EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE SUSTRATOS ORGÁNICOS ALTERNATIVOS COMO SUSTITUTOS DE LA TURBA EN LA PLANTULACIÓN DE TOMATE

SANTIAGO CORREAL CORTÉS
JUAN PABLO RIVERA AVILA

CC BY NC

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO
2023

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE SUSTRATOS ORGÁNICOS ALTERNATIVOS COMO SUSTITUTOS DE LA TURBA EN LA PLANTULACIÓN DE TOMATE

SANTIAGO CORREAL CORTÉS
JUAN PABLO RIVERA AVILA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de ingeniero ambiental

DIANA ESPERANZA GOMÉZ GOMÉZ
Director

MSc. ANGELA MARÍA SASTOQUE SALCEDO
Codirector

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO
2023

Autoridades Académicas

P. JOSÉ GABRIEL MESA ANGULO, O. P.
Rector General

P. EDUARDO GÓNZALEZ GIL, O. P.
Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ANTONIO BALAGUERA CEPEDA, O. P.
Rector Sede Villavicencio

P. RODRIGO GARCIA JARA, O. P.
Vicerrector Académico Sede Villavicencio

MSc. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN
Secretaria de División Sede Villavicencio

MSc. WILLIAM PEÑARANDA ZÁRATE
Decano de la Facultad de Ingeniería Ambiental

Agradecimientos

Agradecemos a Dios por darnos la fortaleza y vida, para culminar esta etapa de nuestras vidas, y por poner personas en nuestro camino que fueron esenciales para llevar a cabo este trabajo, como nuestra Directora Angela Maria Sastoque Salcedo, quien guio y puso a nuestra disposición todo su conocimiento para ser guía y vocera de nuestro proyecto, además de ser la conexión con Bioagro y Biomio, empresas que nos brindaron su apoyo económico y científico para la ejecución de nuestro trabajo de grado. Agradecer a Diana Esperanza Gómez Gómez, por tomar el riesgo de ser nuestra codirectora en un lapso demasiado corto. Por último, pero no menos importante, al señor Arnulfo Anzola habitante de la zona rural de Villavicencio que nos llenó de su experiencia de los trabajos del campo y nos brindó su apoyo en la realización de nuestro trabajo. También a la Universidad Santo Tomás de Aquino por darnos valores éticos y morales en el campo profesional, por la excelente formación académica y por facilitar el uso de las herramientas y laboratorios necesarios para la investigación.

Agradezco a mis padres Sandra Cortés Diaz y Arduz Correal Parra, por brindarme siempre su apoyo y hacer grandes esfuerzos para que yo sea profesional; a mi hermana Maria Paula Correal Cortés, por su compañía a lo largo de esta etapa y ser mi motor de vida. A mi tío William Enrique Cortés y su familia por ser un gran apoyo para mí y mi familia en mi etapa universitaria. - ***Santiago Correal Cortés.***

Quiero agradecer a mi madre Johana Ávila Bejarano y padre Gildardo Rivera Mendoza por brindarme los recursos necesarios para estudiar y formarme como profesional, también por ser un apoyo constante en todo mi proceso educativo, A mis hermanos Marlon Rivera Ávila y Michell Rivera Ávila por ser excelentes profesionales en sus respectivas carreras, que me incentivan a mejorar cada día. – ***Juan Pablo Rivera Ávila.***

Contenido

Pág.

Resumen 13
Abstract 14
1. Introducción 15
2. Objetivos 17
1.1 Objetivo General 17
1.2 Objetivos específicos 17
3. Antecedentes 18
4. Marco de referencia 21
4.1 Marco Teórico 21
4.2 Marco Conceptual 22
4.3 Marco Legal 24
5. Metodología 26
5.1 Fase I: Generación del Sustrato. 27
5.1.1 Actividad 1: tratamiento de los residuos vegetales. 27
5.1.2 Actividad 2: concentración del sustrato. 28
5.1.3 Actividad 3: Aplicación del DBCA. 29
5.1.4 Actividad 4: Desarrollo de la siembra. 31
5.1.5 Actividad 5: Medición de variables morfológicas, químicas y organolépticas. 31
5.2 Fase II: Comparación morfológica del sustrato 32
5.2.1 Actividad 1: Desarrollo del refuerzo mineral y aplicación DBCA. 32
5.2.2 Actividad 2: Desarrollo de la siembra. 34
5.2.3 Actividad 3: Frecuencia de la medición de variables morfológicas y químicas. 35
5.2.4 Actividad 4: Análisis estadístico ANOVA y Tukey (0,05). 35
5.3 Fase III: Determinación de las condiciones físicas, químicas y biológicas. 35
5.3.1 Actividad 1: Pruebas de laboratorio. 35
5.3.2 Actividad 2: Medición de condiciones físicas. 35

5.3.3 Actividad 3: Medición de las condiciones químicas..... 36
5.3.4 Actividad 4: Condiciones Biológicas..... 36
6. Resultados y análisis 37
6.1 Fase I: Primer sesgo de la comparación de las variables y condiciones a los 15 días de siembra 37
6.1.1 Comparativa de las variables de las plántulas en sustrato a base de tusa de palma 37
6.1.2 Comparativa de las variables de las plántulas en sustrato a base de cascarilla..... 40
6.1.3 Comparativa de las variables de las plántulas en sustrato a base de raquis de plátano 42
6.1.4 Comparativa de las variables de las plántulas en sustrato a base de tusa, cascarilla y raquis 45
6.2 Fase I: Segundo sesgo de la comparación de las variables y condiciones a los 30 días de siembra 48
6.2.1 Comparación de las variables morfológicas a los sustratos seleccionados..... 48
6.2.2 Inspección Organoléptica..... 50
6.2.3 Inspección de adaptación en suelo 52
6.3 Fase II: Prueba experimental del sustrato seleccionado con variantes nutricionales 52
6.3.1 Condiciones morfológicas del sustrato de control (turba), el sustrato seleccionado y las variantes nutricionales 53
6.3.1.1 Porcentaje de emergencia de las semillas de las pruebas finales. 53
6.3.1.2 Número de hojas verdaderas de las pruebas finales. 54
6.3.1.3 Longitud radicular de las pruebas finales. 56
6.3.1.4 Altura del tallo de las pruebas finales. 57
6.3.1.5 Diámetro del tallo de las pruebas finales.. 58
6.4 Fase III: Condiciones físicas, químicas y biológicas de las pruebas finales 59
6.4.1 Contenido relativo de clorofila de las pruebas finales 59
6.4.2 Características y composiciones fisicoquímicas de las pruebas finales..... 60
6.4.3 Fracción mineral del sustrato seleccionado y las variantes nutricionales. 63
6.4.4 Condiciones biológicas de las pruebas finales 64
6.4.4.1 Bacillus Thuringiensis. 65
6.4.4.2 Trichoderma. 65

6.4.4.3 Mantillo de bosque. 66
7. Impacto social y humanístico del proyecto 67
8. Discusión de Resultados 68
Conclusiones 69
Recomendaciones 71
Referencias 72
Anexos 78

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Marco legal, Normatividad asociada al proyecto. 24
Tabla 2. Recolección y tratamiento de residuos. 27
Tabla 3. Composición de los sustratos. 29
Tabla 4. Normas de calidad de la plántula. 32
Tabla 5. Composición de los sustratos finales. 33
Tabla 6. Parámetros químicos promedio de las combinaciones a base de tusa. 39
Tabla 7. Parámetros químicos promedio de las combinaciones a base de cascarilla de arroz. 42
Tabla 8. Parámetros químicos promedio en sustrato a base de raquis. 44
Tabla 9. Parámetros químicos promedio en sustrato a base de tusa, cascarilla y raquis. 47
Tabla 10. Parámetros químicos promedio de los sustratos seleccionados. 50
Tabla 11. Comparación fotográfica turba vs sustratos seleccionados. 51
Tabla 12. Composición del sustrato seleccionado y las variantes nutricionales. 53
Tabla 13. Caracterización y composición de materiales orgánicos sólidos. 60
Tabla 14. Caracterización de la fracción mineral. 63

Lista de figuras

Pág.

Figura 1. Esquema metodológico del trabajo de grado. 26
Figura 2. Esquema de la distribución del ensayo en campo pruebas iniciales. 30
Figura 3. Esquema de la distribución del ensayo en campo de las pruebas finales. 34
Figura 4. Porcentaje de emergencia de semillas en sustrato a base de tusa de palma. 37
Figura 5. Parámetros morfológicos de la plántula en sustrato a base de tusa. 38
Figura 6. Porcentaje de emergencia de la semilla en sustrato a base de cascarilla. 40
Figura 7. Parámetros morfológicos de la plántula en sustrato a base de cascarilla. 41
Figura 8. Porcentaje de emergencia de la semilla en sustrato a base de raquis. 42
Figura 9. Parámetros morfológicos de la plántula en sustrato a base de raquis. 43
Figura 10. Porcentaje de emergencia de la semilla en sustrato a base de tusa, cascarilla y raquis. 45
Figura 11. Parámetros morfológicos de la plántula en sustrato a base de tusa, cascarilla y raquis. 46
Figura 12. Porcentaje de emergencia de la semilla en sustratos seleccionados. 48
Figura 13. Parámetros morfológicos de la plántula en sustratos seleccionados. 49
Figura 14. Porcentaje de emergencia de la semilla del sustrato de control, sustrato seleccionado y las variantes nutricionales. 53
Figura 15. Número de hojas verdaderas de las plántulas *del* sustrato de control, sustrato seleccionado y las variantes nutricionales. 55
Figura 16. Longitud radicular de las plántulas del sustrato de control, sustrato seleccionado y las variantes nutricionales. 56
Figura 17. Altura del tallo promedio del sustrato de control, sustrato seleccionado y las variantes nutricionales. 57
Figura 18. Diámetro del tallo promedio de las plántulas del sustrato de control, sustrato seleccionado y las variantes nutricionales. 58
Figura 19. Contenido relativo de clorofila de las plántulas del sustrato de control, sustrato seleccionado y las variantes nutricionales. 59
Figura 20. pH promedio del sustrato de control, sustrato seleccionado y las variantes nutricionales. 62

Lista de Anexos

Pág.

Anexo 1. Comparación fotográfica de adaptación en suelo de turba vs C2. 78
Anexo 2. Comparación fotográfica de adaptación en suelo de turba vs T1. 78
Anexo 3. Comparación fotográfica de adaptación en suelo de turba vs R2. 78
Anexo 4. Comparación fotográfica de adaptación en suelo de turba vs B6. 78
Anexo 5. Informe del análisis de resultados físicos, químicos y fracción mineral del sustrato C2. 79
Anexo 6. Informe del análisis de resultados físicos, químicos y fracción mineral del sustrato CD. 80
Anexo 7. Informe del análisis de resultados físicos, químicos y fracción mineral del sustrato CC. 81
Anexo 8. Análisis de varianza para la variable de emergencia de la semilla en el día 10 después de la siembra. 82
Anexo 9. Prueba TUKEY (0,05) de la variable emergencia de la semilla en el día 10 después de la siembra. 82
Anexo 10. Análisis de varianza para el número de hojas verdaderas en el día 20 después de la siembra. 82
Anexo 11. Prueba TUKEY (0,05) del número de hojas verdaderas en el día 20 después de la siembra. 83
Anexo 12. Análisis de varianza para el número de hojas verdaderas en el día 30 después de la siembra. 83
Anexo 13. Prueba TUKEY (0,05) del número de hojas verdaderas en el día 30 después de la siembra. 84
Anexo 14. Análisis de varianza para la variable de longitud radicular en el día 10 después de la siembra. 84
Anexo 15. Prueba TUKEY (0,05) de la variable de longitud radicular en el día 10 después de la siembra. 84

Anexo 16. Análisis de varianza para la variable de longitud radicular en el día 20 después de la siembra. 85
Anexo 17. Prueba TUKEY (0,05) de la variable de longitud radicular en el día 20 después de la siembra. 85
Anexo 18. Análisis de varianza para la variable de longitud radicular en el día 30 después de la siembra. 86
Anexo 19. Prueba TUKEY (0,05) de la variable de longitud radicular en el día 30 después de la siembra. 86
Anexo 20. Análisis de varianza para la variable de altura del tallo en el día 10 después de la siembra. 87
Anexo 21. Prueba TUKEY (0,05) de la variable de altura del tallo en el día 10 después de la siembra. 87
Anexo 22. Análisis de varianza para la variable de altura del tallo en el día 20 después de la siembra. 88
Anexo 23. Prueba TUKEY (0,05) de la variable de altura del tallo en el día 20 después de la siembra. 88
Anexo 24. Análisis de varianza para la variable de altura del tallo en el día 30 después de la siembra. 89
Anexo 25. Prueba TUKEY (0,05) de la variable de altura del tallo en el día 30 después de la siembra. 89
Anexo 26. Análisis de varianza para la variable de diámetro del tallo en el día 10 después de la siembra. 89
Anexo 27. Prueba TUKEY (0,05) de la variable de diámetro del tallo en el día 10 después de la siembra. 90
Anexo 28. Análisis de varianza para la variable de diámetro del tallo en el día 20 después de la siembra. 91
Anexo 29. Prueba TUKEY (0,05) de la variable de diámetro del tallo en el día 20 después de la siembra. 91
Anexo 30. Análisis de varianza para la variable de diámetro del tallo en el día 30 después de la siembra. 92

Anexo 31. Prueba TUKEY (0,05) de la variable de diámetro del tallo en el día 30 después de la siembra. 92
Anexo 32. Prueba de tamices. 93
Anexo 33. Prueba de laboratorio para la densidad aparente. 93
Anexo 34. Medición de las variables morfológicas de la plántula en el sustrato de control, sustrato seleccionado y variantes nutricionales. 93
Anexo 35. Medición del sustrato de control, sustrato seleccionado y variantes nutricionales. 94
Anexo 36. Elaboración de las 28 combinaciones de sustratos y el medio de control (turba). 94
Anexo 37. Siembra de semillas de tomate. 94
Anexo 38. Plántulas en el sustrato de control, sustrato seleccionado y variantes nutricionales durante su proceso de etiolación, y en los 10, 20 y 30 después de la siembra. 95
Anexo 39. Diseño de invernadero. 95
Anexo 40. Construcción de invernadero. 96
Anexo 41. Composición certificada de Diabasas 96

Resumen

La horticultura es una práctica agrícola, donde se cultivan hortalizas como el tomate, haciendo uso de la plantulación, una técnica cuya finalidad es optimizar los procesos de siembra de semillas en ambientes protegidos y controlados (viveros o invernaderos), buscando que se desarrolle un sistema radicular abundante y tallos robustos en los primeros estadios de crecimiento de la plántula (Sixto, 2018) (Sagastume, 2011). Por lo anterior, la práctica implica el uso de turba, un sustrato orgánico con características que aseguran el éxito en la plantulación (Sagastume, 2011). Sin embargo, la obtención de este sustrato acarrea consigo la intervención parcial de páramos, subpáramos y humedales, lo que convierte esta práctica agrícola en un obstáculo para un sistema agroalimentario resiliente y sostenible.

En consecuencia, este trabajo de grado evalúa la eficiencia de sustratos orgánicos alternativos como sustitutos de la turba en la plantulación de tomate, a través del uso de una metodología cuantitativa, descriptiva y exploratoria, donde se llevó a cabo la creación de 4 sustratos a base de residuos vegetales como la cascarilla de arroz, raquis de plátano y tusa de palma. Cada sustrato tenía 7 combinaciones para ampliar los candidatos a ser evaluados, con la finalidad de sesgar las opciones por medio de la comparación de variables morfológicas y condiciones fisicoquímicas con respecto a la turba en la fase de plantulación del tomate. De esta manera, se llevó a cabo hasta obtener el candidato más fuerte como sustituto, para proceder a añadir mejoras con minerales naturales y evaluar su potencial.

Se observó que el sustrato con concentración de 30% de cascarilla de arroz (C2) es el más favorable; sin embargo, se evidencio deficiencia en el desarrollo morfológico, por lo cual se optó por poner a prueba con un enriquecimiento mineral con diabasas o calfos, midiendo sus condiciones químicas, físicas, biológicas y morfológicas. Obteniendo que el sustrato enriquecido con diabasas (CD) tiene una similitud de un 80% a la turba y presenta variables superiores a está. lo que lo hace un sustrato viable para la sustitución de la turba en la plantulación de tomate. Por otra parte, el impacto socioambiental que causa este sustrato se ve reflejado en la protección de los servicios ecosistémicos y las finanzas del agricultor.

Palabras claves: Sustrato, turba, plantulación, tomate.

Abstract

Horticulture is an agricultural practice, where vegetables such as tomatoes are grown, making use of planting, a technique whose purpose is to optimize the processes of sowing seeds in protected and controlled environments (nurseries or greenhouses), seeking to develop an abundant root system and robust stems in the early stages of seedling growth (Sixto, 2018) (Sagastume, 2011) (Sagastume, 2011). Because of the above, the practice involves the use of peat, an organic substrate with characteristics that ensure successful planting (Sagastume, 2011). However, obtaining this substrate entails the partial intervention of moorlands, submoorlands and wetlands, which turns this agricultural practice into an obstacle for a resilient and sustainable agrifood system.

Consequently, this degree work evaluates the efficiency of alternative organic substrates as substitutes for peat in tomato planting, through the use of a quantitative, descriptive and exploratory methodology, where the creation of 4 substrates based on vegetable residues such as rice husks, banana rachis and palm seedlings were carried out. Each substrate had 7 combinations to broaden the candidates to be evaluated, with the purpose of biasing the options through the comparison of morphological variables and physicochemical conditions with respect to peat in the tomato planting phase. In this way, it was carried out until the strongest candidate as a substitute was obtained, in order to proceed to add improvements with natural minerals and evaluate its potential.

It was observed that the substrate with a 30% concentration of rice husk (C2) was the most favorable; however, there was evidence of a deficiency in morphological development, so it was decided to test a mineral enrichment with diabase or calphos, measuring its chemical, physical, biological, and morphological conditions. Obtaining that the substrate enriched with diabase (CD) has a similarity of 80% to peat and presents variables higher than this, which makes it a viable substrate for the substitution of peat in tomato planting. On the other hand, the socio-environmental impact caused by this substrate is reflected in the protection of ecosystem services and the farmer's finances.

Keywords: Substrate, peat, planting, tomato.

1. Introducción

La producción mundial de hortalizas a lo largo de la última década (2010 a 2020) según FAO (2022) ha aumentado progresivamente alcanzando el volumen más elevado en el año 2020, donde se produjo a nivel mundial aproximadamente 1,150 millones de toneladas métricas. En Colombia se estimó una producción de 1,9 millones de toneladas, de la cuales el 30% es de cosecha de tomates (Minagricultura, 2015). Debido a que es una de las hortalizas de mayor producción y comercialización nacional, además de ser parte de la canasta familiar y ser sustento de miles de familias ubicadas en departamentos como Santander, Norte de Santander, Boyacá, Antioquia y Cundinamarca, su importancia para manejarla como cultivo sostenible se ve acrecentada (cámara de comercio de Bogotá,2015).

El tomate, es una hortaliza, cuyo desarrollo óptimo depende de realizar la siembra en invernaderos, donde se da la germinación de las plántulas en macetas con sustratos sin suelo para lograr tener un manejo del cultivo más controlado y eficiente (Sixto, 2018) (Minagricultura, 2021). Sustratos como arenas y gravas, rocas volcánicas, fibras de coco, compost y turba, son usados en la horticultura, sin embargo, el más usado es la turba debido a que es un material orgánico con excelentes características de porosidad y capacidad de retención de agua, lo cual beneficia el crecimiento de la plántula (Di Benedetto, 2007).

A pesar de ello, el uso de turba es insostenible, debido a su procedencia, la cual se extrae de ecosistemas con alta humedad como los páramos, subpáramos y humedales, ocasionando la emisión de 50 kg de dióxido de carbono (CO2) por cada metro cúbico de turba extraída, además de alterar las funciones del ecosistema como regulador hidrológico (Duarte, 2017). A esto se le suma que Colombia a pesar que extrae a niveles bajos la turba y exporta a países como Ecuador, Guatemala, Finlandia, Costa Rica e Israel, también importa grandes cantidades proveniente de países como Canadá, Letonia, Estonia, Lituania y Países Bajos, invirtiendo para el 2020 un total de $2,69 millones de dólares (OEC, 2023); de modo que aumenta el costo de este sustrato para los campesinos, y a su vez es proclive a desencadenar en un desequilibrio en el proceso biogeoquímico del carbono, ya que trayendo mayor materia orgánica se produce mayor dióxido de carbono (CO2) (Enrich Prast et al., 2018).

En Colombia, 35 de las turberas están en estado de degradación, como el pantano de Martos, ubicado en Guatavita, Cundinamarca, cuyas dinámicas hidrológicas y ecológicas están

siendo afectadas por el drenaje a causa de la explotación industrial relacionada con la extracción de turba, para darle uso como combustible y como sustrato en la horticultura (Duarte, 2017). Por lo cual, se estima, que se deben proteger 2.097.137 hectáreas de páramo que existen en el país, para no ver afectado especies de plantas (4.700), aves (154), mariposas (130), reptiles y anfibios (102) y mamíferos (70) que se aposentan en estos ecosistemas (Duarte, 2017).

En relación con las implicaciones, el presente trabajo de grado apunta a contribuir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, haciendo énfasis en el cumplimiento de las metas tales como "Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos" del objetivo 6 "agua limpia y saneamiento"; "ayudar a los países en desarrollo a fortalecer su capacidad científica y tecnológica para avanzar hacia modalidades de consumo y producción más sostenibles" del objetivo 12 "producción y consumo responsable" y "mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana" del objetivo 13 "acción por el clima" (Organización de las naciones unidas, 2023).

En consecuencia, es menester potencializar estudios para contribuir al desarrollo de un sistema agroalimentario sostenible y resiliente. Por ende la investigación se centra en el fortalecimiento de la producción de un sustrato alternativos sustituto de la turba como insumo base en la horticultura, y establece un sustrato capaz de generar una cadena de valor a partir de la utilización de material vegetal proveniente de monocultivos como el arroz, la palma de aceite y el plátano, para que con esto se logre reducir costos y biomasa con la finalidad de mitigar las emisiones de dióxido de carbono, el desbalance hídrico y a su vez beneficiar económicamente a los campesinos de la región (Agarwal et al., 2021), entregando un producto que aporte al mayor crecimiento radicular y nutricional de la plántula, y a la integridad ecosistémica que hay detrás del producto base.

2. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar la eficiencia de sustratos orgánicos a base de tusa de palma de aceite, raquis de plátano y cascarilla de arroz como sustitutos de la turba en la plantulación de tomate, por medio de la comparación progresiva de variables morfológicas y fisicoquímicas de los sustratos con respecto a la turba.

1.2 Objetivos específicos

- Obtener los sustratos vegetales que tienen potencial para sustituir la turba y efectuar su tratamiento para la adecuación en la generación del sustrato final.

- Comparar la eficiencia de los sustratos obtenidos con la turba mediante el análisis de características morfológicas de la plántula.

- Determinar las condiciones físicas, químicas y biológicas de los sustratos provenientes de los residuos vegetales y de la turba mediante pruebas de laboratorio.

3. Antecedentes

Dentro de las investigaciones pertinentes en torno a la generación de sustratos sustitutos a la turba se puede encontrar una serie de artículos que son base fundamental para el desarrollo del presente trabajo grado, en donde se contemplan a continuación en orden cronológico.

En Buenos Aires, Argentina, en el año 2007, un estudio realizado por la Universidad de Buenos Aires, publicado por Adalberto Di Benedetto, quién investigó y realizó una serie de estudios relacionados con sustratos alternativos para plantas ornamentales de calidad, teniendo como base la turba comercial de turberas de Argentina, turba canadiense *Sphagnum* y depósitos de afluentes argentinos. El estudio consistió en mezclar dos tipos de turba (argentina y *Sphagnum)* con los depósitos fluviales de lagos y ríos de Concordia, después se hizo una caracterización física y química para ver la diferencia de los parámetros. Finalmente, la investigación concluyó que, si es posible producir plantas de mayor calidad y buen desarrollo morfológico, sin embargo, se necesitan más estudios detallados del sustrato alternativo, ya que durante la investigación se dieron cuenta que una solución concentrada muy alta de fertiirrigación disminuye la calidad del sustrato (Di Benedetto, 2007).

