

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TESIS DE GRADO

**EFEECTO DEL BIOCHAR Y NIVELES DEL HUMUS DE LOMBRIZ EN EL
COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DEL TOMATE (*Lycopersicum
esculentum* Miller) VARIEDAD CHERRY BAJO AMBIENTE
PROTEGIDO EN EL CENTRO EXPERIMENTAL COTA COTA**

MARIBEL FUENTES CÓRDOVA

LA PAZ- BOLIVIA

2022

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**EFFECTO DEL BIOCHAR Y NIVELES DEL HUMUS DE LOMBRIZ EN EL
COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DEL TOMATE (*Lycopersicum esculentum*
Miller) VARIEDAD CHERRY BAJO AMBIENTE PROTEGIDO EN EL CENTRO
EXPERIMENTAL COTA COTA**

Tesis de Grado presentada como requisito
Parcial para optar el Título de
Ingeniero en Agronomía

MARIBEL FUENTES CÓRDOVA

Asesor:

Ing. Luis Humberto Ortuño Rojas

Comité revisor:

Ing. M. Sc. Estanislao Poma Loza

Ing. Agr. Willams A. Murillo Oporto

Ing. M. Sc. Marcelo Tarqui Delgado

APROBADA

Presidente Tribunal Examinador

LA PAZ- BOLIVIA

2022

DEDICATORIA:

El presente trabajo de investigación está dedicado a mi familia, en especial a mis niños: Aylin, Alexander, Camila y a mi madre: Eva Córdova, por todo el apoyo incondicional, comprensión y aliento que me brindaron durante mis estudios y en cada paso de mi formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios por guiarme en cada paso que doy.

A la carrera Ingeniería Agronómica, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, por haberme acogido en sus aulas, a todos mis docentes por compartir sus conocimientos y enseñanzas.

Al Centro Experimental Cota Cota, por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de investigación.

Al ingeniero Luis Humberto Ortuño Rojas, por su asesoría, la confianza, apoyo durante el trabajo de investigación y dedicación al revisar cada capítulo de mi proyecto de Tesis.

A mis revisores: Ing M.Sc. Estanislao Poma Loza, Ing. Agr. Willams Murillo Oporto, Ing. M.Sc. Marcelo Tarqui Delgado, quienes me colaboraron y orientaron en la culminación de mi investigación.

A la Lic. Ofelia Vargas. V y al Dr. Edgar Villarroel. A, por todo el apoyo en la culminación de mi trabajo de investigación.

A todos mis amigos (as) de la carrera: Sergio, Rebeca, Joel, Silvia, Mayra, con quienes compartí momentos inolvidables y a todos mis compañeros que fueron parte de mi vida universitaria.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|------------------------|-----|
| ÍNDICE GENERAL | i |
| ÍNDICE DE TABLAS | vi |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | vii |
| RESUMEN | ix |
| SUMMARY | x |

