA. (2022). Fertilizantes, complejos granulares NPK. <https://www.yara.com.co/nutricion-vegetal/productos/otros-productos/triple-15-15-15/>