Otro estudio planteado por Zheke Zhong, Fangyuan Bian y Xiaoping Zhang, con una publicación de revista titulada “cultivos y productos industriales” en el año 2018, se evalúa el potencial que tienen los residuos de bambú al ser compostado con salvado de trigo que fueron molidos y quedaron en un tamaño inferior a 3 mm, en una proporción 90:10 de volumen de residuos, ya que la relación de C/N era demasiado alta y no permitía una actividad microbiana. Luego de establecer la relación y realizar el compost en dos lotes de 2000 kg, cada lote tenía condiciones distintas con respecto a presencia de microorganismos efectivos y uno con la ausencia de estos, pero con el mismo contenido de compost. Al mismo tiempo realizaron diferentes mezclas de compost de bambú y trigo con turba comercial al 25%, 50%, 75% y un control positivo con 100% de turba en volumen para ver si había cambios notorios. Los resultados que obtuvieron indican que las plantas cultivadas en el lote 1 a concentraciones de 25% o 50% y el lote 2 a concentración del 25% no tuvieron diferencias significativas en tasas de crecimiento, diámetro del sustrato en comparación con el control positivo de turba. Por otra parte, mencionan que un uso efectivo de microorganismos aumenta la mineralización de los residuos, por lo que sugieren una

sustitución de la turba en proporciones del 25% con el sustrato proveniente de bambú y salvado de trigo (Zhong et al., 2018).

Asimismo, con un desarrollo metodológico similar al estudio anterior, presentado en la misma línea temporal (2018), se presenta una tesis elaborada por Jaime Javier Telenchana en la Universidad Técnica de Ambato de Ecuador, en donde realiza un estudio para evaluar un sustrato alternativo a base de cascarilla de arroz y compost en plantulaciones de pimiento *Capsicum annuum L.* en donde enmarca sustratos con diferentes proporciones de compost y cascarilla de arroz, presentados de la siguiente manera: cascarilla de arroz 100% (S1), cascarilla de arroz 50% + compost 50% (S2), compost 100% (S3) y turba comercial Pinstrup T. Luego de estipular las proporciones, inició un proceso de tratamiento con la cascarilla de arroz que consiste en remojar en agua periódicamente cada 2-3 días durante 20 días para remover contaminantes presentes como residuos de herbicidas, luego se prepararon los sustratos en las bandejas germinadoras de 2 cm x 2 cm e inició el proceso de observación. El estudio concluyó que el mejor sustrato fue el S2, puesto que tenía mayor crecimiento de la planta, número de hojas y sistema radicular, con unos índices de supervivencia mayor en contraste con los otros sustratos (Telenchana, 2018).

Dentro de las investigaciones se encuentra una realizada en Bogotá, Colombia, en el año 2019, donde la autora Ana Maria Espinosa de la Universidad de los Llanos evaluó el crecimiento del tomate GEM 604 F1 en turba comercializada y otro sustrato en fibra de coco, además se elabora un tercer sustrato con la mezcla de los dos anteriormente mencionados en proporciones (30:70 y 50:50 respectivamente). Con respecto a la siembra se utilizó una bandeja de 128 alveolos con 4 tipos de sustratos y 5 réplicas por cada uno, asimismo de forma aleatoria se seleccionaron 10 plántulas aleatoriamente y se midió el crecimiento del tallo y su diámetro, cantidad de hojas, efectividad de las plantas y porcentajes de emergencia de estas. En los resultados de la investigación se evidenció que el sustrato más favorable en los primeros días en cuanto a crecimiento y otros criterios mencionados anteriormente se presentaba en proporción de mezcla de 50:50 de turba y fibra de coco, sin embargo, las únicas plantas que lograron ser trasplantadas al suelo fueron con sustrato a base de turba. Por lo que la fibra de coco en este estudio no resultó ser un sustituto de la turba comercial (Espinosa, 2019).

Por último, en el año 2020, referentes a sustratos alternativos, la revista de la facultad de ciencias agrarias UNcuyo liderada por Maldonado J., realizó una investigación titulada “Pear and apple pomace compost in the production of tomato (*Lycopersicon esculentum Mill*.) seedlings”

que tuvo como objetivo principal evaluar si el compost proveniente de orujo de pera y manzana podrían sustituir el uso de sustratos comerciales en la plantulación de tomate. En resumen, esta investigación elaboró dos experimentos, en el primero se tuvo en cuenta tres sustratos, los cuales son: sustrato comercial (SC), mezcla de sustrato comercial y compost de orujo de pera y manzana (SC + C) y compost puro (C). Por otra parte, en el experimento 2 se utilizó un solo sustrato a base de compost y perlita (C + P). De modo que cada experimento se realizó en diferentes recipientes, para el primero se utilizó celdas de 100 centímetros cúbicos y para el segundo uno de 30 centímetros cúbicos. Finalmente, el estudio concluye que el experimento 2 fue uno de los más acertados en una relación de compost y perlita 3:1 v/v, lo que permite que este sustrato garantice altos niveles de supervivencia post trasplante por la calidad de las plántulas obtenidas en el proceso (Maldonado et al., 2020).

4. Marco de referencia

4.1 Marco Teórico

La horticultura es reconocida como un sistema de producción intensiva para mantener plántulas de calidad y administrar los recursos de manera eficiente, que se ve envuelta en una serie de impactos ambientales negativos directo e indirectos, como lo son: pérdida de los horizontes del suelo, alteración de las propiedades del suelo (condiciones fisicoquímicas), eutrofización hídrica, cambios en el paisaje natural, erosión por inestabilidad en lo taludes, entre otros, que alteran la condición inicial del área modificada y su dinámica natural (Vélez, 2015).

Por ende, la buena práctica en la horticultura depende de las prácticas agroforestales que se implementen, la escala y la tecnificación en producción y uso tecnológico, esto permite que estos impactos se minimicen (Vélez, 2015).

La producción de hortalizas como el tomate se ve desarrollada de la siguiente manera: primera etapa, consiste en el desarrollo de plántulas, en donde se optimiza y racionaliza las semillas utilizadas para la siembra y se planifica los métodos de siembra, para tener un desarrollo uniforme de las plantas. Segunda etapa, en donde se acondiciona el semillero para tener un control de exposición de las plántulas a la luz, temperatura, fitosanitarios y humedad para su óptimo desarrollo, y posteriormente sean aptas para trasplantar a tierra (abril, 2017).

Para llevar a cabo el desarrollo de plántulas, ésta se hace a través de sustratos, que pueden ser químicamente inertes o también llamados sustratos minerales como la arena, gravas y rocas volcánicas o químicamente activos como el compost, humus, fibra de coco, aserrín y turba.

Dicho material, cuentan con características específicas que promueven polivalentes eficiencias en el desarrollo de la plántula.

En el caso específico de la turba, esta posee propiedades físicas de granulometría entre 010 mm y humedad entre el 50 y 60%, por otro lado, se encuentran las propiedades químicas como pH 5,1-6, conductividad eléctrica entre 0,8 y 1,2 mS/cm. Este medio inocuo, comúnmente usado en agricultura, contiene suministros elevados de oxígeno y capacidad de retención de agua que permiten reducir el estrés de la planta por falta de agua y facilitar a la plántula extender sus raíces para captar mejor los nutrientes disponibles del sustrato (Agarwal et al., 2021) (Corpoica, 2012) (Escobar y Lee, 2009).

Sin embargo, el uso de sustratos como la turba acreciente problemáticas ambientales relacionados con el aumento de carbono en la atmósfera y desbalance hídrico, puesto que se ha identificado que la extracción de este material ocasiona dichas problemáticas y además pérdidas en los ecosistemas de turberas, lo cual ha generado que ambientalistas, investigadores, gobiernos, profesionales y empresas hortícolas recurren cada vez más al uso de materias sostenibles; donde el papel de los residuos vegetales es primordial para frenar esta degradación (Agarwal et al., 2021)(Alexander et al., 2008)(Duarte, 2017).

Es por ello, que investigadores a nivel nacional e internacional han presentado diferentes alternativas que sustituyan la turba, para prever afectaciones ecosistemas estratégicos. Como es el caso de Adalberto Di Benedetto en el 2007, que buscó una solución con residuos fluviales para trascender las técnicas de horticultura a una sostenibilidad ambiental (Di Benedetto, 2007).

De ese modo, varios investigadores empezaron a presentar sus ideas de sustratos alternativos, desde el uso del bambo, fibras de coco, arenas hasta que en el año 2018 el investigador Jaime Javier Telenchana incursionó en un sistema que permite recircular los residuos vegetales de cultivos indispensables como es el caso de la cascarilla de arroz, que presenta altos niveles de producción a nivel mundial y a su vez, fue estudiado como medio inocuo para sustituir la turba en centros de plantulación de tomate.

En los últimos 5 años, se han experimentado diferentes residuos vegetales, que para el caso del presente trabajo de grado se han planteado residuos vegetales dominantes de la región producto de los monocultivos, como es el caso de la tusa de palma de aceite, cascarilla de arroz y raquis de plátano (Vargas, 2013) (Telenchana, 2018) (Mondragón, 2018).

Considerando las diferentes investigaciones realizadas, el presente trabajo pretende incursionar a los 3 mecanismos de la agricultura ecológica en los sustratos alternativos planteados, que incluye adición de materia orgánica, minerales y microorganismos. Este último factor, contiene capacidades excepcionales que pueden sustituir cualquier agente xenobiótico, como es el caso de la *Trichoderma Hazairum*, Micorrizas y *Bacillus Thuringiensis*, 2 hongos y una bacteria que cumplen roles como agentes biológicos de control de plagas y acreedores de características que brindan beneficios en el desarrollo de la plántula.

4.2 Marco Conceptual

La **horticultura** es un campo más restringido de la agricultura, y se encarga de lograr el desarrollo y crecimiento de frutos, vegetales, hierbas y plantas ornamentales y frutales. Esta

actividad agrícola alberga prácticas especializadas ya sea según el cultivo o por el hecho de manejar pequeñas escalas de cultivos para el desarrollo de las plántulas que se dan en macetas sin suelo para mantener condiciones controladas de crecimiento (Sixto, 2018).

Las **turberas** son sistemas de humedales que se caracterizan por poseer una acumulación de materia orgánica de más de 30 cm en su superficie y que se encuentran en ecosistemas como páramo y subpáramo (Villela,2017), de donde se extrae la **turba**, la cual es un material orgánico con contenido alto de carbono que se forma por los restos de materia orgánica vegetal disgregada y descompuesta, proveniente de vegetación antigua que se encuentra sometida a condiciones ambientales de excesiva agua y escaso oxígeno. El resultado de este proceso es la obtención de la materia orgánica con gran potencial de combustible y un excelente sustrato en el sector de la horticultura para el desarrollo de las plántulas (Villela, 2017) (Núñez, 2009).

Por ende, el uso de turba como **sustrato** en la horticultura se intensifica, ya que es un medio material en que se desarrollan las raíces de la plántula limitando su volumen, proporcionando aireación al sistema radicular y agua constante, además de aislar la planta de cualquier patógeno del suelo favoreciendo el manejo del cultivo (Ortega et al., 2010).

Por otra parte, la **plantulación** juega un papel clave en la horticultura para darle cabida al uso de turba, ya que es entendido como el proceso de siembra de la **plántula**, denominada así a los primeros estadios de desarrollo de la planta, desde la germinación de la semilla hasta la aparición de las hojas verdaderas (Sagastume, 2011). Donde la eficiencia de crecimiento de estas plantas pueden ser medidas por medio de características morfológicas de la planta, tales como volumen radicular, hojas verdaderas, diámetro del tallo y elongación radicular e hipocótilo.

Debido al gran impacto ambiental que se genera por la extracción de la turba, se hace necesario la sustitución de este sustrato por uno que se más amigable con el medio ambiente, que de allí nace la idea de trabajar con **residuos vegetales** los cuales son la materia orgánica sobrante de toda actividad de producción y consumo vegetal como los cultivos, ejemplo la **tusa de palma de aceite**, la cual es el racimo vacío de palma que es producto de la separación física de los frutos en el proceso de desfrutado de los racimos (Andrade, 2019); el **raquis de plátano,** un residuo generado luego del corte del racimo de plátano(Ramírez et al., 2011); y la **cascarilla de arroz**, un subproducto generado del proceso de molienda del grano de arroz proveniente de los campos de cultivo. Es decir, que son la materia orgánica remanente de los cultivos de palma de aceite, plátano y arroz respectivamente (Vargas, 2013).

Para llevar a cabo el presente proyecto de grado, es necesario medir unas variables en la plántulas, para lograr analizar cuál de los residuos es más viable a la creación de un sustrato para la plantulación, para ello se midieron variables morfológicas como el altura y diámetro del tallo, elongación radicular y número de hojas verdaderas, además unas variables químicas como la **conductividad eléctrica,** que es un parámetro que permite medir la capacidad que tienen las soluciones acuosas para conducir corriente eléctrica, esto indica el materia ionizable, por lo general se expresa en micro Siemens por centímetro (µS/cm) siguiendo el Sistema Internacional de unidades (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (Smith y Doran, 1997); el **pH** es una escala que inicia desde 0 hasta 14 , en donde se indica los grados de alcalinidad (8-14), acidez (0-6)y neutralidad (7) en la que se encuentra una sustancia, importante en la medición de sustratos y suelos, debido a que afecta directamente la disponibilidad de nutrientes y por ende el desarrollo de plántulas (Smith y Doran, 1997) y los **índices de clorofila** presentes en las plantas, cuya variable se mide a través de un medidor de clorofila, el cual determina la cantidad relativa de clorofila presente, midiendo la absorbancia de la hoja a dos longitudes de onda (Shrestha et al, 2012).

4.3 Marco Legal

Tabla 1. *Marco legal, Normatividad asociada al proyecto.*

Normativa	Descripción	Aplicabilidad
Ley 165 de 1994	Por medio de la cual se aprueba el convenio sobre la diversidad biológica.	Dicta lineamientos para la utilización sostenible y la conservación in situ y ex situ, así como el desarrollo de evaluación de impacto y minimización de estos.
Resolución 769 de 2002	Por la cual se dictan disposiciones para contribuir a la protección, conservación y sostenibilidad de los páramos.	Plantea medidas de protección. conservación, manejo sostenible y restauración de los páramos.

Tabla 1. (Continuación)

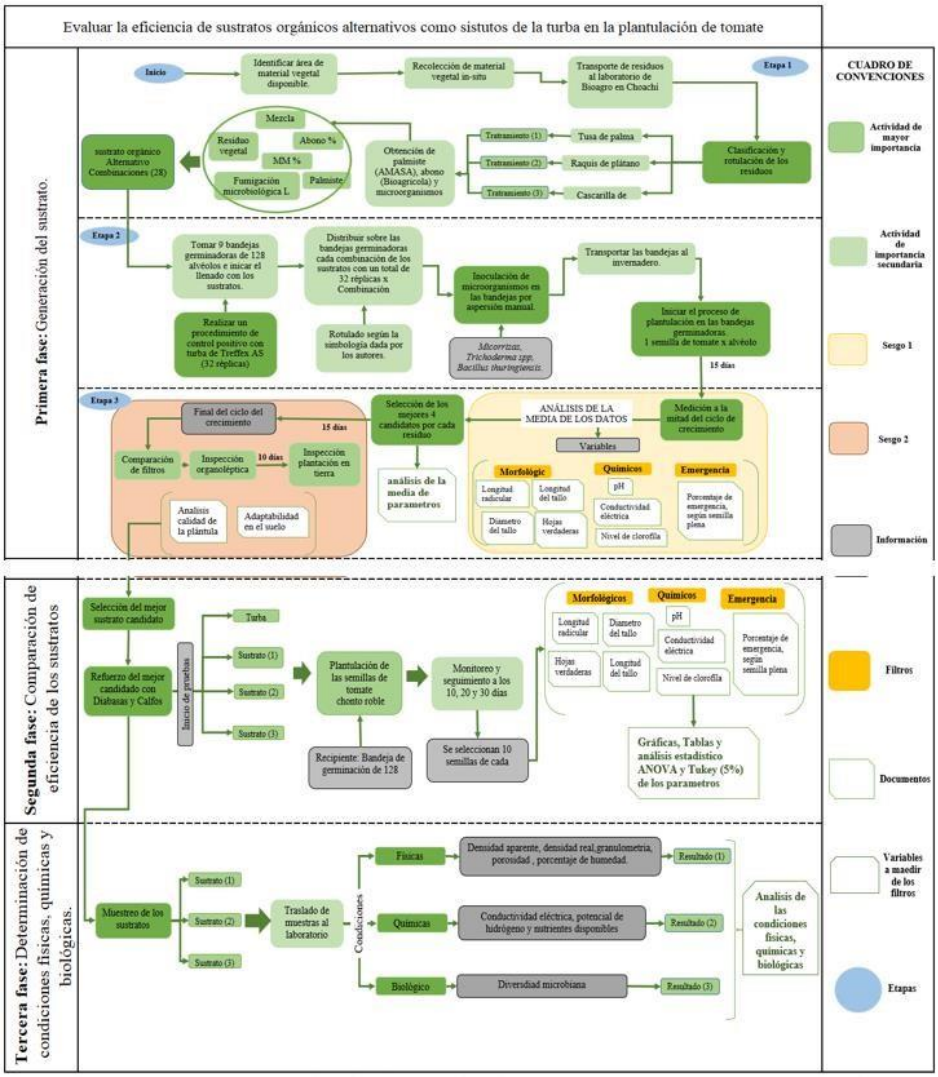
Resolución 375 de 2004	Por la cual se dictan las disposiciones sobre registro y control de bioinsumos y extractos vegetales de uso agrícola en Colombia.	Orientada a realizar uso y manejo pertinente de bioinsumos y extractos vegetales que son producidos, comercializados a nivel nacional e internacional, además, tener claridad con el uso de estos con la finalidad de minimizar y prevenir daños ambientales, a la salud humana y sanidad agropecuaria.
Ley 1930 de 2018	Por medio de la cual se dictan disposiciones para la gestión integral de páramos en Colombia.	Rige la aplicabilidad y prohibiciones de un proyecto, obra y actividad en los páramos. Por ende, debe estar sujeta a los planes de manejo ambiental y tener en cuenta criterios para no perjudicar el ecosistema en su ámbito ambiental.

Nota: Normatividad legal vigente de procesos conservación de páramos y registro y control de bioinsumos..

5. Metodología

Se implementó una metodología cuantitativa, con un método descriptivo y exploratorio, con uso de herramientas digitales como Excel statistics (ANOVA) para medir las varianzas entre grupos de datos y tener resultados concretos para su análisis al final de la investigación, como se evidencia en la figura 1.

Figura 1. *Esquema metodológico del trabajo de grado.*



Nota: En el esquema de la metodología, se realizó por fases y cada una de las actividades que se realizaron en cada fase.

5.1 Fase I: Generación del Sustrato.

Etapa 1: Se procede a la formulación de las concentraciones de los sustratos, partiendo desde una identificación del residuo vegetal aprovechable hasta su respectivo tratamiento y combinación con diferentes agregados de materia orgánica, minerales y microorganismos. La información del tratamiento de los residuos vegetales se encuentra en la tabla 2.

Tabla 2. Recolección y tratamiento de residuos.

Tusa de palma de aceite	Raquis de Plátano	Cascarilla de arroz
		
Tratamiento físico: Trituración 	**Tratamiento físico: Trituración y deshidratación** 	**Tratamiento físico: Incineración** 

5.1.1 Actividad 1: tratamiento de los residuos vegetales.

Se realiza el tratamiento de los tres residuos (tusa de plasma de aceite, raquis de plátano y cascarilla de arroz):

La tusa de palma de aceite se obtiene cuando se extrae el aceite vegetal del racimo de palma. Al finalizar la extracción la industria devuelve este residuo a las diferentes fincas productoras de la palma de aceite, una de ellas es la finca Virayá ubicada en el municipio de Vista Hermosa departamento del Meta en las coordenadas 3°8’27.37” N y 73°42’2.50” O. Se recolectó 100 Kg de residuo vegetal, después se ejecutó el tratamiento físico del residuo para obtener material más fino.

Al cosechar el plátano, queda como material residual el racimo o raquis, el cual se lavó con abundante agua para lograr una inocuidad. Posteriormente, se procedió a triturar en cascos de 1 cm de espesor y con ayuda de un pisón metálico se procesó hasta obtener partículas de tamaño menor a 5 mm, luego el material fue expuesto al sol por un periodo de 48 horas para lograr su deshidratación.

La cascarilla se acopio y se dispuso en un sistema de combustión lenta, para potencializar el silicio que contiene. Para ello se necesitó la construcción de un lugar de incineración, el cual posee una chimenea que consta de un tubo metálico con altura de 2 metros y un diámetro de 4 pulgadas.

El proceso inició colocando leña en forma de cono; seguidamente se colocó la chimenea, bien asentada y se verificó que la circulación del humo es correcta. Allí se añadieron 20 kg de cascarilla desde el borde del fuego hasta cubrir bien el tubo (tener cuidado en no apagar el fuego), incorporando poco a poco la cascarilla hasta cubrirlo totalmente. El proceso de combustión tardó 24 horas. Cuando el montón estuvo de color gris / blanquecino, se determinó que ya está completamente calcinado.

5.1.2 Actividad 2: concentración del sustrato.

Para la generación del sustrato, se consideró diferentes agregados con el fin de estructurar un sustrato con altos contenidos de materia orgánica, minerales y microorganismos, además, se plantearon una diversidad concentraciones de cada material para evaluar la mejor combinación de agregados que faciliten el desarrollo de la semilla y de la plántula como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Composición de los sustratos.

Nomenclatura	*Trichoderma, Bacillus thuringiensis, Micorrizas*	M.M (Mantillo de bosque)	Palmiste	Abono	Residuo
S1	400 g/L	10%	15%	30%	45%
S2	400 g/L	10%	15%	45%	30%
S3	400 g/L	10%	45%	30%	15%
S4	400 g/L	10%	45%	15%	30%
S5	400 g/L	10%	30%	15%	45%
S6	400 g/L	10%	30%	45%	15%
S7	400 g/L	10%	30%	30%	30%

Se realizaron 4 sustratos, cada uno proveniente de los residuos vegetales y uno de ellos es la combinación parcial de los tres residuos. A Cada sustrato se le efectuaron 7 combinaciones posibles, como lo muestra la tabla 3 (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7), de esta forma se analizó la tasa de supervivencia de semilla plena y el respectivo crecimiento de la plántula de tomate en cada combinación, con el fin de sesgar la información y encontrar un balance en los agregados, ya que el exceso de nutrientes inhibe de crecimiento de las semillas de tomate y el déficit de ellos, genera crecimiento tardío, entorchamiento de las hojas verdaderas y decoloración en las hojas, entre otras.

Etapa 2: Cálculos preliminares para hallar el número de réplicas y unidades experimentales, determinar aleatoriedad de bloques, y plantulación de las semillas de tomate.

5.1.3 Actividad 3: Aplicación del DBCA.

Según el método estadístico de diseño de bloques completamente al azar (DBCA), se registra el número de tratamientos, es decir, la cantidad de combinaciones que se efectuaron dentro de la investigación, las cuales son 28 y un agente de control (turba), a fin de obtener la cantidad de replicas necesarias para tener un peso estadístico. Lo anterior, por medio de la siguiente ecuación:

$$Glee \geq 12$$

$$Glee = t\,(r-1)$$

$$12 = 29\ (r-1)$$

$$12+29=29r\ r \cong 1$$

Glee: Grados de libertad t:
combinaciones r: replicas

Por último, se calculan las unidades experimentales, las cuales calculan bajo el resultado del DBCA, a partir del producto del número de réplicas y el número de tratamientos.