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 11 |
| 1.1 Planteamiento del problema | 12 |
| 1.2 Justificación | 12 |
| 2. OBJETIVOS | 13 |
| 2.1 Objetivo general | 13 |
| 2.2 Objetivos específicos | 13 |
| 2.3 Hipótesis..... | 14 |
| 3. REVISION BIBLIOGRÁFICA..... | 15 |
| 3.1 Importancia del tomate | 15 |
| 3.2 Producción del tomate en bolivia | 15 |
| 3.2.1 Producción de tomate por departamentos | 16 |
| 3.2.2 Producción orgánica del tomate | 16 |
| 3.2.2.1 Marco Legal | 17 |
| 3.3 Agricultura orgánica..... | 17 |
| 3.3.1 Enmienda orgánica biochar | 18 |
| 3.3.1.1 La carbonización o pirólisis | 18 |
| 3.3.1.2 Origen del biochar | 18 |
| 3.3.1.3 Elaboración del biochar | 19 |
| 3.3.1.3.1 Biomasa | 19 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 3.3.1.3.2 | Obtención del biochar | 20 |
| 3.3.1.3.3 | Variables que afectan la pirolisis..... | 20 |
| 3.3.1.3.4 | Características físicas y químicas del biochar..... | 21 |
| 3.3.1.4 | Aplicaciones agrícolas y ambientales | 22 |
| 3.3.1.5 | Dosis de biochar recomendado | 23 |
| 3.3.1.6 | Ventajas y desventajas del biochar | 23 |
| 3.3.2 | Abonos orgánicos..... | 24 |
| 3.3.2.1 | Humus de lombriz y sus características | 24 |
| 3.3.2.1.1 | Dosis de humus recomendada | 26 |
| 3.3.2.1.2 | Efectos del humus de lombriz | 26 |
| 3.4 | Características del cultivo | 27 |
| 3.4.1 | Origen y distribución | 27 |
| 3.4.2 | Variedades de tomate: Según el hábito de crecimiento | 27 |
| 3.4.3 | Características botánicas | 28 |
| 3.4.3.1 | Taxonomía | 28 |
| 3.4.3.2 | Morfología | 28 |
| 3.4.3.3 | Valor nutricional de tomate..... | 29 |
| 3.4.4 | Requerimientos edafoclimáticos del tomate | 31 |
| 3.4.4.1 | Temperatura y humedad | 31 |
| 3.4.4.2 | Luminosidad y fotoperiodo | 31 |
| 3.4.4.3 | Suelo..... | 31 |
| 3.4.5 | Requerimiento de nutrientes del cultivo del tomate | 32 |
| 3.4.6 | Época de siembra | 33 |
| 3.4.7 | Fenología del tomate..... | 34 |
| 3.4.7.1 | Fase Inicial | 34 |
| 3.4.7.2 | Fase vegetativa..... | 34 |
| 3.4.7.3 | Fase reproductiva..... | 34 |
| 3.4.8 | Agronomía del cultivo | 34 |
| 3.4.8.1 | Almácigo o semillero | 34 |
| 3.4.8.2 | Siembra directa | 34 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3.4.8.3 | Trasplante | 35 |
| 3.4.8.4 | Refalle | 35 |
| 3.4.8.5 | Labores culturales | 35 |
| 3.4.8.5.1 | Riego | 35 |
| 3.4.8.5.2 | Deshierbe | 35 |
| 3.4.8.5.3 | Aporque | 35 |
| 3.4.8.5.4 | Poda, destellado y deshojado | 36 |
| 3.4.8.5.5 | Tutorado | 36 |
| 3.4.8.5.6 | Cosecha | 37 |
| 3.4.8.5.7 | Post cosecha | 37 |
| 3.4.9 | Plagas, enfermedades y desórdenes fisiológicos | 37 |
| 3.4.9.1 | Plagas | 37 |
| 3.4.9.2 | Enfermedades | 39 |
| 3.4.9.3 | Desórdenes fisiológicos..... | 40 |
| 4. | LOCALIZACIÓN | 42 |
| 4.1 | Ubicación geográfica | 42 |
| 5. | MATERIALES Y METODOS..... | 43 |
| 5.1 | Materiales | 43 |
| 5.1.1 | Material biológico | 43 |
| 5.1.2 | Material de campo..... | 43 |
| 5.1.3 | Material y equipo de laboratorio | 43 |
| 5.1.4 | Material de gabinete..... | 43 |
| 5.2 | Metodología..... | 44 |
| 5.2.1 | Procedimiento de estudio experimental | 44 |
| 5.2.1.1 | Descripción del ambiente atemperado..... | 44 |
| 5.2.1.2 | Almacigo | 44 |
| 5.2.1.3 | Preparación y desinfección del sustrato | 45 |
| 5.2.1.4 | Elaboración del biochar | 45 |
| 5.2.1.5 | Análisis de suelo | 46 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 5.2.1.6 | Análisis del biochar | 46 |
| 5.2.1.7 | Análisis del humus de lombriz | 47 |
| 5.2.1.8 | Delimitación de los bloques y aplicación de tratamientos | 47 |
| 5.2.1.9 | Trasplante | 48 |
| 5.2.1.10 | Refalle | 48 |
| 5.2.1.11 | Toma de datos | 48 |
| 5.2.1.12 | Aporque y deshierbe | 49 |
| 5.2.1.13 | Riego..... | 49 |
| 5.2.1.14 | Tutorado y poda | 49 |
| 5.2.1.15 | Controles fitosanitarios | 50 |
| 5.2.1.16 | Cosecha | 50 |
| 5.2.2 | Diseño experimental | 51 |
| 5.2.3 | Factores de estudio o tratamiento en estudio..... | 51 |
| 5.2.4 | Características de la parcela experimental..... | 53 |
| 5.2.5 | Croquis experimental | 54 |
| 5.2.6 | Variables de respuesta..... | 54 |
| 5.2.6.1 | Variables agronómicas | 54 |
| 5.2.6.2 | Variables de rendimiento..... | 56 |
| 5.2.6.3 | Variables económicas..... | 56 |
| 6. | RESULTADOS Y DISCUSIONES..... | 58 |
| 6.1 | Descripción de las temperaturas registradas en el ambiente protegido durante el desarrollo del cultivo..... | 58 |
| 6.2 | Características físicas y químicas del suelo..... | 59 |
| 6.3 | Característica química del biochar..... | 61 |
| 6.4 | Característica química del humus de lombriz | 62 |
| 6.5 | Variables agronómicas | 63 |
| 6.5.1 | Altura de la planta | 64 |
| 6.5.1.1 | Efecto de los niveles del humus de lombriz en la altura de la planta..... | 64 |
| 6.5.2 | Diámetro del tallo | 67 |

| | |
|--|------------|
| 6.5.2.1 Efecto de niveles del humus de lombriz en el diámetro del tallo | 67 |
| 6.5.3 Días a la floración | 69 |
| 6.5.3.1 Efecto de niveles del humus de lombriz en los días a la floración | 70 |
| 6.5.4 Días a la cosecha..... | 72 |
| 6.5.4.1 Efecto de niveles del humus de lombriz en los días a la cosecha | 72 |
| 6.5.5 Número de frutos por planta..... | 74 |
| 6.5.5.1 Efecto de niveles del humus de lombriz en el número de frutos por planta | 75 |
| 6.5.6 Diámetro del fruto..... | 79 |
| 6.5.6.1 Efecto de la aplicación del biochar en el diámetro del fruto..... | 79 |
| 6.5.7 Peso del fruto | 81 |
| 6.5.7.1 Efecto de la aplicación del biochar en el peso del fruto..... | 81 |
| 6.5.8 Rendimiento por planta | 83 |
| 6.5.8.1 Efecto de la aplicación del biochar 1,5% en el rendimiento por planta | 84 |
| 6.5.8.2 Efecto de niveles del humus de lombriz en el rendimiento por planta | 86 |
| 6.5.9 Rendimiento kg/m ² | 90 |
| 6.5.9.1 Efecto de la aplicación del biochar en el rendimiento kg/m ² | 90 |
| 6.5.9.2 Efecto de niveles del humus de lombriz en el rendimiento..... | 92 |
| 6.6 Variables económicas..... | 96 |
| 6.6.1 Costos variables..... | 96 |
| 6.6.2 Beneficio bruto (Bb) | 97 |
| 6.6.3 Beneficio neto (Bn)..... | 97 |
| 6.6.4 Beneficio/costo (B/C) | 98 |
| 7. CONCLUSIONES | 100 |
| 8. RECOMENDACIONES | 102 |
| 9. BIBLIOGRAFÍA | 103 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Composición nutricional por 100 g | 19 |
| Tabla 2 Factores de estudio..... | 40 |
| Tabla 3 Descripción del área experimental | 42 |
| Tabla 4 Análisis- físico químico del suelo..... | 48 |
| Tabla 5 Análisis químico del biochar | 50 |
| Tabla 6 Análisis químico del humus de lombriz..... | 51 |
| Tabla 7 Análisis de varianza para la variable altura de la planta | 52 |
| Tabla 8 Efecto de niveles del humus de lombriz en la altura de la planta..... | 53 |
| Tabla 9 Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo | 55 |
| Tabla 10 Efecto de niveles del humus de lombriz en el diámetro del tallo | 56 |
| Tabla 11 Análisis de varianza para la variable días a la floración..... | 57 |
| Tabla 12 Efecto de niveles del humus de lombriz en los días a la floración | 58 |
| Tabla 13 Análisis de varianza para la variable días a la cosecha | 60 |
| Tabla 14 Efecto de niveles del humus de lombriz en los días a la cosecha..... | 61 |
| Tabla 15 Análisis de varianza para la variable números de frutos por planta | 62 |
| Tabla 16 Efecto de niveles del humus de lombriz en el número de frutos por planta ... | 63 |
| Tabla 17 Análisis de varianza de efecto simple, para la variable número de frutos por planta..... | 65 |
| Tabla 18 Análisis de varianza para la variable diámetro del fruto..... | 67 |
| Tabla 19 Efecto de la aplicación del biochar en el diámetro del fruto | 68 |
| Tabla 20 Análisis de varianza para la variable peso del fruto | 69 |
| Tabla 21 Efecto de la aplicación del biochar en el peso del fruto | 70 |
| Tabla 22 Análisis de varianza para la variable rendimiento por planta | 71 |
| Tabla 23 Efecto de la aplicación del biochar 1,5% en el rendimiento por planta..... | 72 |
| Tabla 24 Efecto de niveles del humus de lombriz en el rendimiento por planta..... | 74 |
| Tabla 25 Análisis de varianza de efecto simple para la variable rendimiento por planta g/pl..... | 75 |
| Tabla 26 Análisis de varianza para la variable rendimiento kg/m ² | 78 |
| Tabla 27 Efecto de la aplicación del biochar 1,5% en el rendimiento kg/m ² | 79 |

| | |
|---|----|
| Tabla 28 Efecto de niveles del humus de lombriz en el rendimiento kg/m^2 | 80 |
| Tabla 29 Análisis de varianza de efecto simple para la variable rendimiento kg/m^2 | 82 |
| Tabla 30 Presupuesto parcial para la aplicación del biochar en el tomate variedad cherry..... | 84 |
| Tabla 31 Presupuesto para niveles de humus de lombriz en el tomate variedad cherry..... | 85 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Area del estudio | 31 |
| Figura 2 Croquis del experimento | 43 |
| Figura 3 Fluctuacion de la temperatura registrada durante el desarrollo del cultivo gestión 2020-2021 | 47 |
| Figura 4 Efecto de niveles del humus de lombriz en la altura de la planta (cm) | 54 |
| Figura 5 Efecto de niveles del humus de lombriz en el diámetro del tallo (mm) | 56 |
| Figura 6 Efecto de niveles del humus de lombriz en los días a la floración | 59 |
| Figura 7 Efecto de niveles del humus de lombriz en los días a la cosecha | 61 |
| Figura 8 Efecto de niveles del humus de lombriz en el número de frutos por planta | 64 |
| Figura 9 Efecto del biochar 1,5% y niveles de humus de lombriz en el número de frutos por planta..... | 65 |
| Figura 10 Efecto de la aplicación del biochar en el diámetro del fruto (mm) | 68 |
| Figura 11 Efecto de la aplicación del biochar en el peso del fruto (g)..... | 70 |
| Figura 12 Efecto de la aplicación del biochar 1,5% en el rendimiento por planta | 73 |
| Figura 13 Efecto de niveles del humus de lombriz en el rendimiento por planta | 74 |
| Figura 14 efecto del biochar 1,5% y niveles de humus de lombriz en el rendimiento por planta g/pl | 76 |
| Figura 15 Efecto de la aplicación del biochar en el rendimiento kg/m^2 | 79 |
| Figura 16 Efecto de niveles del humus de lombriz en el rendimiento kg/m^2 | 81 |
| Figura 17 Efecto del biochar 1.5% y niveles de humus de lombriz en el rendimiento kg/m^2 | 82 |