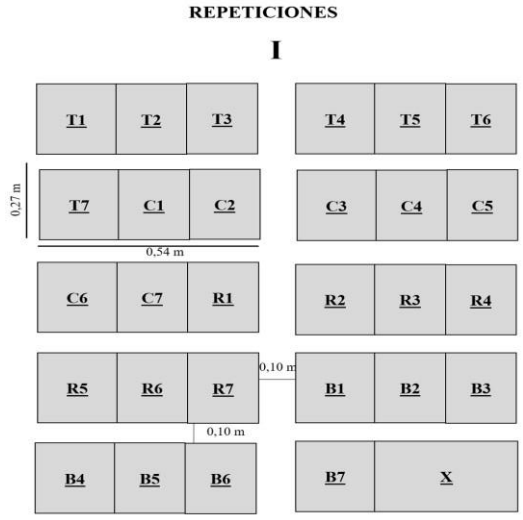
$$Ue=t*r$$

$$Ue=29$$

Ue: unidad experimental t:
combinaciones r: replicas

Cada combinación se encuentra en una bandeja de 128 alvéolos, ocupando 32 alvéolos, es decir tres combinaciones por bandeja como se muestra en el esquema de la figura 2.

Figura 2. Esquema de la distribución del ensayo en campo pruebas iniciales.



Nota: Se presenta la nomenclatura de las 28 combinaciones de los 7 sustratos, siendo las T para tusa, C de cascarilla, R para raquis, B para el sustrato compuesto parcialmente por los tres residuos y X que es la turba o sustrato control.

Por último, se realizó el diseño y construcción de un invernadero para llevar a cabo la ejecución del primer objetivo de la presente investigación (ver anexo 39 y 40).

5.1.4 Actividad 4: Desarrollo de la siembra.

Una vez, se determina la cantidad de réplicas y el número de combinaciones, inicia el llenado de las 9 bandejas germinadoras de 128 alvéolos. Para cada combinación estructurada por sustrato, se llenaron 32 alvéolos. Luego del llenado de bandejas, se procedió a aplicar por aspersión una concentración de microorganismos benéficos base del suelo como las *Micorrizas, Trichoderma Hazarium y Bacillus thuringiensis* a una concentración de 500 g/L. Las cepas mencionadas anteriormente, fueron obtenidas por medio de la empresa Bioagro SC S.A.S.

Después, se trasladaron las bandejas al invernadero. En el lugar se sembraron las semillas de tomate (*Solanum lycopersicum*, clase comercial chonto roble), adicionalmente, se llenó una bandeja de 128 alveolos con turba comercializada de Treffex AS, proveniente de Estonia. La turba fue el sustrato de control con el que se compararon los otros sustratos generados.

Al finalizar la plantulación de las 928 semillas se disponen las bandejas en un cuarto oscuro durante 5 días, luego se dirigen al invernadero donde permanecieron 25 días y monitoreadas en una frecuencia de 15 días.

Etapa 3: Seguimiento y monitoreo durante el periodo de crecimiento de las plántulas de tomate.

5.1.5 Actividad 5: Medición de variables morfológicas, químicas y organolépticas.

Se realizaron mediciones físicas a la plántula, como: longitud radicular, diámetro de tallo, longitud del tallo y número de hojas verdaderas, además, se determinó el índice relativo de clorofila por medio del equipo SPAD 502 plus. Este equipo es una herramienta que realiza análisis foliar a través de la transmitancia de las hojas e indica un valor numérico relacionado con el nivel de nitrógeno en la planta.

Por otro lado, se midieron los parámetros químicos de las combinaciones de cada sustrato, como: conductividad eléctrica y potencial de hidrógeno por medio de un multiparámetro portátil Multi 3630 IDS WTW.

La frecuencia de medición de las plántulas se consideró a mitad del ciclo de crecimiento (15 días de la plantulación) midiendo parámetros físicos y químicos y al finalizar el ciclo (30 días de la plantulación) se realiza la inspección organoléptica, que va ligada bajo las normas de calidad de la plántula como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Normas de calidad de la plántula.

Normas de calidad de la plántula	
P1	Las hojas están bien desarrolladas, son de color verde, erectas y sin entroncamientos.
P2	La coloración es ligeramente púrpura en la base del tallo y en el envés de las hojas.
P3	Las raíces son blancas y delgadas, llenan todo el contenedor desde arriba hasta abajo.
P4	No presenta tonalidades amarillentas y está libre de enfermedades y plagas.

Nota: La tabla muestra las normas de calidad de la plántula, las cuales son 4 cuya nomenclatura es P1, P2, P3 y P4. Las normas se tomaron según el "Manual de Producción de Tomate" elaborado por Escobar y Lee, 2009.

5.2 Fase II: Comparación morfológica del sustrato

5.2.1 Actividad 1: Desarrollo del refuerzo mineral y aplicación DBCA.

De los sustratos formulados y analizados se escogió un sustrato candidato como posible sustituto de la turba. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la medición de variables de la plántula, se proyectó un refuerzo mineral con diabasas y otro con calfos con la finalidad de evaluar nuevamente el desarrollo de la plántula y porcentaje de emergencia de semillas plenas, conociendo el aporte de NPK de estas rocas que se logran conseguir en Colombia, dando un manejo más orgánico en la mineralización de los sustratos y un manejo integro de los recursos, debido a que no es un producto de importación (ver anexo 41).

En esta actividad surgieron dos variantes del sustrato candidato seleccionado en la fase 1, donde se evaluará el desempeño del sustrato candidato cuando se adiciona el 5% de diabasas y otro cuando se adiciona el 5% de calfos como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Composición de los sustratos finales.

Trichoderma harzianum	***Bacillus thuringiensis***	**Micorrizas**	**Mantillo de bosque**	**Palmiste**	**Abono**	**Residuo vegetal**	**Diabasas**	**Calfos**
400g/l	400g/l	400g/l	10%	15%	45%	30%	0%	0%
400g/l	400g/l	400g/l	9%	14%	42%	30%	5%	0%
400 g/l	400 g/l	400 g/l	9%	14%	42%	30%	0%	5%

Se realiza el mismo paso de la actividad 3 correspondiente a la fase 1, en donde siguiendo el modelo del diseño de bloques completamente al azar (DBCA) se obtuvo el número de réplicas y las unidades experimentales (Ue) de las pruebas de los sustratos finales, por medio de la siguiente fórmula:

$$Glee = t\,(r-1)$$

$$12 = 4\,(r-1)\ r = 4$$

$$Glee \geq 12$$

Glee: Grados de libertad t:
combinaciones r: replicas

Las unidades experimentales se calculan bajo el resultado del DBCA, a partir del producto del número de réplicas y el número de tratamientos.

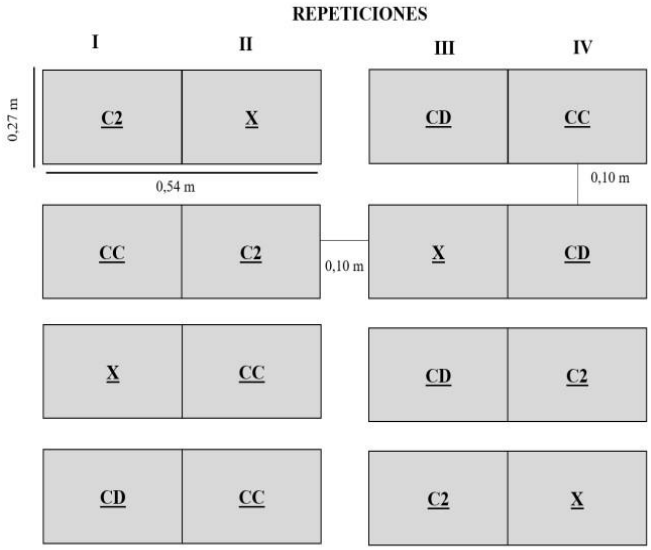
$$Ue=t*r$$

$$Ue=16$$

Ue: unidades experimentales t:
combinaciones r: replicas

Cada combinación se encuentra en una bandeja de 128 alvéolos, ocupando 64 alvéolos, es decir dos combinaciones por bandeja como se muestra en el esquema de la figura 3.

Figura 3. Esquema de la distribución del ensayo en campo de las pruebas finales.



Nota: En el esquema de la distribución del ensayo en campo, presenta la nomenclatura de C2 y las 2 combinaciones del sustrato (CC y CD), a su vez que la turba (X) o sustrato control.

5.2.2 Actividad 2: Desarrollo de la siembra.

Las combinaciones formuladas deben ser nuevamente analizadas, por ende, se repite el proceso de llenado de las bandejas germinadoras de 128 alveolos, con 54 cm de largo, 27 cm de ancho y 9 cm de profundidad; llenando los alvéolos de las bandejas con las 3 combinaciones mencionadas anteriormente y de la turba.

La siembra de esta fase se realizó de la siguiente manera: se presionó ligeramente las combinaciones en las bandejas para eliminar el aire y obtener un llenado total. Luego se sembró de a dos semillas de tomate chonto roble por cada alvéolo, a una profundidad de aproximadamente 3,6 mm, con un riego diario por aspersión manual de aproximadamente 30 ml/alvéolo.

Cada combinación tuvo cuatro réplicas de 64 alvéolos como se mencionó en el esquema de distribución del ensayo en campo de las pruebas finales. La periodicidad del monitoreo fue de 10 días durante los 30 días del ciclo de crecimiento de la plántula en invernadero (ver anexo 37 y 38).

5.2.3 Actividad 3: Frecuencia de la medición de variables morfológicas y químicas.

Durante 30 días, con una frecuencia de monitoreo de 10 días se midieron las características morfológicas, tales como: longitud del tallo, longitud radicular, número de hojas verdaderas y diámetro del tallo. También se determinó el porcentaje de emergencia de semilla plena y las características químicas de las combinaciones del sustrato final (ver anexo 34 y 35).

5.2.4 Actividad 4: Análisis estadístico ANOVA y Tukey (0,05).

Los datos recopilados en las mediciones fueron analizados con ANOVA y comparación de medidas por el método de TUKEY (0,05). Los datos se ingresaron a Excel Statistical y se graficó el cambio de las variables durante la frecuencia de medición para analizar y comparar la diferencia honestamente significativa en las combinaciones del sustrato y el medio de control (turba).

5.3 Fase III: Determinación de las condiciones físicas, químicas y biológicas.

5.3.1 Actividad 1: Pruebas de laboratorio.

Para la selección de los sustratos con refuerzo nutricional, se tomó una muestra de 500g para trasladar al laboratorio especializado AGRILAB y conocer su composición de macronutrientes y micronutrientes.

El laboratorio utilizó la técnica de volumetría bajo el documento normativo NTC 5167 y NTC 370 para la estimación de nitrógeno orgánico (N orgánico). Para el cálculo de fósforo total (P2O5) se implementó la técnica de colorimetría según NTC 234, el cálculo de potasio total (K2O) se dio bajo la técnica EEA siguiendo la NTC 5167 y NTC 202; para calcio total (CaO) y magnesio total (MgO) se implementó la técnica EEA bajo el documento normativo NTC 5167 y la EPA 7000B.

5.3.2 Actividad 2: Medición de condiciones físicas.

En cuanto a las variables de medición física, se tomó como referencia la metodología de evaluación, caracterización y programación del riego en sustratos, presentado por Román

Hernández (2012). En el documento, se define el procedimiento para estimar la densidad aparente por medio del método del terrón en donde se realiza la operación masa/volumen, densidad real, la cual se obtuvo del laboratorio de AGRILAB, porosidad total dada por la fórmula P= [(ρreal-ρaparente) /(real)]*100 y el porcentaje de humedad, valor dado por el laboratorio de AGRILAB. Para el caso de granulometría, se estimó el tamaño de las partículas por medio del tamizado de los sustratos en seco a 150°C, por medio de 7 tamices número 16, 20, 40, 50, 60, 100 y 200 (ver anexo 32).

5.3.3 Actividad 3: Medición de las condiciones químicas.

Las variables químicas de pH y la conductividad eléctrica se registraron con un multiparámetro portátil Multi 3630 IDS WTW en campo (ver anexo 35).

5.3.4 Actividad 4: Condiciones Biológicas.

Las condiciones biológicas fueron determinadas mediante un análisis de diversidad biológica del mantillo de bosque de Choachí, Cundinamarca, de manera bibliográfica. Puesto que, se conoce las cepas de los otros microorganismos inoculados en el sustrato como las micorrizas, *Bacillus thuringiensis*, *Trichoderma harzianum*.

6. Resultados y análisis

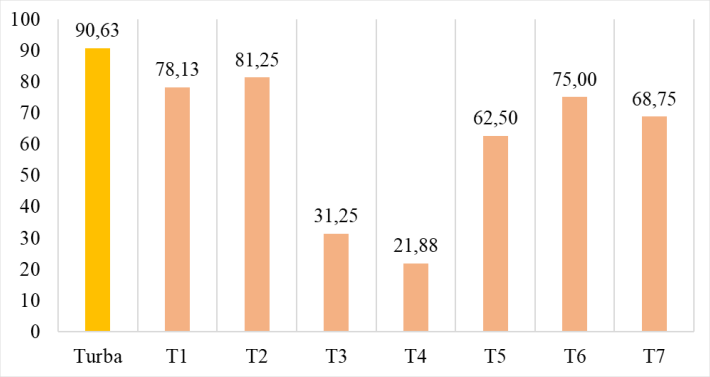
6.1 Fase I: Primer sesgo de la comparación de las variables y condiciones a los 15 días de siembra

A continuación, se presentan las variables que fueron medidas a los 15 días de la siembra de las semillas de tomate en los 4 sustratos prueba a base de tusa de palma de aceite, cascarilla de arroz, raquis de plátano y la combinación de los tres residuos. Los valores presentados en las ilustraciones y tablas corresponden a una ponderación de los datos de medición. Con una población total de N: 32 individuos, réplicas r: 1, muestra analizada por cada réplica de n:10 y número de combinaciones: 7. (Ver el anexo 36. Elaboración de las 28 combinaciones de sustratos y el medio de control (turba)).

6.1.1 Comparativa de las variables de las plántulas en sustrato a base de tusa de palma

La grafica 1 muestra los porcentajes de emergencia de la semilla promedio durante los primeros 15 días de siembra.

Figura 4. Porcentaje de emergencia de semillas en sustrato a base de tusa de palma.



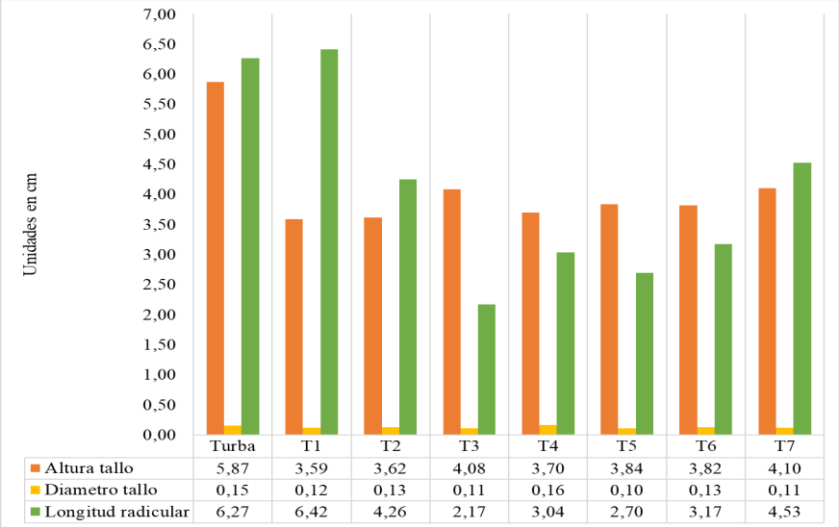
La turba tuvo un 90,6 % de emergencia y que durante los primeros 15 días de siembra, la planta se desarrolló correctamente y no se presentaron anormalidades, sin embargo, en las combinaciones del sustrato a base de tusa de palma de aceite, se presentaron porcentajes de

emergencia de la semilla de 21,8% y este fue variando en las otras combinaciones del sustrato conforme a la intensificación de plagas (hongo verde o *Penicillium Digitatum* y larvas).

Por otro lado, de las 7 combinaciones del sustrato a base de tusa de palma de aceite, se determina que las combinaciones con mayor emergencia fueron T1 y T2, con tan solo una diferencia del 3,125% entre ellos.

Dentro de la gráfica 2 se muestra los valores promedio de los parámetros morfológicos medidos en campo.

Figura 5. Parámetros morfológicos de la plántula en sustrato a base de tusa.



	Turba	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Altura tallo	5,87	3,59	3,62	4,08	3,70	3,84	3,82	4,10
Diametro tallo	0,15	0,12	0,13	0,11	0,16	0,10	0,13	0,11
Longitud radicular	6,27	6,42	4,26	2,17	3,04	2,70	3,17	4,53

Se denota que la turba es posee un valor más alto en la altura del tallo y diámetro, sin embargo, la combinación T1 del sustrato a base de tusa de palma de aceite demuestra una predominancia en la longitud radicular.

Para el caso de los parámetros químicos, al realizar las muestras y diluciones en agua correspondiente se obtuvo como se evidencia en la tabla 6 los valores promedio de los parámetros químicos.

Tabla 6. Parámetros químicos promedio de las combinaciones a base de tusa.

parámetro/tratamiento	**Turba**	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T5**	**T6**	**T7**
Clorofila (SPAD)	40,94	34,16	38,98	20,70	21,90	17,54	37,04	42,20
pH	5,88	7,15	7,10	7,70	7,74	7,85	7,42	7,39
Conductividad (µS/cm)	226	222	224	370	270	220	300	390

Los valores promedio indican que la turba tiene un alto grado de (clorofila), el pH es ligeramente alcalino. Según Escobar y Lee (2009) en el "Manual de Producción de Tomate" en la página 20, la turba por lo general presenta un pH entre 5,5 - 6,5, a su vez, se indica que los sustratos para preparación de tomate deben cumplir con un pH entre 5,0 y 6,5. Como se observa en la tabla, ninguna de las combinaciones del cumple con este requisito, sin embargo, el sustrato con el pH ligeramente alcalino es T2.

La conductividad eléctrica para sustratos de uso hortícola debe estar entre 0,7-2 ds/cm, equivalente a 700-2000 µS/cm para la adecuada germinación y crecimiento (Martínez y Roca, 2011). Según los resultados obtenidos la conductividad no cumple en ninguna combinación con dicho rango, sin embargo, las conductividades obtenidas presentan un buen valor para no generar riesgos de salinización en las plántulas. Por tal motivo T7 al contener el valor más alto de las conductividades, es destacable con 390 µS/cm (Martínez y Roca, 2011).

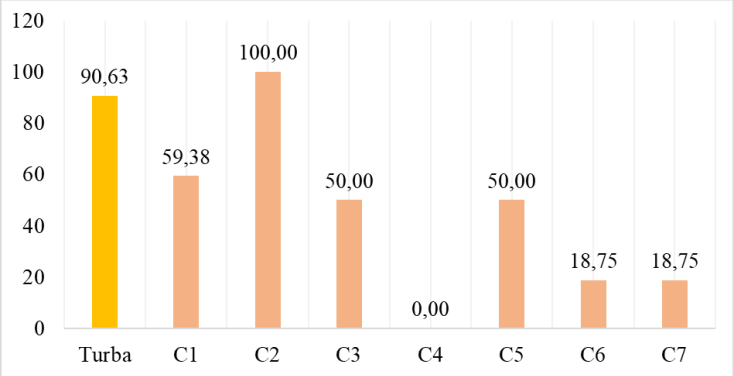
Para este caso, el color de las hojas de las plántulas desarrolladas en la turba es el referente para compararlo con las otras combinaciones. En la tabla No 6. se puede observar que el sustrato referente tiene un valor de 40,94 de la escala del SPAD y al compararlo con las combinaciones del residuo de tusa, se determina que solo la combinación T7 tiene mejor relación con nitrógeno disponible que el sustrato referente (turba) (Montoya y Ordoñez, 2009).

Por último, una vez determinado la comparación de cada parámetro, se logra determinar que T2 tuvo altos niveles de germinación, pero la diferencia porcentual con T1 es de solo 3,125%. Del mismo modo, obtiene que los mejores resultados de desarrollo morfológico son de T1. Para los parámetros químicos, T7 mostro mejores resultados, sin embargo, su nivel de emergencia de semillas es demasiado bajo. Por lo anterior considerando los parámetros medibles, la combinación candidata del sustrato a base de tusa de palma de aceite es **T1,** combinación compuesta por un 15% de palmiste, 30% de abono y 45% de tusa.

6.1.2 Comparativa de las variables de las plántulas en sustrato a base de cascarilla

La grafica 3 muestra los porcentajes de emergencia de la semilla promedio durante los primeros 15 días de siembra.

Figura 6. Porcentaje de emergencia de la semilla en sustrato a base de cascarilla.

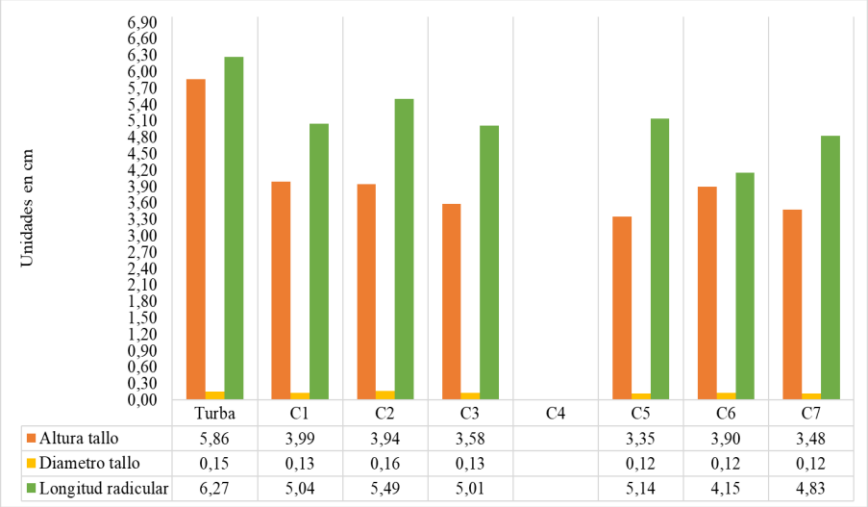


La combinación C2 tuvo un porcentaje de 100% de emergencia, además, presentó rectitud en el tallo y fortaleza para seguir su desarrollo durante los primeros 15 días de crecimiento en todas las semillas plantuladas.

Al contrastar esta información con las otras combinaciones se denota que existe una diferencia porcentual del 50% con C3 y C5, 40,6% con C1 y 81,25% con C6 y C7 (para el experimento con la combinación C6 Y C7, se observó una saturación de agua en el medio, puesto que estas combinaciones no tuvieron la capacidad de filtrar el agua durante las jornadas de riego). La diferencia entre C2 y la turba (sustrato de referencia) es del 9,4%. Por ende, la combinación seleccionada para este primer filtro es C2, siendo el candidato con máximo rendimiento e inocuo que garantizó el buen desarrollo de la semilla y la plántula.

Dentro de la gráfica 4 se muestra los valores promedio de los parámetros morfológicos medidos en campo.

Figura 7. Parámetros morfológicos de la plántula en sustrato a base de cascarilla.



	Turba	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Altura tallo	5,86	3,99	3,94	3,58		3,35	3,90	3,48
Diametro tallo	0,15	0,13	0,16	0,13		0,12	0,12	0,12
Longitud radicular	6,27	5,04	5,49	5,01		5,14	4,15	4,83

- La altura del tallo, diámetro del tallo y longitud radicular en todas las combinaciones a base de cascarilla de arroz, tuvieron un desarrollo morfológico semejante.
- La combinación a base de cascarilla con mejor altura de tallo fue C1.
- La combinación a base de cascarilla con mejor diámetro del tallo fue C2.
- La combinación a base de cascarilla con mejor longitud radicular fue C2.
- C4 no tiene información referente a crecimiento morfológico, puesto que, durante la jornada de medición de variables se observó que el medio estaba saturado y no había filtración del agua.