| | |
|---|----|
| Figura 18 Efecto de la aplicación del biochar en el beneficio/costo | 86 |
| Figura 19 Efecto de los niveles de humus de lombriz en el beneficio/costo | 86 |

RESUMEN

La presente investigación fue realizada en el Centro Experimental Cota Cota, Facultad de Agronomía, tuvo como objetivo, evaluar el efecto del biochar y niveles del humus de lombriz, en el comportamiento productivo y el rendimiento del tomate (*Lycopersicum esculentum* Miller) variedad cherry, en ambiente protegido. La misma se realizó bajo un diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas (2*3), con tres bloques. Se utilizó bloques, a causa de una fuente de variabilidad debido al factor sombra y parcela dividida para facilitar el manejo del experimento. En la parcela grande se ubicó la aplicación de Biochar 1,5% y en la parcela pequeña se ubicó los niveles de humus de lombriz 2%, 1,5% y 0%. Luego de obtener los datos en campo, se realizó el análisis estadístico.

Bajo la aplicación del biochar 1,5 %, se obtuvo un diámetro del fruto de 25,67 mm; peso del fruto de 8,40 g; rendimiento por planta de 603,59 g/pl y rendimiento metro cuadrado de 3,00 kg/m². En cuanto a los niveles de humus de lombriz el mejor fue el 2%, altura de la planta de 172,5 cm; diámetro del tallo 9,90 mm; días a la floración de 42,51 días; días a la cosecha de 118,71 días; número de frutos por planta de 75,67 frutos; rendimiento por planta de 621,31 g/pl y rendimiento por metro cuadrado de 3,1 kg/m² respectivamente.

La interacción del factor A Biochar 1,5% con el factor B niveles de humus de lombriz presentó diferencia altamente significativa en las variables de respuesta. Obteniéndose con Biochar 1,5 %: 76 frutos por planta, el rendimiento por planta tuvo un resultado de 726,92 g/pl y 3,64 kg/m² de rendimiento; con el nivel de 2% de humus de lombriz respectivamente. Mientras que sin la aplicación del biochar 0%, se obtuvo 75 frutos por planta, el rendimiento del fruto por planta fue de 515,70 g/pl y de 2,58 kg/m². Bajo las condiciones estudiadas se encontraron tendencias de incremento en los rendimientos del fruto del tomate cherry con el uso del biochar de eucalipto y de la misma forma con los niveles de humus de lombriz, así como otras características fenológicas de crecimiento y se espera que la respuesta de este biochar tenga efectos residuales a mediano y largo plazo para posteriores cultivos.

SUMMARY

The present investigation was carried out at the Cota Cota Experimental Center, Faculty of Agronomy, aimed to evaluate the effect of biochar and earthworm humus levels on the productive behavior of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* Miller) in a protected environment. It was carried out under a randomized block design with arrangement in divided plots (2*3), with three blocks. In the large plot the application of Biochar 1.5% was located and in the small plot the levels of worm humus 2%, 1,5% and 0% were located. After obtaining the data in the field, the statistical analysis was performed.

Under the application of biochar 1,5%, a fruit diameter of 25,67 mm was obtained; fruit weight of 8,40 g; yield per plant of 603,55 g/pl and yield square meter of 3.00 kg/m². Regarding the levels of earthworm humus, the best was 2%, plant height of 172,46 cm; stem diameter 9,90 mm; days to flowering 42,51 days; days to harvest of 118,71 days; number of fruits per plant of 75,64 fruits; yield per plant of 621,31 g/pl and yield per square meter of 3,11 kg/m² respectively.

The interaction of factor A Biochar 1.5% with factor B levels of worm humus presented a highly significant difference in the s variable response: number of fruits per plant, yield per plant (g / pl) and yield to kg / m², according to the analysis of variance performed. Obtained with Biochar 1,5 %: 76 fruits per plant, the yield per plant had a result of 726.92 g / pl and 3,64 kg / m² of yield; with the level of 2% of worm humus respectively. While without the application of biochar 0%, 75 fruits per plant were obtained, the yield of the fruit per plant was 515,70 g / pl and 2,58 kg / m². Under the conditions studied, trends were found d e increase in the yields of the fruit of the tomato cherry with the use of l biochar of eucalyptus and in the same way with the levels of worm humus, as well as other phenological characteristics of growth and it is expected that the response of this biochar has residing effects in the medium and long term for later crops.