La turba tuvo mejor desarrollo morfológico en comparación con las combinaciones a base de cascarilla de arroz.

La combinación seleccionada en este filtro es C2, aquella compuesta por 15% palmiste, 45% abono y 30% cascarilla, puesto que, tuvo mejor desarrollo en el diámetro del tallo y longitud radicular.

Para el caso de los parámetros químicos se tuvo en cuenta al igual que en todos los estudios la columna de la turba para hacer la comparación de medias, al realizar las muestras y diluciones en agua correspondiente se obtuvo como se evidencia en la tabla 7 los valores promedio de los parámetros químicos.

Tabla 7. Parámetros químicos promedio de las combinaciones a base de cascarilla de arroz.

parámetro/tratamiento	**Turba**	**C1**	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**	**C6**	**C7**
Clorofila (SPAD)	40,94	42,66	41,40	36,90	-	45,40	46,70	47
pH	5,88	7,21	6,48	6,75	6,5	6,87	6,64	7,18
Conductividad (µS/cm)	226	464	701	258	190	500	326	456

El nivel de clorofila del sustrato referente (turba) es de 40,94 y los datos obtenidos en las demás combinaciones tuvieron mayor transmitancia y relación de nitrógeno a excepción de C3 y C4 que se encuentran por debajo del referente. En cuanto al pH, solo cumple la turba, C2 y C4, sin embargo, la combinación C4 durante el estudio en campo presentó saturación de agua en el medio y baja capacidad para drenar el agua.

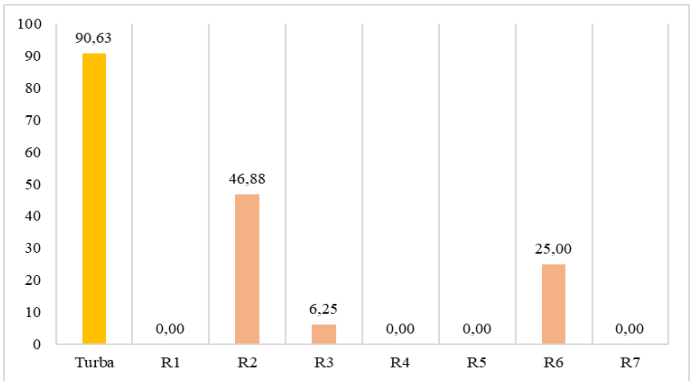
En el caso de conductividad, C2 se encuentra dentro del rango óptimo para la germinación y crecimiento con un valor de 701 µS/cm.

Al analizar los 3 filtros, se seleccionó la combinación C2. Esta combinación se destacó por encima de la turba en la emergencia de la semilla, parámetros químicos y con una leve diferencia de crecimiento en los parámetros morfológicos, por ende, se plantea seguir realizando pruebas de plantulación e inspección y monitoreo con esta combinación.

6.1.3 Comparativa de las variables de las plántulas en sustrato a base de raquis de plátano

La grafica 5 muestra los porcentajes de emergencia de la semilla promedio durante los primeros 15 días de siembra.

Figura 8. Porcentaje de emergencia de la semilla en sustrato a base de raquis.

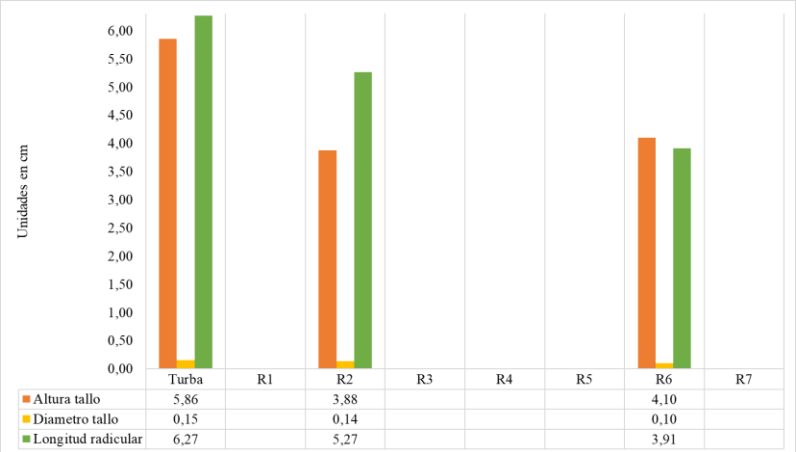


La germinación y emergencia para las combinaciones a base de raquis de plátano no fueron óptimas debido a la inhibición del crecimiento de las plántulas, por la presencia de hongo verde o *Penicillium Digitatum*, y larvas, cuya formación se facilitó por el alto contenido de humedad que presenta el raquis de plátano. Dejando a los sustratos R1, R2, R4, R5 y R7 sin crecimiento alguno. Sin embargo, R2, R3 y R6, tuvieron emergencia en un 46,8%, 6,2% y 25%, respectivamente. R2 presentó el mayor porcentaje de emergencia, teniendo un porcentaje diferencial de 43,75% con respecto a la Turba.

Por tal motivo, como resultado del primer filtro "porcentaje de emergencia", R2 es el sustrato candidato a seguir en tratamiento.

Dentro de la gráfica 6 se muestra los valores promedio de los parámetros morfológicos medidos en campo.

Figura 9. Parámetros morfológicos de la plántula en sustrato a base de raquis.



	Turba	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Altura tallo	5,86		3,88				4,10	
Diametro tallo	0,15		0,14				0,10	
Longitud radicular	6,27		5,27				3,91	

Las variables morfológicas se vieron truncadas, por condiciones de baja inocuidad y calidad, lo que afectaron el desarrollo de las plántulas, por lo que se optó por medir las plántulas de las combinaciones que tuvieran un desarrollo significativo, en donde R2 y R6 fueron los únicos con plántulas en dichas condiciones, donde se obtuvo información de la altura del tallo, el diámetro y la longitud radicular como lo muestra la gráfica No 6.

R2 presenta altura del tallo de 3,87 cm, diámetro de 0.13 cm y longitud radicular de 5,2 cm, en cambio R6 presentó una altura del tallo más cercana a la de la turba con 4,1 cm, un diámetro de 0,1 cm y longitud radicular de 3,98 cm. La diferencia porcentual de R2 con respecto a la turba

es de 40,7% para altura del tallo, 10,7% en diámetro y 17,3% en longitud radicular; por el contrario, R6 con respecto a la turba presenta valores de diferencia porcentual de 35,2% en la altura del tallo, 39,6% para el diámetro del tallo y 46% de longitud radicular.

Por tal diferencia porcentual entre las variables morfológicas, el segundo filtro nos arroja que hay menor diferencia entre las variables de R2 y turba.

Para el caso de los parámetros químicos, al realizar las muestras y diluciones en agua correspondiente se obtuvo como se evidencia en la tabla 8 los valores promedio de los parámetros químicos.

Tabla 8. Parámetros químicos promedio en sustrato a base de raquis.

parámetro/tratamiento	**Turba**	**R1**	**R2**	**R3**	**R4**	**R5**	**R6**	**R7**
Clorofila (SPAD)	40,94	-	41,38	-	-	-	12,30	-
pH	5,88	9,53	7,17	7,72	7,70	7,75	6,95	7,62
Conductividad (µS/cm)	226	1360	490	520	410	1460	290	660

Se presentan tres parámetros químicos bases para comparar, como lo son la clorofila, el pH y la conductividad eléctrica. Para la clorofila la combinación destacable fue R2, la cual presenta 0,44 unidades de SPAD más que los de la turba en representación de su nivel de clorofila. En función del pH, el valor más cercano a la turba (5,88) registrado es para la combinación R6 cuyo pH oscila en los 6,95 manteniéndose en un nivel alcalino a neutro, lo que coincide con los parámetros óptimos para la plantulación de tomate, según el "Manual de Producción de Tomate". Este mismo manual indica que la conductividad eléctrica del sustrato puede estar entre 700 µS/cm a 2.000 µS/cm, sin embargo, no quiere decir que la conductividad de la turba no sea la indicada, puesto que esta maneja conductividades más bajas a fin de compensar las alzas con el uso de agroquímicos. Por ende, para mantener una proporción media R5, es el mejor candidato en cuestión de conductividad ya que presenta 1460 µS/cm.

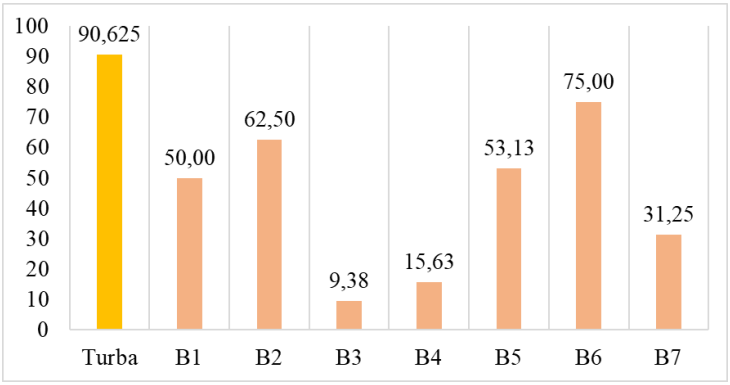
El nivel de clorofila y el pH son parámetros claves para el sustrato por lo que la combinación R2, representa un buen candidato, ya que este presenta niveles de clorofila altos y un pH neutro que puede ser modificado fácilmente con algún agregado mineral.

En definitiva, las combinaciones de los sustratos pasaron por los 3 filtros (condiciones químicas, morfológicas y porcentaje de emergencia), y se logra obtener que R2, cuya composición está dada por un 15% palmiste, 45% abono y 30% cascarilla, presenta la mayor emergencia y elongación de raíces y tallos y diámetro, además de presentar el pH más estable y el nivel de clorofila alto, lo cual lo aprueba en los 3 filtros, y se clasifica como la combinación a candidata.

6.1.4 Comparativa de las variables de las plántulas en sustrato a base de tusa, cascarilla y raquis

La grafica 7 muestra los porcentajes de emergencia de la semilla promedio durante los primeros 15 días de siembra.

Figura 10. Porcentaje de emergencia de la semilla en sustrato a base de tusa, cascarilla y raquis.



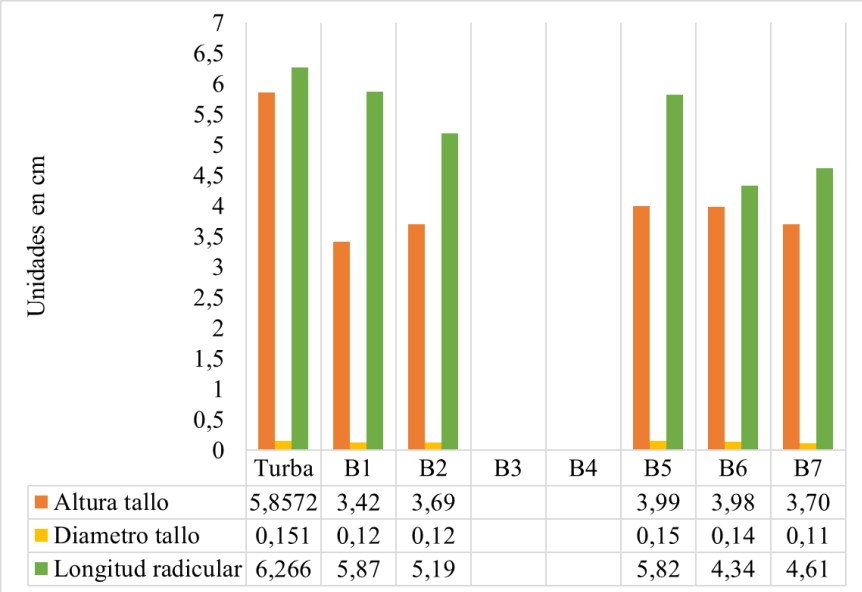
Las combinaciones cuyo compuesto base eran los tres residuos, provocó una saturación en el sustrato, por lo que la aireación era reducida y la humedad se conservaba en alto grado, llegando al punto de marchitar la planta, por tal motivo, no tuvo un porcentaje de emergencia superior al 63% en todas sus combinaciones.

El porcentaje de emergencia más bajo estuvo en B3, cuya composición estaba dada por un 45% de palmiste, 30% de abono orgánico y 15% residuo, presentó los niveles de emergencia más bajos, registrando aproximadamente un 9,4%, es decir un 81,3% por debajo de la turba. Por el

contrario, el más cercano al de la turba (90,6%) estuvo en la combinación B6, la cual está compuesta por 30% de palmistes, 45% abono orgánico y 15% de residuo, la cual se encuentra 15,6% por debajo del porcentaje de emergencia de la turba. Por tal motivo, para este filtro se obtuvo que el candidato a tratamiento es B6.

Dentro de la gráfica 8 se muestra los valores promedio de los parámetros morfológicos medidos en campo.

Figura 11. Parámetros morfológicos de la plántula en sustrato a base de tusa, cascarilla y raquis.



	Turba	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Altura tallo	5,8572	3,42	3,69			3,99	3,98	3,70
Diametro tallo	0,151	0,12	0,12			0,15	0,14	0,11
Longitud radicular	6,266	5,87	5,19			5,82	4,34	4,61

Las combinaciones B3 y B4 del sustrato a base de los tres residuos, presentaron crecimiento, sin embargo, no hubo número mínimo de plántulas germinadas (10) para su medición significativa, por tal motivo no se registran valores de las variables morfológicas como lo muestra la gráfica 8. Por su parte las combinaciones B1, B2, B5, B6 y B7, tuvieron una semejanza en la altura del tallo, con valores entre los 3,4 y 3,9 cm, siendo B1 el valor del límite inferior y B5 el valor más alto. En promedio los diámetros del tallo presenten en las plántulas de las 5 combinaciones es de 0,13 cm, sin embargo, dentro de esa media se destaca B5 que presenta un diámetro de 0,147 cm, una diferencia de 2,6% con respecto al valor del diámetro del tallo de la turba (0,151 cm). Por último, la longitud radicular que presenta la turba se encuentra en 6,26 cm,

siendo un buen tamaño para el tiempo que lleva la plántula, aun así, B1 y B5 presentaron, los resultados más cercanos a ese valor parámetro de la turba, con 5,87 cm y 5,82 cm, respectivamente.

Teniendo en cuenta las variables a medir, se puede condenar que B5, presenta unas condiciones morfológicas superiores al resto de combinaciones evaluadas.

Para el caso de los parámetros químicos, al realizar las muestras y diluciones en agua correspondiente se obtuvo como se evidencia en la tabla 9 los valores promedio de los parámetros químicos.

Tabla 9. Parámetros químicos promedio en sustrato a base de tusa, cascarilla y raquis.

parámetro/tratamiento	**Turba**	**B1**	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**B6**	**B7**
Clorofila (SPAD)	40,94	42,4	44,62	-	-	44,05	44,68	12
pH	5,88	6,99	6,54	7,74	7,24	6,52	6,49	7,24
Conductividad (µS/cm)	226	262	298	1350	660	432	410	894

Se realizó una comparación de las variables mencionadas en la tabla 8, en donde se presentan un nivel relativo de clorofila de alrededor de los 40 SPAD, a excepción de B7, el cual presenta nivel de 17 SPAD, lo cual se vio reflejado en la tonalidad amarilla que tomaron las plántulas en esta combinación, lo que se puede asociar a un bajo nivel de minerales y nutrientes o al exceso de ellos, lo cual puede haber llevado a la planta a la saturación o escasez de suministros. Por otro lado, la turba presentó valores de 40,96 SPAD, un nivel alto de clorofila para la poca cantidad de nutrientes que presenta. B6 presenta 44,68 unidades de SPAD, el valor más alto registrado seguido de 44,62 correspondientes a B2.

El pH óptimo de sustratos para la plantulación de tomate debe estar entre los 5,0 y 6,5 (Escobar y Lee, 2009), rango en el que solo se encuentra B2, B5 y B6, los cuales presenta un pH de 6,54; 6,52 y 6,49, respectivamente. Para este caso se toma el valor que se encuentra por debajo del valor límite (6,5), por lo tanto, el pH de mejor rendimiento lo presenta B6.

La conductividad entre 7000 µS/cm a 2.000 µS/cm, solo pertenece a B3 con 1350 µS/cm, por otro lado, si se identifica el rango de valor que debe tener la conductividad eléctrica en la turba

está oscila entre los 700 y 1.100 µS/cm, en donde parcialmente se podría considerar a B7 como un sustrato apto para la plantulación de tomate (Escobar y Lee,2009) (Martínez y Roca, 2011).

En definitiva, B6 compuesto por 45% abono orgánico, 30% palmiste y 15% de residuo, resultó ser el mejor candidato, debido a sus características químicas y en cuanto a porcentaje de emergencia, destacan por encima de los demás sustratos siendo este el resultante del primer sesgo para las combinaciones del sustrato B a base de raquis, tusa y cascarilla de arroz.

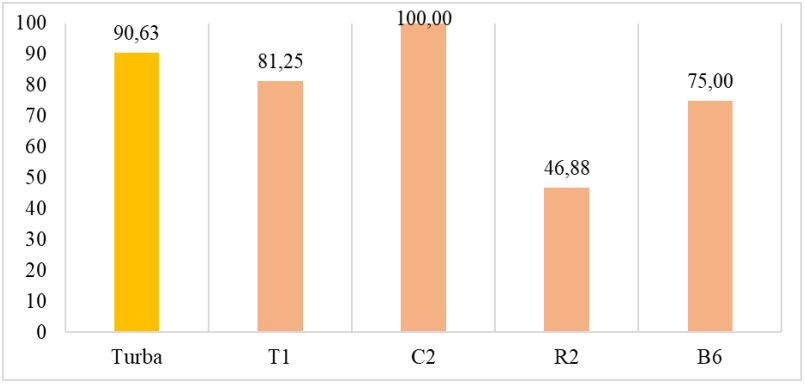
Fase I: Segundo sesgo de la comparación de las variables y condiciones a los 30 días de siembra

La mejor combinación de sustrato por residuo observada en campo fue T1, C2, R2 y B6, cuyos porcentajes de emergencia, Altura total, diámetro del tallo, longitud radicular e índice nutricional se asemejan al sustrato de referencia, que en este caso es la turba.

6.1.5 Comparación de las variables morfológicas a los sustratos seleccionados.

La grafica 9 muestra los porcentajes de emergencia de la semilla promedio de los candidatos a mejor sustituto, en los cuales se encuentra T1, C2, R2 y B6.

Figura 12. Porcentaje de emergencia de la semilla en sustratos seleccionados.

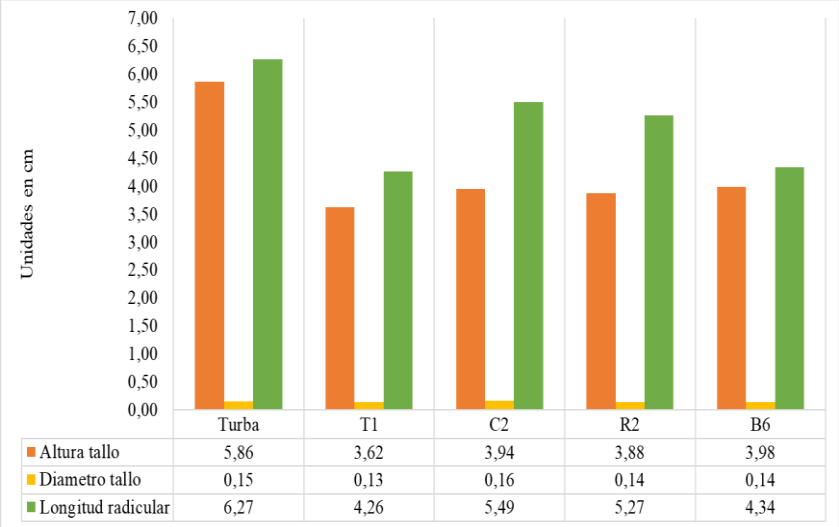


Según la gráfica 9 se evidencia que para porcentaje de germinación el mayor valor pertenece al sustrato C2 (M.M=10%, Abono=45%, palmiste=15%, cascarilla=30%), con un 100% de emergencia, seguido de T1 (M.M=10%, Abono=45%, palmiste=15%, Tusa=30%) con 78%,

B6 (M.M=10%, Abono=45%, palmiste=30%, Tusa + cascarilla + raquis=15%) con 75% y R2 (M.M=10%, Abono=45%, palmiste=15%, Raquis =30%) con 47%. A comparación de la turba que su porcentaje de emergencia es de aproximadamente 91%, en nivel de relación entre porcentual de emergencia varía entre un 10 a un 44%.

La grafica 10 ilustra las medidas promedio de los parámetros morfológico de T1, C2, R2 y B6.

Figura 13. Parámetros morfológicos de la plántula en sustratos seleccionados.



	Turba	T1	C2	R2	B6
Altura tallo	5,86	3,62	3,94	3,88	3,98
Diametro tallo	0,15	0,13	0,16	0,14	0,14
Longitud radicular	6,27	4,26	5,49	5,27	4,34

Los parámetros morfológicos para los sustratos T1, C2, R2 y B6 en función de la altura del tallo presentan valores similares, oscilando entre los 3,61 y 3,97 cm, es decir un rango de 0,36 cm. A pesar de su similitud, el valor más cercano a la media de la turba es B6 con una diferencia de 38,2%. En cuanto al diámetro del tallo se registró en C2 un diámetro de 0,16 cm, 0,01 cm por encima de la media registrada en la turba, la cual fue de 0,15 cm. Por último, la longitud radicular cuyo parámetro es el más predominante en la turba con 6,26 cm debido a las características que posee dicho sustrato en aireación, permite el crecimiento o radicular más favorable, aun así, se registró longitudes radiculares de 5,49 cm como es el caso de C2, cuyo valor tiene una diferencia porcentual de 13,1% con respecto a la turba.

Para el caso de los parámetros químicos, al realizar las muestras y diluciones en agua correspondiente se obtuvo como se evidencia en la tabla 10 los valores promedio de los parámetros químicos.

Tabla 10. Parámetros químicos promedio de los sustratos seleccionados.

parámetro/tratamiento	**Turba**	**T1**	**C2**	**R2**	**B6**
Clorofila (SPAD)	40,94	38,98	41,4	41,38	44,68
pH	5,88	7,15	6,48	7,17	6,49
Conductividad (µS/cm)	226	224	701	492	410

Los parámetros químicos de los sustratos se establecen por unos rangos límites, que presenta el "Manual de Producción de Tomate" elaborado por Escobar y Lee (2009). De modo que la conductividad eléctrica de sustratos elaborados para la plantulación de tomate debe estar entre 1.000µS/cm a 2.000µS/cm o entre 700µS/cm y 1.100µS/cm para el caso de la turba, por lo que los sustratos T1, R2 y B6 no entran en ninguno de los dos rangos, sin embargo, por el sustrato C2 con 701 µS/cm, es el destacable en este parámetro químico.

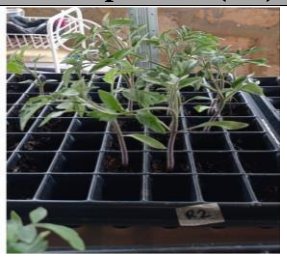
El pH cuyos valores deben estar entre las 5 y 6,5 unidades, donde C2 y B6, con 6,48 y 6,49 unidades de pH respectivamente.

6.1.6 Inspección Organoléptica

De los cuatro candidatos se realizó una inspección organoléptica, donde se registró el mejor candidato teniendo en cuenta su coloración, robustes vegetativa y las normas de calidad de la plántula de la tabla 4.

A continuación, se presenta la comparativa de los criterios descritos anteriormente, con respecto a la turba y los sustratos seleccionados como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Comparación fotográfica turba vs sustratos seleccionados.