1. INTRODUCCIÓN

La producción de hortalizas ha alcanzado gran importancia aun con algunas limitantes por falta de técnicas que permitan alcanzar una mejor calidad en la producción, la falta de conocimiento de técnicas que permitan encontrar sistemas de producción que mejoren la calidad productiva. El cultivo de tomate ha sido de gran importancia ya que es un producto que puede ser condimento de diversos platillos, además se puede consumir crudo o cocinado (Acosta, 2020).

La producción mundial de tomate ha sido en 2016, según los datos obtenidos de la FAO de 177.042 millones de kilos. China es el mayor productor con 56.308 millones de kilos, le sigue India con 18.399 millones de kilos y Estados Unidos con 13.038 millones de kilos.

Comparando estos datos nos refleja un panorama desalentador en la producción de tomate en el país. Esto debido al uso de semilla de mala calidad, variedades de bajos rendimientos, no adaptadas a las condiciones ambientales del lugar, no resistentes a agentes adversos, no tolerantes a plagas y enfermedades, incluyendo a estos factores la falta de apoyo técnico, la poca información, el manejo del cultivo y la falta de un adecuado asesoramiento en el manejo de plagas y enfermedades.

El biocarbón es el producto de la descomposición térmica de materiales orgánicos (biomasa) con escaso o limitado suministro de oxígeno (pirolisis), a temperaturas relativamente bajas inferiores a los 700 ° C y que es destinado a uso agrícola, lo que hace que sea diferente al carbón usado como combustible y al carbón activado. La International Biochar Initiative o IBI (2012) en su “Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar that is Used in Soil”, define al biocarbón como “un material sólido obtenido de una conversión termoquímica de biomasa en un ambiente limitado de oxígeno” (Escalante *et al.*, 2015)

La actividad de los microorganismos, y la naturaleza de los sustratos orgánicos, determinan la calidad de un abono orgánico, aplicado al suelo tiene un efecto benéfico

sobre sus propiedades físicas, químicas y biológicas, por la acción de las sustancias biosintetizadas por los microorganismos del suelo (Chilon, 1997).

Esta posibilidad es correcta y las razones las hallamos en nuestro Paradigma “suelo vivo”, demostrando que el “suelo vivo” es parte de la solución, para mirar y volver al área rural, y en caso de Bolivia apoyar y fortalecer la agricultura familiar campesina cuidando al suelo para las futuras generaciones, y hacer frente a la crisis climática y económica mundial (Chilon, 2018).

Viendo la inestabilidad de la producción se cree necesario implementar alternativas que mejoren las actividades productivas dentro de las cuales la más acertada es la implementación del uso de una enmienda biochar y un abono orgánico humus de lombriz, las mismas mejoraran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, por lo tanto, la producción del tomate como uno de los productos más demandados y a la vez adaptables. Finalmente se dará a conocerá, la eficiencia del biochar al 1,5% y los niveles del humus de lombriz 0%, 1,5% y 2%, en el comportamiento productivo y el rendimiento del fruto de tomate variedad cherry, el trabajo de investigación se realizó en el Centro Experimental Cota Cota, dependiente de la Facultad de Agronomía.

1.1 Planteamiento del problema

El ataque de plagas, debido a la baja fertilidad de suelos. El desconocimiento de las técnicas de producción agrícola y la ausencia del acompañamiento técnico en las áreas productivas, limita la capacidad de producción del tomate de calidad aceptable en el mercado, debido a que los productores no han encontrado alternativas que les permita producir fruto de una mejor calidad. El uso indiscriminado de agroquímicos ocasiona problemas irreversibles en el suelo llegando a erosionar los mismos.

1.2 Justificación

Los agricultores de la región producen diversos tipos de productos, tanto agrícolas como pecuarios. Uno de ellos es la producción agrícola del cultivo de tomate con el uso

excesivo de plaguicidas, el uso de la misma, está originando serios problemas en la salud de los productores y los consumidores, al mismo tiempo afectando al medio ambiente, provocando alteraciones ecológicas y la eliminación de la fauna benéfica, ocasionando resistencia de plagas que causan daño a los cultivos.

El presente trabajo de investigación busca mejorar los bajos rendimientos y tolerancia a enfermedades en el cultivo de tomate variedad cherry, utilizando métodos orgánicos de producción y que se orienten a los mercados locales, dotar a la población con alimentos orgánicos de calidad, revertir la sobre explotación de los suelos. Además, se busca una agricultura orientada a preservar el medio ambiente, ya que el uso del biochar y la aplicación del humus de lombriz mejorara el suelo, y finalmente evitar que los productores de este cultivo se expongan a la intoxicación.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto del “biochar” y niveles del humus de lombriz, en el comportamiento productivo del tomate cherry (*Lycopersicon esculentum* Miller) en ambiente protegido.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar si el “biochar” influye en el comportamiento productivo del tomate variedad cherry.
- Determinar qué nivel de humus de lombriz es mejor en el comportamiento productivo del tomate variedad cherry.
- Comparar el rendimiento del tomate variedad cherry, bajo el efecto del biochar y niveles del humus de lombriz.
- Analizar los costos parciales de producción.

2.3 Hipótesis

- Ho. No existe diferencias significativas en la aplicación del biochar y niveles de humus de lombriz, en cuanto a las variables agronómicas y rendimiento en el cultivo de tomate variedad cherry.
- Ha. Existe diferencias significativas en la aplicación del biochar y niveles de humus de lombriz, en cuanto a las variables agronómicas y rendimiento en el cultivo de tomate variedad cherry.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 Importancia del tomate

El tomate es una de las más importantes hortalizas cultivadas en el mundo. Este hecho se deriva de los diversos tipos de frutos que la especie presenta y de las variadas formas de consumo que ofrece. Se destaca actualmente el tomate cherry, caracterizado por pequeños frutos con diferentes tamaños, colores y sabores. En los últimos años han mejorado las técnicas de cultivo al usar estructuras de protección, trayendo como ventaja principal la disminución del uso de insecticida y logrando tomates de mejor calidad (Soto, 2015).

Existen varios reportes donde se indica que el tomate cherry presenta concentraciones elevadas de una serie de compuestos bioactivos (licopeno, luteína, β -caroteno, flavonoides, ácido ascórbico, α -tocoferol y vitaminas), que en algunos casos supera a los tipos saladette y bola, lo que le confiere un carácter de alimento nutracéutico (Beckles, 2012). En este sentido, Preczenhak *et al.* (2014) y Figueroa-Cares *et al.* (2018) citado por Martínez *et al.* (2018), indican que su consumo puede representar una alternativa importante como parte de una alimentación saludable, en el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas, cardiovasculares y algunos tipos de cáncer.

3.2 Producción del tomate en Bolivia

La producción de tomate en el año agrícola 2015-2016 fue de 61.531 toneladas y la importación alcanzó a 6.943 toneladas, es decir que se importa 11,28% de lo que se produce, por cada 100 toneladas de tomates producidos se importa 11 toneladas (INE, 2017).

Actualmente no se tiene datos de la producción de tomate cherry en Bolivia, ya que es un cultivo poco conocido por nuestros agricultores. Sin embargo, productores en Sonora-México producen tomate cherry campari y bola con una producción de 130 toneladas por

hectarea, los precios en el mercado internacional oscilan entre los 12 dolares la caja de 7 kilogramos (Infoagro, 2010).

Herrera *et al.* (2015), menciona que los costos de producción para el tomate cherry Sweet million son de 27.893,63 dolares por hectarea, debido a su alto rendimiento con 41.665 kg/ha. (Testa *et al.*, 2014), obtuvo 166.000 kg/ha y un costo de producción de tomate tipo cereza cultivando en Italia en 30 invernaderos, con una media de 229.570 dolares por hectarea y respecto a otros países que se encuentran en rangos de 129.000 a 152.000 kg/ ha.

3.2.1 Producción de tomate por departamentos

En ocho departamentos de Bolivia se cultiva tomate (a excepción de Oruro) siendo Santa Cruz y Cochabamba, los de mayor producción, con el 41% y 35% respectivamente, luego están: Tarija 9%, Chuquisaca 7% y La Paz 6%, entre los de mayor producción (MDRyT, 2013).

3.2.2 Producción orgánica del tomate

Estamos ante una nueva era de preocupación del consumidor acerca de su alimentación y la de llevar una dieta saludable, es por eso, que cada vez más las dietas a base de alimentos orgánicos ganan adeptos entre los consumidores. De esta manera la alimentación orgánica o ecológica se transforma en una alternativa, una nueva pauta del consumo responsable y sostenible. Según entrevistas realizadas por el Organic Trade Association (OTA, 2021) la mayoría de los empresarios en el sector de alimentos en Estado Unidos considera el mercado orgánico como un área valiosa de inversión (Porcel, 2015).

El desarrollo del mercado nacional para productos ecológicos se inicia en 1999 con la primera Bio Bolivia impulsada por AOPEB. Con ella, las organizaciones miembros buscaban diversificar sus oportunidades de venta, desde 2006 se ha establecido en La

Paz como feria anual acompañada de actividades de promoción, publicidad y difusión (AGRECOL Andes, 2018).

En la comunidad de Chorety- Santa Cruz, se produce tomates orgánicos, estos productos cultivados agroecológicamente, son producidos utilizando fertilizantes orgánicos, rotación de cultivos, implementación de policultivos y con manejo integrado de plagas. Con el fin de producir alimentos orgánicos mediante una agricultura ecológica y sustentable para mejorar la calidad, salud y nutrición de la población cruceña (Porcel, 2015).

3.2.2.1 Marco Legal

En Bolivia la problemática del hambre es cuestión de soberanía alimentaria. La Constitución Política del Estado en el artículo 407 se dispone alcanzar los siguientes objetivos: Promover la producción y comercialización de productos agro ecológicos, establecer políticas y proyectos de manera sustentable, procurando la conservación y recuperación de suelos. Mientras tanto el artículo 75 numeral 2, dispone que los consumidores tienen derecho a información fidedigna sobre las características y contenidos de los productos que consumen (Constitucion Politica del Estado, 2009).

Ley 300/12 Establece la visión y los fundamentos del desarrollo integral en armonía con la Madre Tierra para Vivir Bien, artículo 12 numeral 3, establecer procesos de producción no contaminantes y que respetan la capacidad de regeneración de la Madre Tierra, en función del interés colectivo (Orellana y Pacheco, 2012).