Medio de control	Sustratos seleccionados	Descripción
Turba	**Sustrato a base de tusa (T1)**	
		T1 presenta una coloración verdosa y un buen desarrollo vegetal, sin embargo, no presenta una altura promedio superior a la turba. *Normas de calidad de la plántula:* Cumple con P1, P2 y P3.
	Sustrato a base de cascarilla (C2)	**Descripción**
		C2 cuenta con una altura mayor con respecto a la turba, además presenta una vegetación abundante y tallos más gruesos, lo que indica que hubo mayor absorción de nutrientes y minerales. Además, se percibió un olor agradable. Normas de calidad de la plántula: Cumple con P1, P2, P3 Y P4
	Sustrato a base de raquis de plátano (R2)	**Descripción**
		R2 con presenta una deficiencia en su germinación, además presenta una vegetación escasa. Sin embargo, sus tallos son más erectos y fuertes que los de la turba. Normas de calidad de la plántula: Cumple con P1, P2, P3 Y P4.
	Sustrato a base de tusa, cascarilla y raquis (B6)	**Descripción**
		B6 presenta una coloración mucho más verde que la turba, un buen desarrollo del tallo y altura similar a la turba. Sin embargo, presenta larvas, no cumplimento la norma de calidad P4. Normas de calidad de la plántula: Cumple con P1, P2 y P3

6.1.7 Inspección de adaptación en suelo

La inspección de adaptación en el suelo se realizó a los 14 días de trasplantar las plántulas al suelo en donde se pudo determinar ciertas diferencias. A continuación, se muestra el registro fotográfico para hacer contraste entre la turba (imagen izquierda) y los sustratos (imagen derecha) al suelo en donde se pudo determinar las siguientes características:

La combinación procedente de la cascarilla de arroz (C2), tuvo mayor adaptación y crecimiento, aumento en el diámetro del tallo y altura de la plántula, además de un brote significativo en la cantidad de hojas (ver anexo 1). Lo que demuestra una adaptación óptima en comparación con el blanco de la investigación, la cual tuvo un brote de hojas inferior al de C2.

La combinación procedente de tusa de palma de aceite (T1), tuvo una adaptación y crecimiento bueno, no se presentaron marchitaciones, ni debilitamientos del tallo, existe un nulo progreso en brotes de la vegetación (ver anexo 2). Se destaca un aumento en el diámetro del tallo y altura de la plántula, sin embargo, no presenta unas características superiores a la de la turba, por el contrario, se asemeja a ella.

La combinación procedente del raquis de plátano (R2), tuvo mayor adaptación y crecimiento (ver anexo 3), se registra un aumento de altura y diámetro del tallo, a su vez presentó un desarrollo significativo en el tamaño de las hojas mayor al de los sustratos evaluados (C2, T1 y B6) y la turba.

La combinación procedente de la combinación de los tres residuos (Tusa, cascarilla y raquis “B6”) tiene similitudes de adaptación comparado con la turba, sin embargo, presenta tallos débiles y un crecimiento tardío en comparación con la turba que presenta un crecimiento promedio normal (ver anexo 4).

6.2 Fase II: Prueba experimental del sustrato seleccionado con variantes nutricionales

A partir de ello se selecciona el sustrato a base de cascarilla de arroz (C2) y se realizó una prueba experimental con una variación en el sustrato C2 en función de una mineralización con rocas que son accesibles en Colombia, como diabasas y calfos que aportan un agregado nutricional al sustrato de manera natural. Con lo anterior, se planteó generar dos combinaciones adicionales

al sustrato original (C2) y comparar los resultados con el sustrato de referencia (Turba) como se muestra en la tabla 12.

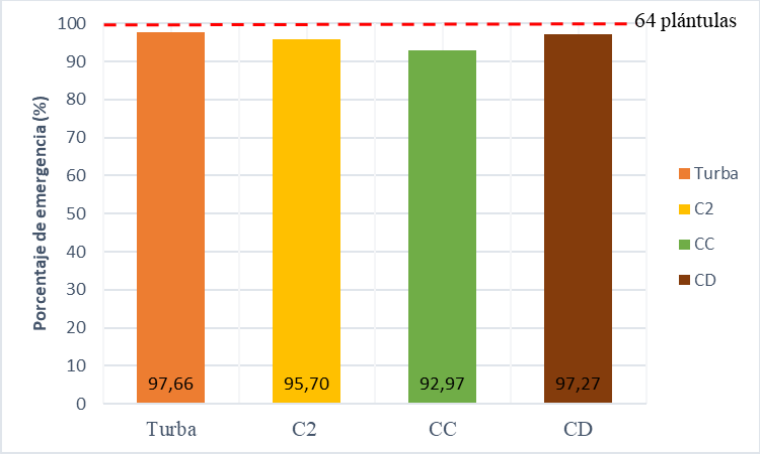
Tabla 12. Composición del sustrato seleccionado y las variantes nutricionales.

Nomenclatura	Tratamiento	Descripción
T	Turba (testigo)	100% turba
C2	Cascarilla	45%Abono-10%palmiste-30% cascarilla
CD	Cascarilla + Diabasas	42%Abono-9%palmiste-29% cascarilla-5% Diabasas
CC	Cascarilla + Calfos	42%Abono-9%palmiste-29% cascarilla-5% Calfos

6.2.1 Condiciones morfológicas del sustrato de control (turba), el sustrato seleccionado y las variantes nutricionales

6.2.1.1 Porcentaje de emergencia de las semillas de las pruebas finales. La variable de porcentaje de emergencia de la semilla se refiere al porcentaje de crecimiento óptimo registrado en los primeros 10 días de crecimiento de la plántula. cuyas variables se promediaron por tratamiento y se graficó la tendencia de esta, a modo de identificar la eficiencia del sustrato en dejar crecer la semilla en los primeros estadios de vida como se muestra en la gráfica 11.

Figura 14. Porcentaje de emergencia de la semilla del sustrato de control, sustrato seleccionado y las variantes nutricionales.



A rasgos generales, todos los sustratos formulados cumplen con los porcentajes de emergencia de la semilla. Puesto que, se presentaron variaciones mínimas en cada combinación y el sustrato referente. Las semillas que no emergieron en las CC, CD, C2 y T no superan el 10% de inhibición de la semilla. Por ello, se consideró que esta variación en los porcentajes de emergencia se le atribuye a la calidad y probabilidad de germinación del lote de semillas (85%) utilizado en la plantulación.

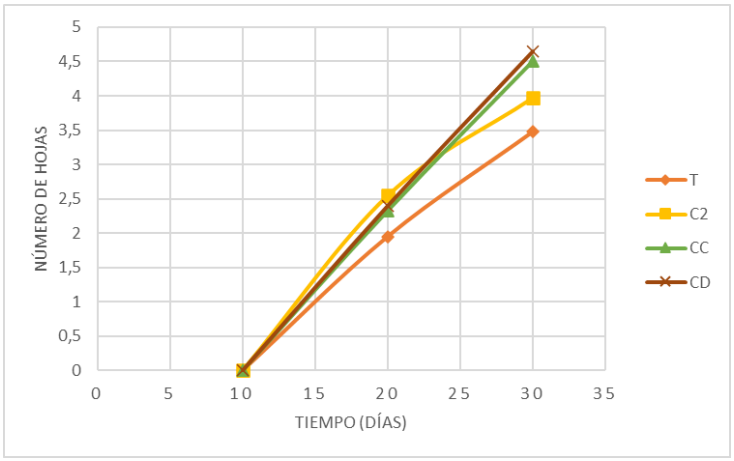
Durante el ciclo de crecimiento de las semillas de tomate, es necesario el proceso de germinación por medio de la etiolación, un crecimiento en ausencia de luz y sombra intensiva por un periodo de 5 días. En el transcurso de crecimiento en ausencia de luz, las combinaciones de CC, C2 y CD tuvieron un desarrollo tardío, a diferencia de la turba que tuvo un crecimiento acelerado, lo cual produjo que se debilitara el tallo por su elongación, perdiendo su firmeza y empezando un desarrollo de forma horizontal a ras de la bandeja (Suazo, 2019).

El análisis de varianza (ANOVA) en los 4 tratamientos, concluyó que al menos en un sustrato la media de la emergencia de las semillas de tomate es distinta, con un 95% de confiabilidad, por lo que se realiza la prueba TUKEY (0,05), la cual arrojo que los sustratos que difieren estadísticamente entre si son T y CC. Para ver los resultados obtenidos en emergencia de la semilla por medio de la prueba estadística de ANOVA y TUKEY (0,05) (ver anexo 8 y 9).

6.2.1.2 Número de hojas verdaderas de las pruebas finales. Los análisis de varianza arrojaron que entre los sustratos se encuentran diferencias significativas a partir del día 20 después de la siembra, por lo que se realizó prueba de comparación de los promedios ANOVA y TUKEY (0,05) para estimar la diferencia honestamente significativa entre las combinaciones formuladas y el sustrato turba. Para ver los resultados obtenidos en el número de hojas verdaderas, por medio de la prueba estadística de ANOVA y TUKEY (0,05), ver (anexo 10, 11, 12 y 13).

A continuación, se ilustra en la gráfica 12, el comportamiento en la aparición de hojas verdaderas durante la frecuencia de monitoreo.

Figura 15. Número de hojas verdaderas de las plántulas *del* sustrato de control, sustrato seleccionado y las variantes nutricionales.



Como se observa en la gráfica 12, la aparición de hojas verdaderas se dio a partir del segundo día de toma de datos, es decir, el día 20 después de la siembra, debido a que el proceso de etiolación sobrepaso el lapso recomendado alterando el proceso de generación de número de hojas.

Se observa además un aumento exponencial en el número de hojas, llegando a valores de 5 hojas por plántula, representada en el sustrato CD, sin embargo, la diferencia que existe entre los sustratos es la densidad del follaje y color de las hojas. Los sustratos que desarrollaron de forma más rápida y abundante el número de hojas son CC y CD.

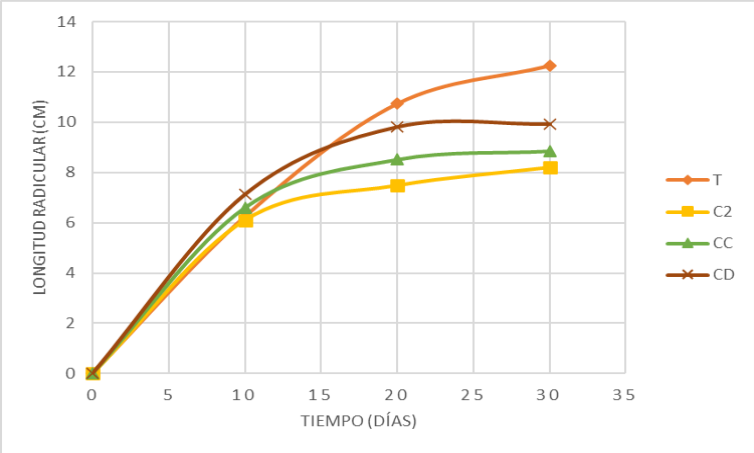
Según Monge (2007), Martínez y Roca (2011), Escobar y Lee (2009) y Corpoica (2012), Una plántula de tomate debe tener entre 3 y 4 hojas verdaderas para que sea apta para trasplantar a tierra, y de los sustratos analizados en esta investigación C2, CC, CD y T alcanzaron la media de este rango.

El análisis de varianza (ANOVA) concluyo que al menos en un sustrato la media de la emergencia de las semillas de tomate es distinta, con un 95% de confiabilidad en los días 20 y 30 después de la siembra. Para la prueba TUKEY (0,05) en el día 20 difieren estadísticamente los sustratos C2, CC y CD respecto a T. En cambio, C2 y CC, C2 y CD, no difieren estadísticamente, al igual que CC y CD. Para el día 30, las diferencias significativas se vieron en T y C2, C2 y CC, y C2 y CD. Para ver los resultados obtenidos en el número de hojas verdaderas, por medio de la prueba estadística de ANOVA y TUKEY (0,05), ver (anexo 10, 11, 12 y 13).

6.2.1.3 Longitud radicular de las pruebas finales. La longitud radicular presentó diferencias significativas según el análisis de varianza entre todos los sustratos en los periodos de medición de variables, por lo que se optó por la prueba de comparación TUKEY (0,05).

A continuación, se presenta el valor promedio de la longitud radicular entre los sustratos analizados, como lo muestra la gráfica 13.

Figura 16. Longitud radicular de las plántulas del sustrato de control, sustrato seleccionado y las variantes nutricionales.



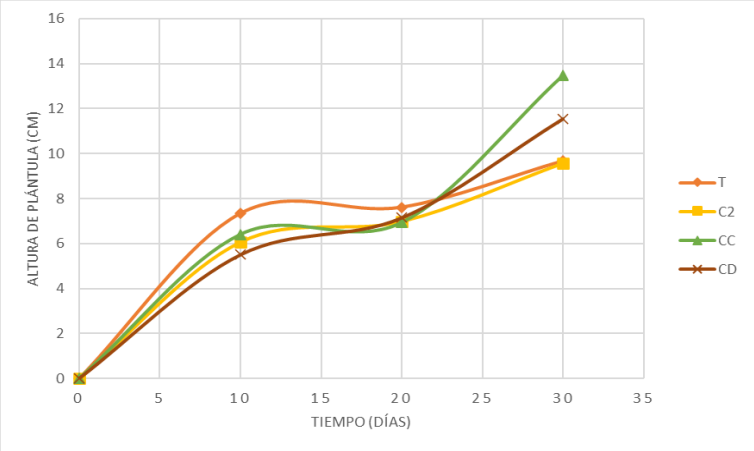
La longitud radicular en el sustrato referente (turba) tuvo mayor crecimiento en contraste con las otras combinaciones formuladas, con un margen de diferencia entre 2 y 4 cm de longitud radicular. Al igual que en las pruebas presentadas en la primera fase de la metodología, la turba sigue desarrollando mejor por su baja densidad aparente y alto espacio poroso, esto le permite a la raíz extenderse mejor en el medio, captar nutrientes y agua disponible. Como se evidencia en la gráfica 13, hay una diferencia significativa muy alta entre los valores de los sustratos a partir del día 20 y 30 después de la siembra.

Para el día 10 difiere estadísticamente C2 y CD (ver anexo 14 y 15), en el día 20, C2 y CC con respecto a T y C2 y CD (ver anexo 16 y 17); a los 30 días se presenta una diferencia estadísticamente significativa entre todos los sustratos (ver anexo 18 y 19).

6.2.1.4 Altura del tallo de las pruebas finales. En los análisis de varianza para este parámetro morfológico, se encontró diferencias significativas entre los sustratos en todos los días en los que se registraron datos, por lo cual, se determinó realizar la prueba TUKEY (0,05), de cada uno de estos días.

A continuación, se presenta los valores promedios de la altura del tallo en los sustratos analizados en los 3 periodos de monitoreo, como se muestra en la gráfica 14.

Figura 17. Altura del tallo promedio del sustrato de control, sustrato seleccionado y las variantes nutricionales.



Como se evidencia en la gráfica 15, a los 10 días de la siembra se presenta una diferencia significativa entre todos los tratamientos, mínima entre los sustratos CD y CC, y para la turba (T), se presenta una diferencia estadísticamente significativa con todos los sustratos (C2, CD, CC) (ver anexo 20 y 21); a los 20 días de la siembra no se difiere estadísticamente entre los sustratos C2, CC y CD (ver anexo 22 y 23). A partir del día 30 después de la siembra, se observa diferencia significativa entre los sustratos CC y CD, y sin diferencia significativa en el sustrato T con respecto a CD (ver anexo 24 y 25).

Durante el día 20 después de la siembra se observa mayor longitud del tallo, las combinaciones de CC, C2 y CD presentan un crecimiento semejante y a los 30 días del ciclo de crecimiento de las plántulas se registra un crecimiento acelerado en la longitud del tallo con robustez vegetativa (hojas verdes con coloración intensa y mayor diámetro del tallo), A diferencia

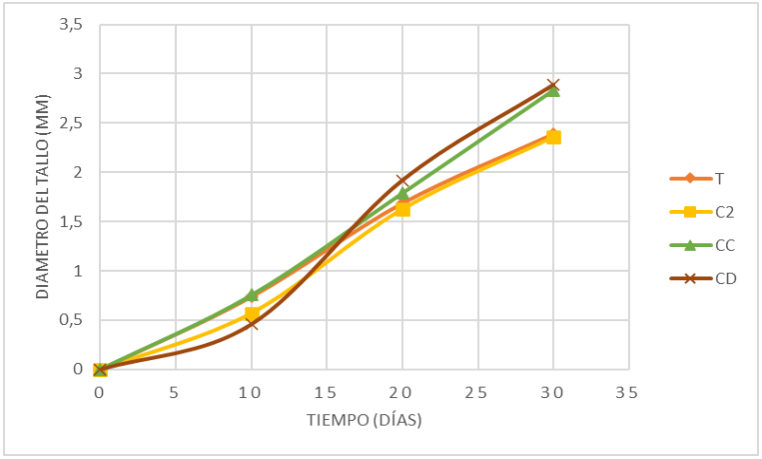
de la combinación C2 y la turba que registraron longitudes semejantes de 9,5 y 9,6 cm respectivamente.

El criterio de longitud óptima de una plántula de tomate para que sea trasplantada a tierra se encuentra entre 10 y 15 cm. Como indicaron los datos registrados, esta condición solo lo cumple CD y CC que presentaron el mejor crecimiento de altura del tallo con 11,55 y 13,46 cm respectivamente (Escobar y Lee,2009) (Cámara de comercio de Bogotá,2015).

6.2.1.5 Diámetro del tallo de las pruebas finales. Se encontraron diferencias significativas, en los datos tomados de diámetro del tallo, por medio de ANOVA, por lo que se procede a hacer pruebas de comparación TUKEY (0,05) para cada uno de los días evaluados, pudiendo establecer la diferencia por tratamiento.

A continuación, se presenta los valores promedios del diámetro del tallo en los sustratos analizados en los 3 periodos de monitoreo, como se muestra en la gráfica 15.

Figura 18. Diámetro del tallo promedio de las plántulas del sustrato de control, sustrato seleccionado y las variantes nutricionales.



El diámetro del tallo en las combinaciones mineralizadas fue mayor a comparación de la combinación C2 y la turba, a partir de los 20 y 30 días después de la siembra. Además, se evidencia una nula diferencia significativa entre CC y T en el día 10 (ver anexo 26 y 27). Sin embargo, a medida que transcurre el tiempo CC deja de tener nula diferencia significativa con T y se aleja de manera progresiva de la media de T, alcanzando los 2,83 mm y la turba con 2,38 mm, y

acercándose a CD en el último día de evaluación, el cual presentó el mejor desarrollo del diámetro con 2,88 mm.

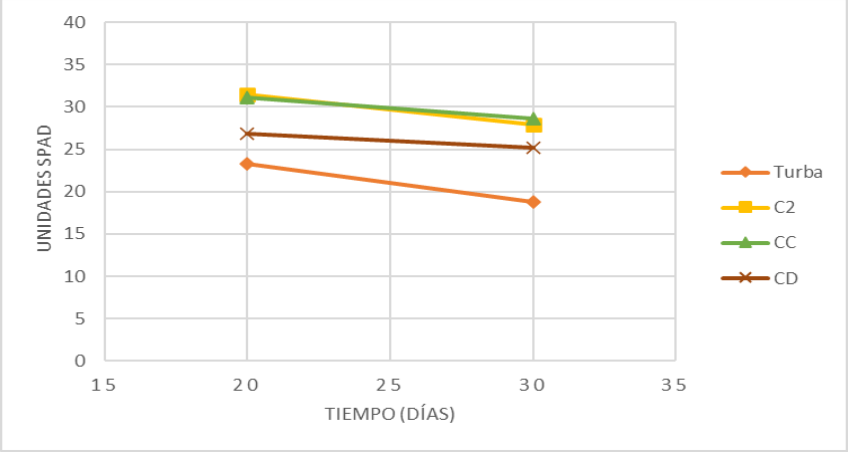
El crecimiento del diámetro del tallo es proporcional a su longitud, por lo que, se evidencia que C2 y T presentaron una nula diferencian significativa a los 30 días tanto en su diámetro con valores de 2,37 y 2,38 mm, como en la longitud (9,6 cm), sin embargo, no son los sustratos cuyo comportamiento ha sido el mejor, por el contrario, CD y CC han tenido un desarrollo significativo, con 2,8 mm de diámetro ambos, con una diferencia de 0,05 mm a favor de CD (ver anexo 28, 29, 30 y 31).

6.3 Fase III: Condiciones físicas, químicas y biológicas de las pruebas finales

6.3.1 Contenido relativo de clorofila de las pruebas finales

Los contenidos relativos de clorofila se midieron a partir del día 20 donde se da presencia de hojas verdaderas de un tamaño que facilita la medición con el clorofilómetro SPAD 502 plus.

Figura 19. Contenido relativo de clorofila de las plántulas del sustrato de control, sustrato seleccionado y las variantes nutricionales.



Los niveles de clorofila relativos tienen una tendencia de ir disminuyendo a lo largo que pasa el tiempo, Sin embargo, terminado el ciclo de crecimiento en maceta, llegan al suelo con un

nivel de clorofila alto para seguir su proceso en tierra, por lo que los valores son óptimos para un desarrollo de cosecha.

El sustrato T tuvo el menor contenido de clorofila con 23,3 unidades de SPAD para el día 20 y 18,73 unidades SPAD para los 30 días, por otro lado, el sustrato C2 y CC presentaron los niveles más altos con una diferencia mínima entre sus medias, en donde C2 empieza su contenido de clorofila relativo en 31,4 unidades de SPAD y desciende a los 27,9 ; en cuanto a CC aunque empezó con un contenido de 0,3 unidades de SPAD menos que C2, no descendió su contenido más que C2, pues este se mantuvo en 28,5 unidades de SPAD, por lo que lo hace el sustrato con mejor desarrollo de contenido de clorofila.

Se obtuvo resultados de composición mineral y material orgánicos sólidos (Anexo 5, 6 y 7), a su vez se realizaron los cálculos de densidad aparente, granulometría y porosidad total, los cuales se muestran en la tabla 13.

6.3.2 Características y composiciones fisicoquímicas de las pruebas finales

Tabla 13. Caracterización y composición de materiales orgánicos sólidos.

VARIABLE	C2	CC	CD	ESTAND	UNIDADES
Humedad	44	35,6	35,9	30-45	%
Ret. Humedad	46,1	48,6	44,1	-	%
Densidad real	0,73	0,78	0,82	1,45-2,65	g/cm3
Densidad aparente	1,03	1,38	1,26	<0,75	g/cm3
Tamaño de partículas	0,075 - 1,18			0,25-2,50	mm
Espacio entre poros	41	30	53	40- 60	%
pH	6,22	7,08	6,65	5-6,5	Unidades de pH
C.E	6970	5790	7130	<700-2000	µS/cm
CIC	22,4	25,8	25,7	>20	meq/100g
C/N	17	17	21	20-40	Adimensional

Nota: Adaptado de AGRILAB, 2023.

Los sustratos para uso hortícola presentan unos estándares para cumplir con los requerimientos necesarios del cultivo, con el fin de asegurar una óptima germinación y crecimiento de las plántulas, por ende, como se muestra en la tabla 16, se muestra el estándar y los valores resultantes de cada parámetro fisicoquímico de los sustratos C2, CC y CD, que se analizaron conforme a los parámetros descritos en el documento de Martínez y Roca (2011) titulado sustratos para el cultivo sin suelo, y a su vez del manual de producción de tomate bajo invernadero de Escobar y Lee (2009).

La retención de humedad es el parámetro el cual presenta una importancia clave, debido a que da los valores porcentuales de la capacidad del sustrato en retener líquido, haciendo que el sustrato se preste para el refresco y mantener una tasa de disponibilidad de agua para los requerimientos de la plántula a lo largo del día. Por tal motivo se encuentra que el valor más alto lo presenta C2 con una retención de humedad del 44%, seguida de CD con 35,9% y CC con 35,6%.