Ley 775/16 De promoción de alimentos saludables, busca la promoción de hábitos alimentarios saludables a fin de prevenir enfermedades crónicas relacionadas con la dieta (Molina, 2016).

3.3 Agricultura orgánica

La agricultura orgánica promueve su uso por los múltiples beneficios a nivel físico, químico, microbiológico y orgánico, dando beneficios al suelo y a la planta, también tiene ciertas desventajas, unas de ellas muestran resultados inmediatos o a corto plazo;

sin embargo, a mediano y largo plazo se establece un equilibrio en los nutrimentos del suelo, aumentando su fertilidad sin necesidad de incorporar insumos externos (Cussianovich, 2001).

3.3.1 Enmienda orgánica biochar

Jackson (2002) citado por Fiallos *et al.* (2015), señala que el carbón vegetal tiene la capacidad de elevar la fertilidad natural del suelo; dada su alta resistencia a la descomposición de la materia orgánica, así como su gran capacidad para retener nutrientes, al ser añadido a suelos pobres les aporta carbono muy resistente a su mineralización, el cual es absorbido por la planta, acelerando su desarrollo, es decir, aumentando su altura; además, hay que considerar que un buen suelo es esencial para la producción.

3.3.1.1 La carbonización o pirólisis

El proceso de calentamiento de materiales orgánicos en ausencia de aire se denomina pirólisis o carbonización. Por lo general se utiliza el término pirólisis cuando dicho proceso se enfoca a la obtención de los gases y aceites que se producen y carbonización cuando (como en el caso del carbón vegetal) el proceso se dirige hacia la obtención del producto sólido resultante (carbonizado), que ocurre al alcanzar la temperatura final en torno a los 600 °C, donde se produce la pirolisis o carbonización, propiamente dichas, el desprendimiento de sustancias volátiles es máximo. El residuo sólido resultante es el carbón vegetal (Saire, 2006).

3.3.1.2 Origen del biochar

Este producto tuvo su origen al ser redescubiertas las tierras negras de los indios amazónicos de Brasil, descritas como Terra Preta (tierra negra), por (Shaaban *et al.*,2013) consignaron la existencia de unos suelos oscuros y fértiles en la Amazonia brasileña, pero no pudieron precisar su origen.

Acosta (2014), consideró que dichos suelos fueron desarrollados por los indios mediante depósito de materiales orgánicos, derivados de la quema de biomasa y restos de esqueletos de pescado, lo cual los transformaba en suelos fértiles al agregársele cierta riqueza de nutrientes.

Un contenido anormalmente alto de nutrimentos esenciales como P, Ca y K en muchos de estos suelos (Lehmann y Stephen, 2009).

3.3.1.3 Elaboración del biochar

La biomasa utilizada para el proceso de pirólisis puede tener diferentes orígenes, siendo la agricultura, ganadería, sector forestal y residuos municipales los más habituales. De esta manera, restos de poda, biomasa procedente de diferentes cultivos, residuos diversos de actividades ganaderas y lodos de depuradora, pueden ser materiales a pirolizar (Sohi *et al.*,2009) citado por (Paco Abenza, 2012).

3.3.1.3.1 Biomasa

La biomasa es la materia orgánica originada en un proceso biológico, que puede ser utilizable como fuente de energía o como productos de transformación para diferentes fines (Iglesias, 2018).

Los materiales usados para elaborar biocarbón son muy numerosos. Sin embargo, no todos los residuos o subproductos son materias primas apropiadas para producirlo. Una de las características que deben ser prioritarias para su selección es que los materiales no deben competir con otros usos, principalmente si éstos generan productos de mayor valor económico que el biocarbón, o bien que compitan con la producción de alimentos y de bienes y servicios ambientales. Lehmann y Stephen (2009), mencionan entre dichas materias primas a: madera, estiércol, hojas y residuos de cultivos.

a) Biomasa residual de eucalipto

En el caso específico de la variedad *Eucalyptus globulus*, los resultados obtenidos por el estudio Doctoral de Balboa (2005) revelaron significativa acumulación de nutrientes en

las fracciones arbóreas de la copa ya que realizan una importante retirada de nutrientes del suelo, por lo que se vuelve imprescindible el aprovechamiento sostenible de la biomasa arbórea. Las conclusiones de Balboa, refieren que la mayor parte del N y P acumulado por la vegetación se encuentra en las ramas y la corteza, que también acumulan importantes cantidades de Ca, Mg y K (Iglesias, 2018).

3.3.1.3.2 Obtención del biochar

Éstas pueden ser clasificadas en cuatro categorías generales: pirólisis lento, pirólisis rápido, pirólisis ultrarápida y gasificación (Ippolito *et al.*, 2011). La pirólisis ocurre en ausencia completa de oxígeno mientras que la gasificación se da con reducida cantidad de él, Brick y Wisconsin (2010), además propone un quinto proceso que es la carbonización hidrotérmica.