La densidad real demuestra la relación que existe entre la masa del material seco y el volumen real ocupado por las partículas. Dicha densidad oscila entre los 1,45 a 2,65 g/cm^3, por lo que ninguno de los sustratos cumple con el estándar mencionado, ya que presentan densidades menores a 0,8. Por otro lado, la densidad aparente es la relación entre la masa y el volumen ocupado, incluido los espacios entre poros, caso contrario a la real. Para este cálculo se llevó a cabo el método del turrón, donde se obtuvo que al igual que en la densidad real, ningún sustrato entró dentro del estándar recuerdo para buena función de densidad de sustratos para cultivos hortícolas, cuyo valor debe ser inferior a 0,75 g/cm^3 (anexo 29).

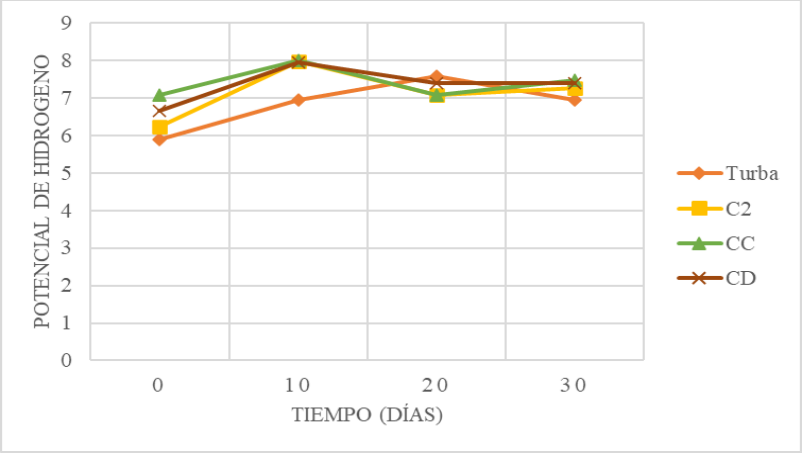
A nivel granulometría o tamaño de partículas se logra identificar la existencia de tamaños menores a 0,075 mm, procedentes de la cascarilla calcinada y del palmiste, y tamaño de partículas mayores a 1,18 mm, pertenecientes a arena gruesa y cascarilla de arroz presente en el abono orgánico de los sustratos. Dicha variabilidad en los tamaños de la particular hace que estos sustratos tengan buena aireación y retención de agua, ya que el material más fino retiene mucha agua y su capacidad de aireación es baja, y su material más grueso proporciona una mayor aireación y retención de agua baja (anexo 28).

La porosidad o espacio entre poros, se refiere al volumen total de sustrato no ocupado por partículas. Este parámetro debería estar entre el 40 y 60% para cultivos de tomate, ya que es el responsable junto con la granulometría de la aireación y retención de humedad del sustrato, siendo

C2 y CD aptos con el espacio entre poros, debido a que prestan un espacio de 41 y 53%, respectivamente.

Para las propiedades químicas del sustrato, se encuentra el pH, el cual es un parámetro muy sensible a cambios, como se evidencia en la gráfica 17 que presenta fluctuaciones en los valores de pH a lo largo del ciclo de valoración; además, del pH depende el buen desarrollo de la plántula, ya que puede afectar la cantidad de iones para la planta, por ende, se encuentra establecido un rango de 5 a 6,5 como óptimo. Con ello, el sustrato C2 es el único que entra dentro del rango óptimo, sin embargo, el pH de CD es ligeramente ácido (6,6), lo cual no representa un riesgo para el desarrollo de la plántula, a su vez que el sustrato CC quien presenta un pH neutro (7).

Figura 20. pH promedio del sustrato de control, sustrato seleccionado y las variantes nutricionales.



Los valores de conductividad eléctrica óptimo para sustratos de uso hortícola deben estar entre los 700 y 2.000 µS/cm, por lo que ningún sustrato entra en este parámetro ya que están por encima de los 5.000 µS/cm, lo que puede presentar riesgos de salinización para la plántula. Sin embargo, este parámetro no perjuicio el crecimiento y desarrollo de la plántula, debido a que posiblemente esta carga de sales disminuye a medida que se realiza el riego al sustrato, lo que estabiliza la conductividad y ayuda a que se mantengan óptima por un periodo de tiempo.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC), es la cantidad de cationes que prestan el sustrato y que pueden intercambiarse con cationes de los nutrientes. El CIC en cultivos hortícolas no hidropónicos debe ser alto, debido a que los nutrientes se concentran en el sustrato y van a ser

absorbidos gradualmente por las raíces de la plántula, evitando pérdidas de ello en los riegos. Para esta propiedad los niveles medios de CIC se encuentra entre 75 y 100 meq.100g^-1, sin embargo, se admite valores por encima de 20 meq.100g^-1, lo cual resulta acertado para todos los sustratos, siendo el de mayor CIC el sustrato CC con 25,8 meq.100g^-1, seguido de CD con 25,7 meq.100g^1 y C2 22,4 meq.100g^-1.

Por último, la relación carbono/nitrógeno, da un indicio del estado de descomposición de la materia orgánica por los microorganismos, ya que estos en su proceso de sintetizar la materia orgánica, consumen principalmente nitrógeno y oxígeno. Es importante resaltar que niveles de C/N altos no son estables para un cultivo, debido a que pueden sufrir transformaciones que perturben los parámetros físicos y químicos del sustrato. Para sustratos de uso hortícola la relación C/N óptima está entre 20 a 40, es decir, que CD con 21 se cataloga como un sustrato estable, sin embargo, C2 y CC presentan una relación carbono/nitrógeno de 17 unidades cada uno, que también es un valor óptimo y acorde a los sustratos orgánicos.

6.3.3 Fracción mineral del sustrato seleccionado y las variantes nutricionales.

La fracción mineral del sustrato seleccionado y las variantes nutricionales fueron analizadas mediante pruebas de laboratorio (ver anexo 5, 6 y 7) y se comparan los resultados obtenidos como se observa en la tabla 14.

Tabla 14. Caracterización de la fracción mineral.

VARIABLE	C2	CC	CD	UNIDADES
NT	0,434	0,46	0,403	%
P	2,58	3,89	3,5	%
K	0,477	0,595	0,525	%
Ca	5,84	9,49	8,14	%
Mg	0,346	0,472	0,545	%
S	0,048	0,099	0,035	%
Fe	0,369	0,116	0,559	%
Mn	166	61,3	197	mg/kg
Cu	10,7	14,2	19,3	mg/kg
Zn	46	53,6	50,3	mg/kg

Tabla 14. (Continuación)

B	106	93,3	128	mg/kg
Na	0,065	0,085	0,095	%
Si	25	25,8	28,2	%

Nota: Adaptado de AGRILAB, 2023.

Con base en la caracterización de macronutrientes y micronutrientes de las pruebas de laboratorio y el manual de producción de tomate de Escobar y Lee (2009), se analiza lo siguiente:

La alta disponibilidad de nutrientes esenciales como el N, P, Ca, Mg S, B y Cu les facilita a las plántulas de tomate la obtención de proteínas, además brinda una pared celular sana, y altos niveles de clorofila y citocromos. Como se evidencia en la gráfica 16, el nivel de clorofila de las plántulas en los sustratos mineralizados es mucho mayor al de la turba.

La alta disponibilidad de K le da la capacidad de intervenir en la regulación y estrés hídrico que pueden sufrir las plántulas. Durante la medición de la longitud radicular en los sustratos mineralizados, no se evidencio opacidad en la tonalidad de la raíz, factor que indica si la plántula está pasando por un estrés hídrico.

La presencia de Zn, Fe, Mn, logra incentivar la actividad enzimática a la plántula, beneficiando su desarrollo morfológico, variables que fueron favorables tanto para CC, como CD. La alta disponibilidad de Ca, Mg y Na le dan mayor capacidad de intercambio catiónico al sustrato mejorando capacidad de retención de nutrientes, para que en durante del ciclo de vida de la plántula, sea aprovechado.

Por último, para el caso del silicio este les da firmeza a las paredes celulares, condición que se evidencio en la robustes que presentaron los tallos (grafica 15), gracias a la cascarilla parcialmente incinerada, que proporciona este mineral.

6.3.4 Condiciones biológicas de las pruebas finales

A continuación, se presenta en la sección de resultados, como se determinó las condiciones biológicas del sustrato seleccionado en la segunda prueba experimental. Esta prueba fue analizada por medio de fuentes secundarias para dar cumplimiento al tercer objetivo del presente trabajo de grado.

6.3.4.1 Bacillus Thuringiensis. Los *Bacillus Thuringiensis* es una bacteria aerobia, bacilo Gram positiva, que mide de 3 a 5 µm de largo por 1 a 1,2 µm de ancho, se distinguen por tener un contorno de cepa irregular, color blanco con cierta tonalidad grisácea y textura lisa, cerosa en el centro y mate en los bordes (Ruiz et al, 2004).

Los *B. Thuringiensis* desarrollan esporas de resistencia elipsoidales, las cuales son tóxicas para distintos invertebrados, como las larvas. Este tipo de microorganismos son los insecticidas biológico más aplicado en el mundo y se utilizan para controlar diversos insectos que afectan la agricultura, la actividad forestal y que transmiten patógenos humanos y animales (Sauka y Benintende,2008).

Por lo anterior se reconoció la importancia de esta cepa en la aplicabilidad del sustrato para darle protección ante enfermedades sin necesidad de hacer uso de agroquímicos.

6.3.4.2 Trichoderma. *T. harzianum* es un hongo benéfico que presentan hifas hialinas y ramificadas con diámetro 5-8 µm, esporangióforos alargados con pedicelo de 5 µm y esporangios elipsoidales. Esta morfología del hongo hace presencia macroscópica por medio de un micelio blanco sobre el sustrato y eventualmente su color va cambiando a verde oscuro después de la esporulación.

La *Trichoderma harzianum*, es capaz de controlar otros hongos maliciosos como el *Botrytis cinerea* capaz de producir enfermedades como moho gris, el *Colletotrichum gloeosporioides* generador de antracnosis, y *Rhizoctonia solani* productor de la pudrición algodonosa, comúnmente estas enfermedades se presentan en cultivos de tomate, es decir, que la trichoderma actúa como un agente de control biológico contra otros hongos debido a sus enzimas y antibióticos que expulsa en el medio donde se encuentra (Chiriboga et al., 2015) (Ezziyyani et al.,2004).

6.4.4.3. Micorrizas. La simbiosis que existe en tres las raíces vegetales y los hongos es considerada como micorrizas. De los tres tipos de micorrizas que existen, fue inoculado las micorrizas arbusculares, las cuales han demostrado sus benéficos en el desarrollo radicular y productivo de las plantas, además brindan una resistencia a enfermedades, inciden en la captación de agua y nutrientes, lo que conlleva a que las plantas tengan una mayor tolerancia a la falta de agua y a la salinidad. Asimismo, el uso de este fungí disminuye el uso de fertilizantes de síntesis química y aumenta la posibilidad de usar suelos degradados (Peña et al.,2019) (León,2006). La

presencia de esta simbiosis se evidencia tras su colonización, en donde se produce una ramificación y un desarrollo del micelio externo sobre las raíces, que es la clave en la captación de nutrientes como se evidencio en las pruebas (León,2006).

6.3.4.4 Mantillo de bosque. Siguiendo la idea de la agricultura sustentable, se llega al uso del mantillo de bosque, el cual posee microrganismos nativos del suelo de la región donde se hace el cultivo. El aporte de este agregado, entrega un suelo rico en materia orgánica sintetizada por microorganismo, a su vez una serie de simbiosis microscópica pertenecientes a los microorganismos benéficos (MB) como virus, hongos o bacterias, los cuales constituyen una herramienta esencial y básica, que logra ser de gran utilidad para el desarrollo de una agricultura limpia y amigable con el entorno productivo (Viera,2020).

Los organismos enriquecen el sustrato y promueven el crecimiento vegetal, en especial la biomasa radicular, parte de la planta esencial, pues allí se lleva el proceso de la absorción de nutrientes y agua necesarios para el óptimo desarrollo de esta, por lo tanto, su incidencia en el sistema radicular mejora la absorción de nutrientes como N y Ca, elementos que están relacionados a la división celular, la estructura de las paredes celulares, el crecimiento de la planta (Viera, 2020).

7. Impacto social y humanístico del proyecto

El uso de un sustrato alternativo que no requiere agroquímicos, y que a su vez no repercute en la calidad y cantidad de la producción, proyecta un futuro prometedor a la población, en la adquisición de un producto de la canasta familiar que asegure una trazabilidad de cultivo limpio de xenobióticos contribuyendo a la seguridad alimenticia.

Se disminuiría en gran medida la fragmentación de las turberas, protegiendo de alteraciones significativas los servicios ecosistémicos de abastecimiento (agua dulce y alimentos), apoyo (hábitat de especies y conservación de la diversidad genética), regulación (prevención de erosión, secuestro de carbono y calidad del aire) y cultural (apreciación estética y turismo) de las comunidades que habitan o son aledañas de los ecosistemas alpinos y páramos, promoviendo una mejor calidad de vida (FAO, 2022), puesto que , se concilia un ambiente sano y una disponibilidad de alimentos que aporten a la nutrición y cuidado de la salud. Por otra parte, el grado de beneficio económico para el agricultor es un factor para tener en cuenta, ya que el costo del sustrato alternativo es 68,8% menor al costo de una paca de turba en el mercado, contribuyendo al ahorro en la producción.

8. Discusión de Resultados

Los sustratos presentados en la etapa final de la investigación se fundamentan en una transición de agricultura orgánica, asimismo, los beneficios ambientales de la fabricación de los sustratos C2, CC y CD son significativos, puesto que, se está reincorporando residuos vegetales provenientes de monocultivo, los cuales reducen los desperdicios vegetales y la fragmentación de páramos, subpáramos y humedales, salvaguardando ecosistema, especies, el recurso hídrico y reduciendo la emisión de dióxido de carbono a la atmosfera.

Las proporciones de materiales implementados en la investigación (materia orgánica, minerales y microorganismos) fueron formulados para proyectar una agricultura ecológica, que permita obtener plantas más naturales, que minimicen el uso de agroquímicos que de alguna manera se infiltra al suelo y al fruto, y genera contaminación de este.

Por medio del programa análisis de datos de Excel, se realizó el análisis de varianza y prueba Tukey (0,05) entre los parámetros morfológicos, por el cual se obtuvo que existe una relación entre la longitud y el diámetro de las plántulas. Además, se determinó que solo la media de altura en las plántulas de los 4 sustratos analizados es similar, con 95% de confiabilidad a los 20 días de crecimiento (grafica 14 y anexo 22), a diferencia de los demás parámetros cuya aceptación estuvo relaciona sobre la hipótesis alternativa (H1) donde al menos en un sustrato la media del parámetro morfológico es distinta, con 95% de confiabilidad.

A diferencia de otras investigaciones que formulan el uso de turba con otros materiales orgánicos, y concluyen en la mayoría de los casos que el uso de turba es esencial en ciertas proporciones para la obtención de plántulas de calidad. El presente trabajo de grado precisa la formulación de sustratos alternativos libres de turba, con la finalidad de eliminar el uso de este sustrato orgánico contraproducente para el medio ambiente, debido a su extracción de los páramos, subpáramos y humedales, los cuales son ecosistemas estratégicos.

Conclusiones

Se realizó un sesgo en las en la fase I, para lograr identificar 4 combinaciones de sustratos base, como candidatos a sustituir la turba por medio de la comparación de la media de los parámetros morfológicos (emergencia, altura del tallo, longitud radicular, diámetro del tallo y número de hojas verdaderas) y parámetros químicos (pH, conductividad eléctrica y contenido de clorofila), de los cuales se obtuvo T1, C2, R2 y B6. El análisis de medias se realizó nuevamente, esta vez analizando los 4 candidatos y se realizaron pruebas organolépticas de adaptabilidad a tierra.

La combinación R2 a base de raquis de plátano y C2 a base de cascarilla de arroz, tuvieron la mejor adaptabilidad a tierra, a través del buen desarrolló del tallo, brote y tamaño de las hojas a comparación del sustrato referente (turba). A pesar de que la combinación R2 presentó una adaptabilidad en tierra mayor a la de C2, su porcentaje de emergencia es del 46,8%, esto repercute en un déficit de producción de tomate, puesto que, las pérdidas de productividad son del 53,2%. Por ende, se descartó la combinación R2 y se seleccionó la combinación C2 como mejor candidato en este sesgo.

De la fase I se obtiene la combinación C2, la cual posee mantillo de bosque al 10%, (M.M) Abono en un 45%, palmiste al 15% y cascarilla de arroz en 30%, dicha combinación tuvo el mayor porcentaje de emergencia, desarrollo morfológico y cumplimiento de parámetros químicos en comparación con los otros sustratos formulados y la turba, por ende, se realizó en la fase II su mineralización con diabasas y calfos a un 5%, modificando la composición inicial.

Con base en los resultados obtenidos por análisis estadístico ANOVA y TUKEY (0,05), los sustratos mineralizados (CC y CD) se difieren estadísticamente con respecto a la turba en la altura y diámetro del tallo, y en la longitud radicular.

Los sustratos alternativos mineralizado fueron superiores a la turba, sin embargo, la turba logro las mejores germinaciones con promedio de 97,6% de semillas y longitudes radiculares mayores a 12 cm en el último día del ciclo de crecimiento.

Los sustratos analizados en etapa final presentaron similitud en los porcentajes de emergencia, puesto que, la inhibición de la germinación fue inferior al 10%. Sin embargo, se

descarta el uso de turba, ya que durante la emergencia de la semilla presentó un crecimiento anormal en comparación a las combinaciones CC, CD y C2, debido al proceso de etiolación.

CD y CC cumplieron con los criterios de calidad de la plántula, debido a que obtuvo un desarrollo de hojas verdaderas entre 3 y 4, y una altura mayor o igual a 10 cm, además demostraron tonalidades en el tallo ligeramente purpuras, no presentaron enfermedades, ni entorchamiento de hojas, y las raíces eran blancas y delgadas, haciendo las plántulas aptas para su trasplante a sitio definitivo. Dichas variables morfológicas, se deben al buen porcentaje de mineralización que presentaron de macronutrientes esenciales (N, P, K) y secundarios (Ca, Mg, S).

El sustrato mineralizado con diabasas presento el nivel óptimo para ser sustituto de la turba en la plantulación de tomate, ya que de las 15 variables medibles fue la mejor candidata en 5, en donde para las condiciones morfológicas destaco en el desarrollo de número de hojas verdaderas con un promedio de 4 a 5 hojas y diámetro del tallo entre 2,5 y 3 cm, para las condiciones fisicoquímicas, presento valores destacados en espacio entre poros (53%), tamaño de partículas (00,75 – 1,18 mm) y la relación Carbono/Nitrógeno (C/N) con un valor de 21.

La adición de microorganismos como *Bacillus Thuringiensis*, *Trichoderma harzianum* y micorrizas, lograron inhibir el crecimiento de plagas y enfermedades, también redujo el estrés hídrico, transformó los nutrientes en los sustratos en nutrientes disponibles para la plántula y le brindó mayor estabilidad del tallo y crecimiento morfológico, evidenciado a través del micelio presente en los sustrato de la plántula y la relación carbono/nitrógeno presente en los sustratos la cual está cerca de 20 y es la medida base para un sustrato estable microbiológicamente. Además, se realizaron pruebas con sustratos sin la adición de esta medida de control biológico, lo que generó larvas, hongos y sequia del sustrato.

Recomendaciones

Se sugiere tener prelación en el periodo de etiolación (crecimiento en ausencia de luz) de las semillas de tomate en los diferentes sustratos, esencialmente en la turba, dada las características de baja densidad y espacio entre poros mayor al 40% les permite a las plántulas sembradas en dicho medio, enraizar más rápido y por medio de las raíces reducir el estrés hídrico y captar mejor los nutrientes. En el caso de que se presente un crecimiento acelerado del tallo, se debe retirar las bandejas del cuarto oscuro para evitar inestabilidad y desarrollo anormal del tallo, como se contempló en esta investigación.

Se recomienda realizar un estudio que evalúe diferentes concentraciones minerales (calfos y diabasas) al sustrato seleccionado C2, para analizar la viabilidad de racionalizar de forma pertinente, el uso de esta materia prima extraída por actividades de minería.

Para estudios futuros es importan realizar pruebas del sustrato en el sitio de siembra definitivo, con el fin de determinar la productividad y beneficios económicos para los agricultores. A su vez, de realizar un estudio complementario a la presente investigación, en donde se evalué el desarrollo del cultivo en tierra y la obtención de frutos más naturales, que no requieren agroquímicos.

Se recomienda realizar diferentes composiciones microbiológicas, incluyendo el mantillo de bosque, con el fin de comparar la influencia microbiológica con el desarrollo de la plántula de tomate. Caracterizando el mantillo de bosque de diferentes montañas, para determinar la variación de microorganismos benéficos y como estos influyen en el desarrollo de la plántula de tomate.

Realizar un estudio complementario, en donde se evalué la eficiencia del sustrato en otro tipo de cultivos, diferente a la horticultura.

Referencias

Abril, M. (2017). Diseño del manual de procedimientos para la plantulación de tomate (*lycopersicum esculentum mill sp*) en la empresa Plántulas de Colombia SAS, Sutamarchán Boyacá [tesis de pregrado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia]. https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2034/1/TGT-698.pdf

Andrade, Y., Hidalgo, A y Herrera, C. (2019). Caracterización de lixiviados generados del raquis de plátano (Musaceae paradisiaca l). Revista Sistemas De Producción Agroecológicos, 10(1), 18-47. https://revistas.unillanos.edu.co/index.php/sistemasagroecologicos/article/view/723/782

Agarwal, P., Saha, S y Hariprasad, P. (2021). Agro-industrial-residues as potting media: physicochemical and biological characters and their influence on plant growth. Biomass Conversion and Biorefinery, 1-24. https://doi.org/10.1007/s13399-021-01998-6

Alexander, P., Bragg, N., Meade, R., Padelopoulos. y Watts, O. (2008). Peat in horticulture and conservation: the UK response to a changing world. Mires and Peat, 3(8), 1–10. http://pixelrauschen.de/wbmp/media/map03/map_03_08.pdf

Cámara de comercio. (2015). *Manual tomate: Programa de apoyo agrícola y agroindustrial* [Archivo PDF]. https://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/14307/Tomate.pdf?sequence=1&isAll owed=y

Corpoica. (2012). Tecnologías para el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas. https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13320

Chiriboga, H., Gómez, G. y Garcés, K. (2015). *Protocolos para la formulación y aplicación del bio-insumo: Trichoderma spp. para el control biológico de enfermedades* [Archivo PDF]. https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/2647/BVE17038725e.pdf;jsessionid=C15519C2F8DA9586AF1494693CD89D50?sequence=1

Di Benedetto, A. (2007). Alternative substrates for potted ornamental plants based on argentinean peat and argentinean river waste: a review. Global Science Book, 1-101. https://www.researchgate.net/publication/264311214_Alternative_substrates_for_potted_orname

Duarte, I. (2017). Restauración ecológica en turberas de páramos y ecosistemas alpinos, una revisión mundial para la aplicación de enfoques y técnicas en Colombia [tesis de posgrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Escobar, H. y Lee, R. (2009). *Manual de producción de tomate bajo invernadero* [Archivo PDF]. Universidad Jorge Tadeo Lozano. https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13534

Espinosa, A. (2019). *Evaluación de dos sustratos y sus mezclas, para la propagación de tomate (Solanum lycopersicum) tipo chonto de crecimiento indeterminado, bajo condiciones de invernadero, en la sabana occidente de Bogotá*[Tesis de pregrado, Universidad de los Llanos].https://repositorio.unillanos.edu.co/bitstream/handle/001/1508/evaluacion%20de%20dos%20sustratos%20y%20sus%20mezclas%2c%20para%20la%20propagacion%20de%20tomate%20%28solanum%20lycopersicum%29%20tipo%20chonto%20de%20crecimiento%20indetermin ado%2c%20bajo%20condiciones%20de%20invernadero%2c%20en%20la%20sabana%20occide nte%20de%20bogot%c3%81.pdf?sequence=1&isallowed=y

Enrich-Prast, A., Gaxiola, A., Santoro, A., Durán, J., Rodríguez, A. y Marotta, H. (2018). Ciclos biogeoquímicos y cambios globales. En Marquet. P (Ed). *Cambio global una mirada desde Iberoamérica* (111-125). ACCI. https://www.divaportal.org/smash/get/diva2:1368257/FULLTEXT01

Ezziyyani, M., Pérez, C., Sid, A., Requena, M. y Candela, M. (2004). *Trichoderma harzianum* como biofungicida para el biocontrol de *phytophthora capsici* en plantas de pimiento (*Capsicum annuum L.*). *Anales de biología* (32-45). https://www.um.es/analesdebiologia/numeros/26/PDF/05-TRICHODERMA.pdf

FAO. (2022). Ecosystem services and biodiversity. https://www.fao.org/ecosystemservices-biodiversity/es/

Hernández, R. (2012). Metodologías de evaluación, caracterización y programación del riego en sustratos [tesis de posgrado, Centro de Investigación en Química Aplicada]. https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/411/1/Roman%20Antonio%20Hern andez%20Hipolito.pdf

Instituto de Hidrología, Meteorología, y estudios ambientales. y. (12 de 07 de 2006). *Conductividad.*

http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+El%C3%A9ctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4#:~:text=La%20conductividad%20es%20una%20medida,la%20temperatura%20de %20la%20medici%C3%B3n.

Shrestha, S., Bruck, H. y Asch, F. (2012). Chlorophyll index, photochemical reflectance index and chlorophyll fluorescence measurements of rice leaves supplied with different N levels. *Photochemistry and Photobiology, 113*, 7-13. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2012.04.008

León D. (2006). *Evaluación y caracterización de micorrizas arbusculares asociadas a yuca (Manihot esculenta sp) en dos regiones de la amazonia colombiana* [Tesis de pregrado, Pontifica Universidad Javeriana].https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8323/tesis296.pdf?sequenc e=1

Maldonado, J., Agüero, M., Buglione, M., Iturmendi, F., Filippi, M. y Martínez, D. (2020). Pear and apple pomace compost in the production of tomato (*Lycopersicon esculentum Mill.*) seedlings. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, *53*(1), 128-138. https://rid.unrn.edu.ar/bitstream/20.500.12049/7374/1/2021_Maldonado_Pear%20and%20apple %20pomace%20compost%20in%20the%20production%20of%20tomato%20%28Lycopersicon %20esculentum%20Mill.%29%20seedlings.pdf

Martínez, P. y Roca, D. (2011). Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. En: Flórez R., V.J. (Ed.). Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia. pp. 37-77. https://www.researchgate.net/profile/Dolors_Roca/publication/237100771_Sustratos_para_el_cultivo_sin_suelo_Materiales_propiedades_y_manejo/links/0deec51b8657d36d7e000000/Sustratos-para-el-cultivo-sin-suelo-Materiales-propiedades-y-manejo.pdf

Ministerio de agricultura y desarrollo rural. (2021). Cadena de las Hortalizas: Dirección de Cadenas Agrícolas y

Forestales.https://sioc.minagricultura.gov.co/Hortalizas/Documentos/2021-03-30%20cifras%20sectoriales.pdf

Ministerio de agricultura y desarrollo rural. (2015). Sector hortícola colombiano-2015. https://sioc.minagricultura.gov.co/Hortalizas/Documentos/2015-07-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf

Mondragón, J; Serna, J; García, L y Jaramillo M. (2018). Caracterización fisicoquímica de los subproductos cáscara y vástago del plátano *Dominico harton*. Revista Ion, 30(2), 21-24. http://www.scielo.org.co/pdf/rion/v31n1/0120-100X-rion-31-01-21.pdf

Montoya, J. y Ordóñez, N. (2009). *Uso del clorofilómetro spad-502 para diagnosticar la deficiencia de nitrógeno en sorgo (sorghum bicolor l. moench) de la línea icsvlm-92512 bajo diferentes dosis de nitrógeno en la finca el plantel. zambrano, masaya.* [Tesis de pregrado, universidad nacional agraria]. https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/2086.

Monge, A. (2007). *Evaluación del crecimiento y desarrollo de plántulas de tomate (lycopersicon esculentum) mill y chile dulce (capsicum annuum) linn, mediante la utilización de seis sustratos y tres métodos de fertilización en el cantón de san carlos, costa rica* [Tesis de pregrado, Instituto Tecnológico de Costa Rica].https://core.ac.uk/download/pdf/60991235.pdf

Núñez, Arianna (2009). Turba y zeolita como soportes de inoculantes microbianos con acción fertilizante. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, XLIII (3),22-27. [fecha de Consulta 18 de agosto de 2022]. ISSN: 0138-6204. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120660004

Ortega, L., Sánchez, J., Diaz, R. y Ocampo, J. (2010). Efectos de diferentes sustratos en el crecimiento de plántulas de tomate. *Ra Ximhai*, *6*(3), 365-372. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46116015005

Smith, J. y Doran, J. (1997). *Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis*. SSSA Special Publications. 10.2136/sssaspecpub49.

OEC. (2023). *Peat in Colombia.* https://oec.world/es/profile/bilateral-product/peat/reporter/col

Peña, N., Muñoz, D., Peláez, A., Acosta, F. y Ramírez, S. (2019). *Beneficios del uso de las micorrizas en la agricultura* [Archivo PDF]. https://www.colmayor.edu.co/wp-content/uploads/2019/10/2.16.-Beneficios-del-uso-de-las-micorrizas-en-la-agricultura.pdf

Pía, M., Chilosi, G., Muganu, M., Vettraino, A., Marinari, S., Paolocci, M., Luccioli, E. y Vannini, A. (2015). On farm production of compost from nursery green residues and its use to reduce peat for the production of olive pot plants. Scientia Horticulturae, 193, 301-307. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.06.048

Ramírez, N., Silva, A., Garzón, E. y Yáñez, E. (2011). *Caracterización y manejo de subproductos del beneficio del fruto de palma de aceite* [Archivo PDF]. https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/boletines/article/view/10502/10492

Ruiz, I., Ibáñez, I., Padilla., M., Carnero, A. y Caballero, P. (2004). Aislamiento y caracterización de nuevas cepas de *Bacillus thuringiensis* procedentes de muestra de tierra de Canarias. *Boletín de sanidad vegetal, plagas, 30*, 703-712. https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/plagas/BSVP-30-04-703-712.pdf

Sagastume, H. (2011). *Caracterización técnica y administrativa del proceso de producción de plántulas en pilón para pequeñas y medianas empresas productoras de hortalizas en Chimaltenango, Guatemala.* [tesis de posgrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3165.pdf

Sauka, D. y Benintende, G. (2008). Bacillus thuringiensis: generalidades. Un acercamiento a su empleo en el biocontrol de insectos lepidópteros que son plagas agrícolas. *Revista Argentina de Microbiología*, *40*(2), 124-140. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S032575412008000200013#:~:text=Bacillus%20thuringiensis%20es%20el%20insecticida,un%20tema%20de%20investigaci%C3%B3n%20intensiva.

Sixto, E. (2018). Historia de la horticultura. Ediciones INTA. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_asaho_historia_horticultura.pdf

Suazo, M (2019). *Evaluación de técnica de etiolación con aplicación de ácido indol butírico (AIB) a distintas concentraciones en propagación de estacas de boldo (Peumus boldus)* [Tesis de pregrado, universidad de Talca]. http://dspace.utalca.cl/bitstream/1950/12101/5/20190138.pdf

Taparia, T., Hendrix, E., Nijhuis, E., de Boer, W. y Van der Wolf, J. (2021). Circular alternatives to peat in growing media: A microbiome perspective. Journal of Cleaner Production. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129375

Telenchana, J. y Yánez, W. (2018). *Evaluación de sustratos alternativos a base de cascarilla de arroz y compost en plántulas de pimiento (Capsicum annuum L.)* [tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/27192

Vargas, J., Alavarado, P., Vega-Baudrit, J. y Porras, M. (2013). *Caracterización del subproducto cascarillas de arroz en búsqueda de posibles aplicaciones como materia prima en procesos*. *23*(1), 87-102. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5069938

Vélez, J. (2015). *Diagnóstico ambiental de la producción de hortalizas en el Oriente Antioqueño* [tesis de pregrado, Corporación Universitaria Lasallista]. http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1639/1/diagnostico_ambiental_imp actos_ambientales_asociados_producc.pdf

Villela, D., Castillo, E. y Cantallopts, J. (2017). Potencial de la turba en la minería no metálica en Chile. https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Informe%20Turba%20VF.pdf

Viera, W. (2020). Rol de los microorganismos benéficos en la Agricultura Sustentable. Journal of the Selva Andina Biosphere, 8(2), 67-68. https://doi.org/10.36610/j.jsab.2020.080200067

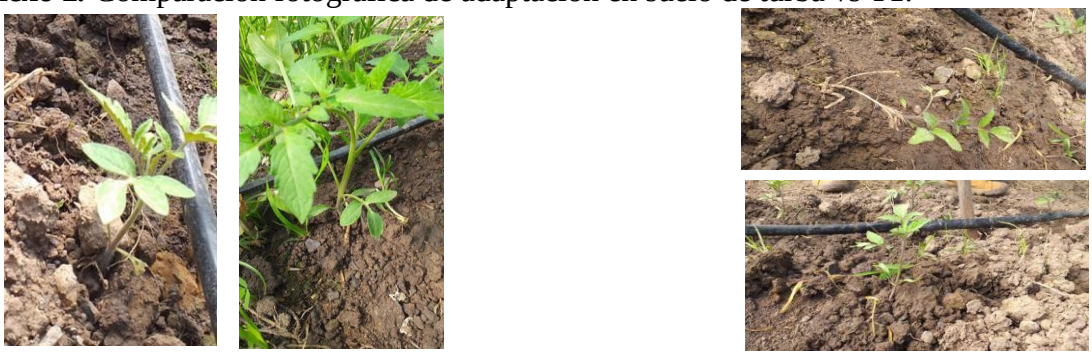
Zhong, Z., Fangyuan, B. y Xiaoping, Z. (2018). Testing composted bamboo residues with and without added effective microorganisms as a renewable alternative to peat in horticultural production. *Journal of Industrial Crops and Products, 112*, 602-607. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.043

Anexos

Anexo 1. *Comparación fotográfica de adaptación en suelo de turba vs C2.*



Anexo 2. Comparación fotográfica de adaptación en suelo de turba vs T1.



Anexo 3. Comparación fotográfica de adaptación en suelo de turba vs R2.



Anexo 4. Comparación fotográfica de adaptación en suelo de turba vs B6.



Anexo 5. Informe del análisis de resultados físicos, químicos y fracción mineral del sustrato C2.

AGRILAB Servicios ambientales y agrícolas

INFORME DE RESULTADOS

ÁREA DE ANÁLISIS DE MATERIALES ORGÁNICOS

Registro ICA LB0000342021

Vigencia 17 de Nov. de 2031

Informe N°	40369-V1-2022	N° de Laboratorio	AMO-02723-2022

Información del Cliente			
Remitente	BIOMIO S.A.S.	Responsable	SR. SEBASTIAN SAAVEDRA
Propietario	BIOMIO S.A.S.	Email contacto	adbiomio@gmail.com; basmalin@hotmail.com
Fecha Ingreso	14-12-2022	Fecha Emisión	30-12-2022

Información de la Muestra Suministrada por el cliente			
Identificación Suministrada	C-2	Lote / Bloque	N.S.
Fuente del Material / Inf. Adicional	NINGUNA	Contrato N°	
Descripción Física	SÓLIDO NEGRO	Condiciones recepción	CONFORME

CARACTERIZACIÓN Y COMPOSICIÓN DE MATERIALES ORGÁNICOS SÓLIDOS

Variable	Expresión / Sigla	Resultados	Unidades	Extractante/Técnica/Documento Normativo
Humedad	N.A.	44.0	%	40 y 70 °C / Gravimetría / NTC 5167 (r)
pH en pasta de saturación	pH	6.22	Unidades de pH	Pasta de saturación / Potenciométrico / NTC 5167 (r)
Conductividad Eléctrica	CE	6.97	dS/m	Pasta de saturación / Conductimétrico / NTC 5167 (r)
Retención de Humedad	Ret. Hum.	46.1	%	Pasta de saturación / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Cenizas	N.A.	35.3	%	700 °C / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Perdidas por Volatilización	N.A.	20.7	%	700 °C / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Capacidad de Intercambio Catiónico - CIC	CIC	22.4	meq/100g	Acetato de amonio / Volumétrico / NTC 5167 (r)
Densidad Real (en base seca)	N.A.	0.728	g/cm3	Directo / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Carbono Orgánico Oxidable Total	COOx	7.45	%	Sln. Dicromato de Potasio / Colorimétrico / NTC 5167 (r)
Relación Carbono / Nitrógeno	C/N	17	Adimensional	Relación matemática

CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL

Nitrógeno Total	NT	0.434	%	Sumatoria de Especies de Nitrógeno requeridas por el cliente
Nitrógeno Orgánico	N Orgánico	0.434	%	Micro-Kjeldahl / Volumetría / NTC 5167-NTC 370 (r)
Fósforo total	P_2O_5	2.58	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Colorimetría /NTC 234 (r)
Potasio Total	K_2O	0.477	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EEA / NTC 5167 - NTC 202 (r)
Calcio total	CaO	5.84	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Magnesio total	MgO	0.346	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Azufre total	S	0.048	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Turbidimetría / NTC 5167 - IGAC(1982) -NTC 1154 (r)
Hierro total	Fe	0.369	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Manganeso total	Mn	166	mg/kg	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)

CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL

Cobre Total	Cu	10.7	mg/kg	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Zinc Total	Zn	46.0	mg/kg	MVH Ác. Nítrico:Ác. Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Boro total	B	106	mg/kg	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Colorimétrico / NTC 5167 - NTC 1860 (r)
Sodio Total	Na	0.065	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EEA / NTC 5167 - NTC 1146 -EPA 7000B (r)
Silicio total	SiO_2	25.1	%	MVH HF / EAA / NTC 5167 (r)
Residuo Insoluble en Ácido	N.A.	25.2	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Gravimétrico / NTC 5167

Observaciones a los resultados:	Convenciones:
El producto presenta prueba positiva para carbonatos.	N.R. No registra / N.A. No Aplica / Sln. Solución / N.S. No Suministrada / N.D.No Detectado / MVH Mineralización Vía Húmeda / M.I. Muestra Insuficiente EAA Espectroscopía de Absorción Atómica / EEA Espectroscopía de Emisión Atómica / ICP-OES Espectroscopía de Emisión Óptica de plasma acoplado inductivamente / EAM Extracción Asistida con Microondas

---- Fin del Reporte de Resultados Analíticos ----

Autorizado por:

Edna Alejandra Ariza

Director Técnico Operativo - Química - PQ 3081

Revisado por:

Paola Díaz

Coordinador de Area-Química-PQ 3257

---- Fin del Informe ----

Anexo 6. Informe del análisis de resultados físicos, químicos y fracción mineral del sustrato CD.

AGRILAB
Servicios ambientales y agrícolas

INFORME DE RESULTADOS

ÁREA DE ANÁLISIS DE MATERIALES ORGÁNICOS

Registro ICA LB0000342021
Control de calidad de fertilizantes, acondicionadores de suelo y/o reguladores fisiológicos.
Vigencia 17 de Nov. de 2031

Informe N°	40370-V1-2022	N° de Laboratorio	AMO-02724-2022

Información del Cliente			
Remitente	BIOMIO S.A.S.	Responsable	SR. SEBASTIAN SAAVEDRA
Propietario	BIOMIO S.A.S.	Email contacto	adbiomio@gmail.com; basmalin@hotmail.com
Fecha Ingreso	14-12-2022	Fecha Emisión	30-12-2022

Información de la Muestra Suministrada por el cliente			
Identificación Suministrada	C2+D	Lote / Bloque	N.S.
Fuente del Material / Inf. Adicional	NINGUNA	Contrato N°	
Descripción Física	SÓLIDO NEGRO	Condiciones recepción	CONFORME

CARACTERIZACIÓN Y COMPOSICIÓN DE MATERIALES ORGÁNICOS SÓLIDOS

Variable	Expresión / Sigla	Resultados	Unidades	Extractante/Técnica/Documento Normativo
Humedad	N.A.	35.9	%	40 y 70 °C / Gravimetría / NTC 5167 (r)
pH en pasta de saturación	pH	6.65	Unidades de pH	Pasta de saturación / Potenciométrico / NTC 5167 (r)
Conductividad Eléctrica	CE	5.79	dS/m	Pasta de saturación / Conductimétrico / NTC 5167 (r)
Retención de Humedad	Ret. Hum.	44.1	%	Pasta de saturación / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Cenizas	N.A.	42.4	%	700 °C / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Perdidas por Volatilización	N.A.	21.7	%	700 °C / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Capacidad de Intercambio Catiónico - CIC	CIC	25.7	meq/100g	Acetato de amonio / Volumétrico / NTC 5167 (r)
Densidad Real (en base seca)	N.A.	0.821	g/cm3	Directo / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Carbono Orgánico Oxidable Total	COOx	8.36	%	Sln. Dicromato de Potasio / Colorimétrico / NTC 5167 (r)
Relación Carbono / Nitrógeno	C/N	21	Adimensional	Relación matemática
CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL				
Nitrógeno Total	NT	0.403	%	Sumatoria de Especies de Nitrógeno requeridas por el cliente
Nitrógeno Orgánico	N Orgánico	0.403	%	Micro-Kjeldahl / Volumetría / NTC 5167-NTC 370 (r)
Fósforo total	P_2O_5	3.50	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Colorimetría /NTC 234 (r)
Potasio Total	K_2O	0.525	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EEA / NTC 5167 - NTC 202 (r)
Calcio total	CaO	8.14	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Magnesio total	MgO	0.545	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Azufre total	S	0.035	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Turbidimetría / NTC 5167 - IGAC(1982) -NTC 1154 (r)
Hierro total	Fe	0.559	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Manganeso total	Mn	197	mg/kg	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)

CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL				
Cobre Total	Cu	19.3	mg/kg	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Zinc Total	Zn	50.3	mg/kg	MVH Ác. Nítrico:Ác. Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Boro total	B	128	mg/kg	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Colorimétrico / NTC 5167 - NTC 1860 (r)
Sodio Total	Na	0.095	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EEA / NTC 5167 - NTC 1146 -EPA 7000B (r)
Silicio total	SiO_2	28.2	%	MVH HF / EAA / NTC 5167 (r)
Residuo Insoluble en Ácido	N.A.	28.7	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Gravimétrico / NTC 5167

Observaciones a los resultados:	Convenciones:
El producto presenta prueba positiva para carbonatos.	N.R. No registra / N.A. No Aplica / Sln. Solución / N.S. No Suministrada / N.D.No Detectado / MVH Mineralización Vía Húmeda / M.I. Muestra Insuficiente EAA Espectroscopía de Absorción Atómica / EEA Espectroscopía de Emisión Atómica / ICP-OES Espectroscopía de Emisión Óptica de plasma acoplado inductivamente / EAM Extracción Asistida con Microondas

---- Fin del Reporte de Resultados Analíticos ----

Autorizado por:

Edna Alejandra Ariza

Director Técnico Operativo - Química - PQ 3081

Revisado por:

Paola Díaz
Coordinador de Area-Química-PQ 3257

---- Fin del Informe ----

Anexo 7. Informe del análisis de resultados físicos, químicos y fracción mineral del sustrato CC.

AGRILAB
Servicios ambientales y agrícolas

INFORME DE RESULTADOS

ÁREA DE ANÁLISIS DE MATERIALES ORGÁNICOS

Registro ICA LB0000342021
Control de calidad de fertilizantes, acondicionadores de suelo y/o reguladores fisiológicos.
Vigencia 17 de Nov. de 2031

Informe N°	40368-V1-2022	N° de Laboratorio	AMO-02722-2022

Información del Cliente			
Remitente	BIOMIO S.A.S.	Responsable	SR. SEBASTIAN SAAVEDRA
Propietario	BIOMIO S.A.S.	Email contacto	adbiomio@gmail.com; basmalin@hotmail.com
Fecha Ingreso	14-12-2022	Fecha Emisión	30-12-2022

Información de la Muestra Suministrada por el cliente			
Identificación Suministrada	L2+C	Lote / Bloque	N.S.
Fuente del Material / Inf. Adicional	NINGUNA	Contrato N°	
Descripción Física	SÓLIDO NEGRO	Condiciones recepción	CONFORME

CARACTERIZACIÓN Y COMPOSICIÓN DE MATERIALES ORGÁNICOS SÓLIDOS

Variable	Expresión / Sigla	Resultados	Unidades	Extractante/Técnica/Documento Normativo
Humedad	N.A.	35.6	%	40 y 70 °C / Gravimetría / NTC 5167 (r)
pH en pasta de saturación	pH	7.08	Unidades de pH	Pasta de saturación / Potenciométrico / NTC 5167 (r)
Conductividad Eléctrica	CE	7.13	dS/m	Pasta de saturación / Conductimétrico / NTC 5167 (r)
Retención de Humedad	Ret. Hum.	48.6	%	Pasta de saturación / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Cenizas	N.A.	42.4	%	700 °C / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Perdidas por Volatilización	N.A.	22.0	%	700 °C / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Capacidad de Intercambio Catiónico - CIC	CIC	25.8	meq/100g	Acetato de amonio / Volumétrico / NTC 5167 (r)
Densidad Real (en base seca)	N.A.	0.784	g/cm3	Directo / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Carbono Orgánico Oxidable Total	COOx	7.78	%	Sln. Dicromato de Potasio / Colorimétrico / NTC 5167 (r)
Relación Carbono / Nitrógeno	C/N	17	Adimensional	Relación matemática
CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL				
Nitrógeno Total	NT	0.460	%	Sumatoria de Especies de Nitrógeno requeridas por el cliente
Nitrógeno Orgánico	N Orgánico	0.460	%	Micro-Kjeldahl / Volumetría / NTC 5167-NTC 370 (r)
Fósforo total	P_2O_5	3.89	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Colorimetría /NTC 234 (r)
Potasio Total	K_2O	0.595	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EEA / NTC 5167 - NTC 202 (r)
Calcio total	CaO	9.49	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Magnesio total	MgO	0.472	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Azufre total	S	0.099	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Turbidimetría / NTC 5167 - IGAC(1982) -NTC 1154 (r)
Hierro total	Fe	0.116	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Manganeso total	Mn	61.3	mg/kg	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)

CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL				
Cobre Total	Cu	14.2	mg/kg	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Zinc Total	Zn	53.6	mg/kg	MVH Ác. Nítrico:Ác. Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Boro total	B	93.3	mg/kg	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Colorimétrico / NTC 5167 - NTC 1860 (r)
Sodio Total	Na	0.085	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EEA / NTC 5167 - NTC 1146 -EPA 7000B (r)
Silicio total	SiO_2	25.8	%	MVH HF / EAA / NTC 5167 (r)
Residuo Insoluble en Ácido	N.A.	26.0	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Gravimétrico / NTC 5167

Observaciones a los resultados:	Convenciones:
El producto presenta prueba positiva para carbonatos.	N.R. No registra / N.A. No Aplica / Sln. Solución / N.S. No Suministrada / N.D.No Detectado / MVH Mineralización Vía Húmeda / M.I. Muestra Insuficiente EAA Espectroscopía de Absorción Atómica / EEA Espectroscopía de Emisión Atómica / ICP-OES Espectroscopía de Emisión Óptica de plasma acoplado inductivamente / EAM Extracción Asistida con Microondas

---- Fin del Reporte de Resultados Analíticos ----

Autorizado por:

Edna Alejandra Ariza

Edna Alejandra Ariza
Director Técnico Operativo - Química - PQ 3081

Revisado por:

Paola Díaz
Coordinador de Area-Química-PQ 3257

---- Fin del Informe ----

Anexo 8. Análisis de varianza para la variable de emergencia de la semilla en el día 10 después de la siembra.

Análisis estadístico de la emergencia de la semilla promedio en los sustratos a los 10 días de la plantulación (ANOVA)		
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad
Dentro de los grupos	24,5	12,0
F	Probabilidad	Valor crítico para F
4,490	2,474%	3,490
Ho	La media de la emergencia de las semillas de tomate en los 4 sustratos analizados es igual, con 95% de confiabilidad	
H1	**En al menos un sustrato, la media de la emergencia de las semillas de tomate es distinta, con 95% de confiabilidad**	

Nota: Se acoge la hipótesis alternativa debido a que el factor F > F crítico.

Anexo 9. Prueba TUKEY (0,05) de la variable emergencia de la semilla en el día 10 después de la siembra.

Prueba Tukey (0,05) de la emergencia de las semillas de tomate de los sustratos a los 10 días de la plantulación	
Valor critico de prueba Tukey	3,77
Cuadrado del error medio	2,042
Tamaño de la muestra	4
Diferencia honestamente significativa (HDS)	2,693

Prueba Tukey (0,05) de emergencia de la semilla en los sustratos a los 10 días de la plantulación				
T	T	T	T	T
C2	C2	C2	C2	C2
CC	CC	CC	CC	CC
CD	CD	CD	CD	CD

Nota: las celdas de color verde difieren estadísticamente los datos y los azules no difieren estadísticamente los datos.

Anexo 10. Análisis de varianza para el número de hojas verdaderas en el día 20 después de la siembra.

Análisis estadístico del número de hojas verdaderas promedio de las plántulas en los sustratos a los 20 días de la plantulación (ANOVA)		
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad

.

Anexo 10. (Continuación).

Dentro de los grupos	46,175	156
F	Probabilidad	Valor crítico para F
8,805	0,00198306765%	2,663
Ho	La media del diámetro en las plántulas de los 4 sustratos analizados es igual, con 95% de confiabilidad	
H1	**En al menos un sustrato, la media del diámetro de las plántulas es distinta, con 95% de confiabilidad**	

Nota: Se acoge la hipótesis alternativa debido a que el factor F > F crítico.

Anexo 11. Prueba TUKEY (0,05) del número de hojas verdaderas en el día 20 después de la siembra.

Prueba TUKEY (0,05) del número de hojas verdaderas de las plántulas en los sustratos a los 20 días de la plantulación	
Valor critico de prueba TUKEY	3,63
Cuadrado del error medio	0,296
Tamaño de la muestra	40
Diferencia honestamente significativa (HDS)	0,312

Anexo 12. Análisis de varianza para el número de hojas verdaderas en el día 30 después de la siembra.

Análisis estadístico del número de hojas verdaderas promedio de las plántulas en los sustratos a los 30 días de la plantulación (ANOVA)		
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad
Dentro de los grupos	76,050	156
F	Probabilidad	Valor crítico para F
23,487	0,00000000013%	2,663
Ho	La media del diámetro en las plántulas de los 4 sustratos analizados es igual, con 95% de confiabilidad	
H1	**En al menos un sustrato, la media del diámetro de las plántulas es distinta, con 95% de confiabilidad**	

Nota: Se acoge la hipótesis alternativa debido a que el factor F > F crítico.

.

Anexo 13. Prueba TUKEY (0,05) del número de hojas verdaderas en el día 30 después de la siembra.

Prueba TUKEY (0,05) del número de hojas verdaderas de las plántulas en los sustratos a los 30 días de la plantulación	
Valor critico de prueba TUKEY	3,63
Cuadrado del error medio	0,488
Tamaño de la muestra	40
Diferencia honestamente significativa (HDS)	0,401

Anexo 14. Análisis de varianza para la variable de longitud radicular en el día 10 después de la siembra.

Análisis estadístico de la longitud radicular promedio de las plántulas en los sustratos a los 10 días de la plantulación (ANOVA)		
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad
Dentro de los grupos	426,256	156
F	Probabilidad	Valor crítico para F
3,032	3,110%	2,663
Ho	La media de la longitud radicular en las plántulas de los 4 sustratos analizados es igual, con 95% de confiabilidad	
H1	**En al menos un sustrato, la media de la longitud radicular de las plántulas es distinta, con 95% de confiabilidad**	

Nota: Se acoge la hipótesis alternativa debido a que el factor F > F crítico.

Anexo 15. Prueba TUKEY (0,05) de la variable de longitud radicular en el día 10 después de la siembra.

Prueba Tukey (0,05) de la longitud radicular de las plántulas en los sustratos a los 10 días de la plantulación	
Valor critico de prueba TUKEY	3,63
Cuadrado del error medio	2,732
Tamaño de la muestra	40
Diferencia honestamente significativa (HDS)	0,949

Prueba TUKEY (0,05) de la longitud radicular de las plántulas en los sustratos a los 10 días de la plantulación				
T	T	T	T	T
C2	C2	C2	C2	C2
CC	CC	CC	CC	CC
CD	CD	CD	CD	CD

.

Nota: las celdas de color verde difieren estadísticamente los datos y los azules no difieren estadísticamente los datos.

Anexo 16. Análisis de varianza para la variable de longitud radicular en el día 20 después de la siembra.

Análisis estadístico de la longitud radicular promedio de las plántulas en los sustratos a los 20 días de la plantulación (ANOVA)		
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad
Dentro de los grupos	955,659	156
F	Probabilidad	Valor crítico para F
11,321	0,0001%	2,663
Ho	La media de la longitud radicular en las plántulas de los 4 sustratos analizados es igual, con 95% de confiabilidad	
H1	**En al menos un sustrato, la media de la longitud radicular de las plántulas es distinta, con 95% de confiabilidad**	

Nota: Se acoge la hipótesis alternativa debido a que el factor F > F crítico.

Anexo 17. Prueba TUKEY (0,05) de la variable de longitud radicular en el día 20 después de la siembra.

Prueba TUKEY (0,05) de la longitud radicular de las plántulas en los sustratos a los 20 días de la plantulación	
Valor critico de prueba TUKEY	3,63
Cuadrado del error medio	6,126
Tamaño de la muestra	40
Diferencia honestamente significativa (HDS)	1,421

Prueba TUKEY (0,05) de la longitud radicular de las plántulas en los sustratos a los 20 días de la plantulación				
	T	C2	CC	CD
T	0,000	2,903	2,228	0,825
C2		0,000	-0,675	-2,078
CC			0,000	-1,403
CD				0,000

Nota: las celdas de color verde difieren estadísticamente los datos y los azules no difieren estadísticamente los datos.

.

Anexo 18. Análisis de varianza para la variable de longitud radicular en el día 30 después de la siembra.

Análisis estadístico de la longitud radicular promedio de las plántulas en los sustratos a los 30 días de la plantulación (ANOVA)		
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad
Dentro de los grupos	914,494	156
F	Probabilidad	Valor crítico para F
21,559	0,000000001%	2,663
Ho	La media de la longitud radicular en las plántulas de los 4 sustratos analizados es igual, con 95% de confiabilidad	
H1	**En al menos un sustrato, la media de la longitud radicular de las plántulas es distinta, con 95% de confiabilidad**	

Nota: Se acoge la hipótesis alternativa debido a que el factor F > F crítico.

Anexo 19. Prueba TUKEY (0,05) de la variable de longitud radicular en el día 30 después de la siembra.

Prueba TUKEY (0,05) de la longitud radicular de las plántulas en los sustratos a los 30 días de la plantulación	
Valor critico de prueba TUKEY	3,63
Cuadrado del error medio	5,862
Tamaño de la muestra	40
Diferencia honestamente significativa (HDS)	1,39

Prueba TUKEY (0,05) de la longitud radicular de las plántulas en los sustratos a los 30 días de la plantulación				
	T	C2	CC	CD
T	0,000	4,055	3,400	2,445
C2		0,000	-0,655	-1,610
CC			0,000	-0,955
CD				0,000

Nota: las celdas de color verde difieren estadísticamente los datos y los azules no difieren estadísticamente los datos.

.

Anexo 20. Análisis de varianza para la variable de altura del tallo en el día 10 después de la siembra.

Análisis estadístico de la altura promedio de los tallos de las plántulas en los sustratos a los 10 días de la plantulación (ANOVA)		
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad
Dentro de los grupos	185,606	156
F	Probabilidad	Valor crítico para F
20	0,00000001%	2,663
Ho	La media de altura en las plántulas de los 4 sustratos analizados es igual, con 95% de confiabilidad	
H1	**En al menos un sustrato, la media de altura de las plántulas es distinta, con 95% de confiabilidad**	

Nota: Se acoge la hipótesis alternativa debido a que el factor F > F crítico.

Anexo 21. Prueba TUKEY (0,05) de la variable de altura del tallo en el día 10 después de la siembra.

Prueba TUKEY (0,05) de altura de los tallos de la plántula en los sustratos a los 10 días de la plantulación	
Valor critico de prueba TUKEY	3,63
Cuadrado del error medio	1,190
Tamaño de la muestra	40
Diferencia honestamente significativa (HDS)	0,626

Prueba TUKEY (0,05) de altura de los tallos de la plántula en los sustratos a los 10 días de la plantulación				
	T	C2	CC	CD
T	0,000	1,281	0,937	1,837
C2		0,000	-0,343	0,557
CC			0,000	0,900
CD				0,000

Nota: las celdas de color verde difieren estadísticamente los datos y los azules no difieren estadísticamente los datos.

.

Anexo 22. Análisis de varianza para la variable de altura del tallo en el día 20 después de la siembra.

Análisis estadístico de la altura promedio de los tallos de las plántulas en los sustratos a los 20 días de la plantulación (ANOVA)		
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad
Dentro de los grupos	275,106	156
F	Probabilidad	Valor crítico para F
2,543	6%	2,663
Ho	**La media de altura en las plántulas de los 4 sustratos analizados es similar, con 95% de confiabilidad**	
H1	En al menos un sustrato, la media de altura de las plántulas es distinta, con 95% de confiabilidad	

Nota: Se acoge la hipótesis anula debido a que el factor F < F crítico.

Anexo 23. Prueba TUKEY (0,05) de la variable de altura del tallo en el día 20 después de la siembra.

Prueba TUKEY (0,05) de altura de los tallos de la plántula en los sustratos a los 20 días de la plantulación	
Valor critico de prueba TUKEY	3,63
Cuadrado del error medio	1,76
Tamaño de la muestra	40
Diferencia honestamente significativa (HDS)	0,762

Prueba TUKEY (0,05) de altura de los tallos de la plántula en los sustratos a los 20 días de la plantulación				
	T	C2	CC	CD
T	0,000	0,635	0,687	0,200
C2		0,000	0,052	-0,435
CC			0,000	-0,487
CD				0,000

Nota: las celdas de color verde difieren estadísticamente los datos y los azules no difieren estadísticamente los datos.

.

Anexo 24. Análisis de varianza para la variable de altura del tallo en el día 30 después de la siembra.

Análisis estadístico de la altura promedio de los tallos de las plántulas en los sustratos a los 30 días de la plantulación (ANOVA)		
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad
Dentro de los grupos	757,768	156
F	Probabilidad	Valor crítico para F
27,855	0,000000000002%	2,663
Ho	La media de altura en las plántulas de los 4 sustratos analizados es igual, con 95% de confiabilidad	
H1	**En al menos un sustrato, la media de altura de las plántulas es distinta, con 95% de confiabilidad**	

Nota: Se acoge la hipótesis alternativa debido a que el factor F > F crítico.

Anexo 25. Prueba TUKEY (0,05) de la variable de altura del tallo en el día 30 después de la siembra.

Prueba TUKEY (0,05) de altura de los tallos de la plántula en los sustratos a los 30 días de la plantulación	
Valor critico de prueba TUKEY	3,63
Cuadrado del error medio	4,86
Tamaño de la muestra	40
Diferencia honestamente significativa (HDS)	1,265

Prueba TUKEY (0,05) de altura de los tallos de la plántula en los sustratos a los 30 días de la plantulación				
	T	C2	CC	CD
T	0,000	0,103	-3,788	-1,880
C2		0,000	-3,890	-1,983
CC			0,000	1,908
CD				0,000

Nota: las celdas de color verde difieren estadísticamente los datos y los azules no difieren estadísticamente los datos.

Anexo 26. Análisis de varianza para la variable de diámetro del tallo en el día 10 después de la siembra.

.

Análisis estadístico del diámetro promedio de las plántulas en los sustratos a los 10 días de la plantulación (ANOVA)		
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad
Dentro de los grupos	4,655	156
F	Probabilidad	Valor crítico para F
26,721	0,00000000001%	2,663
Ho	La media del diámetro en las plántulas de los 4 sustratos analizados es igual, con 95% de confiabilidad	
H1	**En al menos un sustrato, la media del diámetro de las plántulas es distinta, con 95% de confiabilidad**	

Nota: Se acoge la hipótesis alternativa debido a que el factor F > F crítico.

Anexo 27. Prueba TUKEY (0,05) de la variable de diámetro del tallo en el día 10 después de la siembra.

Prueba TUKEY (0,05) del diámetro de las plántulas en los sustratos a los 10 días de la plantulación	
Valor critico de prueba TUKEY	3,63
Cuadrado del error medio	0,030
Tamaño de la muestra	40
Diferencia honestamente significativa (HDS)	0,099

Prueba TUKEY (0,05) del diámetro de las plántulas en los sustratos a los 10 días de la plantulación				
	T	C2	CC	CD
T	0,000	0,165	-0,019	0,278
C2		0,000	-0,184	0,113
CC			0,000	0,297
CD				0,000

Nota: las celdas de color verde difieren estadísticamente los datos y los azules no difieren estadísticamente los datos.

.

Anexo 28. Análisis de varianza para la variable de diámetro del tallo en el día 20 después de la siembra.

Análisis estadístico del diámetro promedio de las plántulas en los sustratos a los 20 días de la plantulación (ANOVA)		
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad
Dentro de los grupos	16,798	156
F	Probabilidad	Valor crítico para F
6,149	0,056%	2,663
Ho	La media del diámetro en las plántulas de los 4 sustratos analizados es igual, con 95% de confiabilidad	
H1	**En al menos un sustrato, la media del diámetro de las plántulas es distinta, con 95% de confiabilidad**	

Nota: Se acoge la hipótesis alternativa debido a que el factor F > F crítico.

Anexo 29. Prueba TUKEY (0,05) de la variable de diámetro del tallo en el día 20 después de la siembra.

Prueba TUKEY (0,05) del diámetro de las plántulas en los sustratos a los 20 días de la plantulación	
Valor critico de prueba TUKEY	3,63
Cuadrado del error medio	0,108
Tamaño de la muestra	40
Diferencia honestamente significativa (HDS)	0,188

Prueba TUKEY (0,05) del diámetro de las plántulas en los sustratos a los 20 días de la plantulación				
	T	C2	CC	CD
T	0,000	0,058	-0,107	-0,234
C2		0,000	-0,165	-0,293
CC			0,000	-0,127
CD				0,000

Nota: las celdas de color verde difieren estadísticamente los datos y los azules no difieren estadísticamente los datos.

.

Anexo 30. Análisis de varianza para la variable de diámetro del tallo en el día 30 después de la siembra.

Análisis estadístico del diámetro promedio de las plántulas en los sustratos a los 30 días de la plantulación (ANOVA)		
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad
Dentro de los grupos	24,520	156
F	Probabilidad	Valor crítico para F
20,512	0,000000003%	2,663
Ho	La media del diámetro en las plántulas de los 4 sustratos analizados es igual, con 95% de confiabilidad	
H1	**En al menos un sustrato, la media del diámetro de las plántulas es distinta, con 95% de confiabilidad**	

Nota: Se acoge la hipótesis alternativa debido a que el factor F > F crítico.

Anexo 31. Prueba TUKEY (0,05) de la variable de diámetro del tallo en el día 30 después de la siembra.

Prueba TUKEY (0,05) del diámetro de las plántulas en los sustratos a los 30 días de la plantulación	
Valor critico de prueba TUKEY	3,63
Cuadrado del error medio	0,157
Tamaño de la muestra	40
Diferencia honestamente significativa (HDS)	0,228

Prueba TUKEY (0,05) del diámetro de las plántulas en los sustratos a los 30 días de la plantulación				
	T	C2	CC	CD
T	0,000	0,029	-0,450	-0,501
C2		0,000	-0,480	-0,530
CC			0,000	-0,050
CD				0,000

Nota: las celdas de color verde difieren estadísticamente los datos y los azules no difieren estadísticamente los datos.

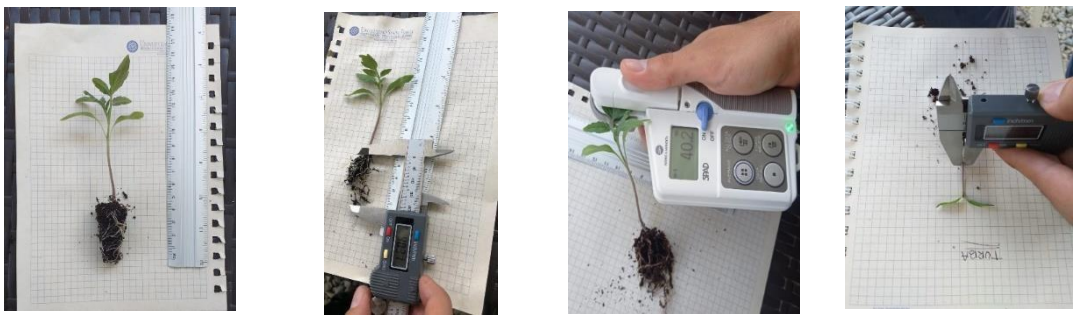
Anexo 32. Prueba de tamices.



Anexo 33. Prueba de laboratorio para la densidad aparente.



Anexo 34. Medición de las variables morfológicas de la plántula en el sustrato de control, sustrato seleccionado y variantes nutricionales.



.

Anexo 35. Medición del sustrato de control, sustrato seleccionado y variantes nutricionales.

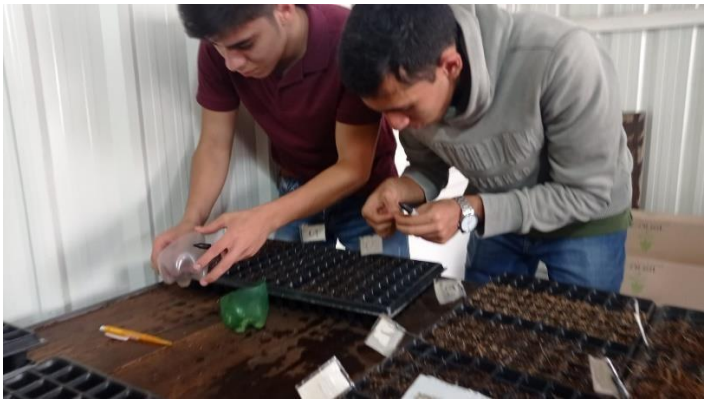


Anexo 36. Elaboración de las 28 combinaciones de sustratos y el medio de control (turba).



Anexo 37. Siembra de semillas de tomate.

.



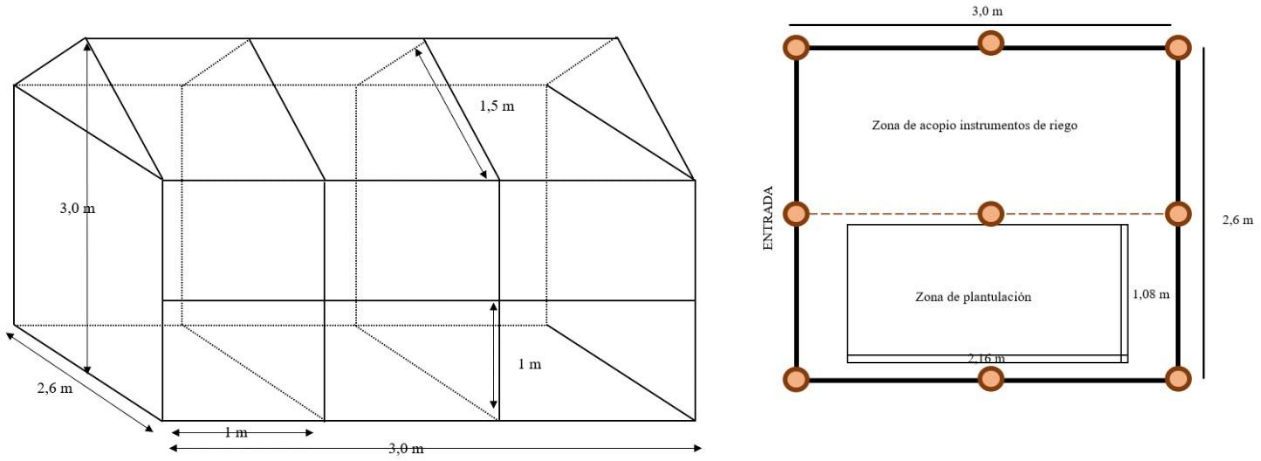
Anexo 38. Plántulas en el sustrato de control, sustrato seleccionado y variantes nutricionales durante su proceso de etiolación, y en los 10, 20 y 30 después de la siembra.



Anexo 39. Diseño de invernadero.

VISTA 3D VISTA EN PLANTA

.



Anexo 40. Construcción de invernadero.



Anexo 41. Composición certificada de Diabasas

.

Corporación Centro De Desarrollo Productivo De Joyería – CDP de Joyería. **Laboratorio De Fluorescencia De Rayos X**	**INFORME DE RESULTADOS**	**Código: CDPJ-FO-IR**	
		Versión: 01	**Página 3 de 4**

Análisis Cuantitativo

Analito	Resultado		Std.Dev
SiO2	46.157	%	(0.163)
PbO	42.987	ppm	(15.794)
Sb2O3	42.712	ppm	(17.101)
Bi2O3	28.666	ppm	(11.848)
Al2O3	15.659	%	(0.159)
GeO2	15.098	ppm	(8.751)
Y2O3	14.761	ppm	(4.534)
As2O3	11.654	ppm	(6.695)
Fe2O3	11.045	%	(0.022)
CaO	10.938	%	(0.031)
SeO2	8.302	ppm	(6.650)
MgO	5.416	%	(0.216)
MoO3	3.902	ppm	(4.947)
Rb2O	2.875	ppm	(4.359)
Na2O	1.828	%	(1.075)
SO3	1.399	%	(0.023)
TiO2	0.837	%	(0.013)
MnO	0.193	%	(0.004)
K2O	0.052	%	(0.006)
Cr2O3	0.040	%	(0.003)
SrO	0.011	%	(0.000)
NiO	0.006	%	(0.002)
ZnO	0.006	%	(0.001)
ZrO2	0.005	%	(0.000)
NbO	0.000	ppm	(0.000)
SnO2	0.000	ppm	(0.000)
CO2	6.389	%	(------)

El valor de CO_2 expresado corresponde al valor de pérdidas por ignición hallado en el ensayo LOI.

Cuando el valor de la desviación estándar de la medición sea mayor que el valor cuantificado, dicho resultado se debe rechazar, indicando que la concentración del elemento está por debajo del límite de cuantificación del instrumento.

AUROFARMA®

BIENESTAR Y SALUD ANIMAL

FICHA TÉCNICA

CALFOS 20

Polvo oral

COMPOSICIÓN:
Cada Kg de polvo oral contiene:

Vitamina A	600.000 UI
Vitamina D_3	200.000 UI
Vitamina B1	1,1 mg
Vitamina B2	200 mg
Vitamina B6	10 mg
Vitamina B_{12}	1,1 mg
Vitamina K_3	25 mg
Ácido nicotínico	1,25 g
Pantotenato cálcico	500 mg
Cloruro de colina	25 g
DL-metionina	10 g
L-lisina	2,5 g
Raíz de genciana	5 g
Carnitina clorhidrato	10 g
Glutamato sódico	7,5 g
Cloruro sódico	25 g
Carbonato de magnesio	5 g
Selenio	36,5 mg
Manganeso	480mg
Zinc	504 mg
Hierro	600 mg
Cobre	125 mg
Cobalto	105 mg
Yodo	124 mg
Carbonato de calcio	443,8 g
Fosfato bicálcico	300 g
Excipientes c.s.p	1 Kg