Fundamentalmente la pirólisis involucra el calentamiento de materiales orgánicos a temperaturas superiores a 400 °C en ausencia de oxígeno. A estas temperaturas, los materiales se descomponen térmicamente, liberando una fase de vapor y generando una fase sólida residual (biocarbón) (Ippolito *et al.*, 2011).

a) Pirólisis lento.

El proceso más adecuado para producir biocarbón como mejorador de suelos y a fin de ayudar a mitigar el cambio climático es la pirólisis lento, ya que maximiza la producción de biocarbón que es el compuesto más estable de los productos finales del pirólisis. Las temperaturas de 300 a 500 °C optimizan el rendimiento de biocarbón (Hayes, 2009).

3.3.1.3.3 Variables que afectan la pirolisis

Diversas variables afectan el mecanismo y la cinética de las reacciones de pirólisis. Estas variables, incluyen la composición del sustrato, el intervalo de calentamiento, la temperatura y presión de la cama, atmósfera ambiental presente y uso de catalizadores, por lo que deben ser completamente comprendidas y apreciadas. Al entender la

influencia de estas variables en el proceso, las condiciones de pirólisis pueden ser anticipadas y controladas (Sadaka, 2013).

3.3.1.3.4 Características físicas y químicas del biochar

Propiedades físicas, el biocarbón es un sólido carbonoso, de color negro, con una superficie intrincada y desordenada, cuyas características estructurales varían por el tipo y tiempo del pirólisis, en general es amorfo, está constituido por partículas de diferentes tamaños, lo que depende de la fuente y tamaño de la materia prima (Lehmann y Stephen, 2009).

a) Los macroporos

Proviene de los espacios propios de la materia prima original y permiten el transporte rápido de sorbatos, para su posterior difusión en el volumen de microporos, ayudando al transporte de moléculas concentradas (Martinez *et al.*, 2006).

b) Los microporos

Son generados en el proceso de pirólisis, por lo que al aumentar la temperatura aumenta la microporosidad, además generan más área de carga reactiva. Los microporos están asociados a la adsorción de compuestos líquidos, sólidos y de gases (Verheijen *et al.*, 2009).

La composición química de los biocarbones es muy variable. Por ejemplo, un biocarbón producido a partir de roble blanco y rojo presentó 90.8% de carbono, 7.2% de oxígeno y 1.7% de hidrógeno Cheng *et al.* (2006). Mientras que un biocarbón de arroz y otro de trigo presentaron 80.7 y 80.4% de carbono, 9.11 y 9.03% de oxígeno y 2.79 y 2.75% de hidrógeno, respectivamente, lo que pone de manifiesto su amplia variabilidad. Estudios de caracterización de biocarbones han consignado reacciones donde el pH varía de ácido a alcalino, con una media de pH 8,1 y un intervalo de pH entre 6,2 y 13 (Ashworth *et al.*, 2014).

En cuanto a la capacidad de intercambio catiónico (CIC) ésta es muy variable y va desde unas cuantas unidades hasta 40 cmol kg⁻¹ producto de su química superficial. Los biocarbones maduros presentan mayor CIC que los jóvenes, por su contacto con el oxígeno y el agua (Cheng *et al.*, 2006). La CIC se reduce conforme a la disminución del pH del biocarbón, así valores de CIC son bajos a pH bajo y se incrementa a pH alcalinos. Es posible que pueda presentarse un punto en el que la CIC tenga el valor de cero (punto de carga neta cero, de manera similar al término usado en los suelos) el cual depende de la temperatura de pirólisis.

3.3.1.4 Aplicaciones agrícolas y ambientales

El biochar es una de las prácticas innovadoras y actualmente recomendadas por la FAO (Food and Agriculture Organization), para mejorar las condiciones de suelo y contribuir a la afectación ambiental por el exceso de CO₂. Actualmente se vienen realizando diversas gestiones y propuestas ante organismos de protección ambiental, con el objeto de conseguir bonos por el secuestro de carbono en el suelo, factor que potenciaría prácticas ambientales y conservacionistas como el biochar para hacer del suelo un sumidero del exceso de carbono existente (Iglesias, 2018).

Oses (2012), expone que el biocarbón combinado con la inoculación de *Bacillus subtilis*, mejora el crecimiento de plantas de tomate fertilizadas con compost orgánico, con un promedio de 13 %, aumentando el peso seco aéreo de las plantas.

En plantas de tomate inoculadas con *Botrytis* se reporta que su aplicación indujo respuestas en las rutas de resistencia sistémica adquirida e inducida en el dosel, lo que sugiere que favoreció la resistencia al estrés biótico (Kolton *et al.*, 2011). Según Amonette (2009), la aplicación de biocarbón aumenta la capacidad de retención de nutrientes en el suelo con la consecuente reducción de la necesidad de aplicar altas dosis de fertilizantes.

Al usar biocarbón como adsorbente en un cultivo de arroz donde el suelo estaba contaminado con cadmio, reportan que el bicarbón también puede favorecer la sorción

de compuestos orgánicos como herbicidas, pesticidas, enzimas; así como compuestos hidrofóbicos como hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), bifenilos policlorinados en suelos y sedimentos, contribuyendo así a evitar efectos nocivos a corto y largo plazo (Verheijen *et al.*, 2009).

La agricultura y el cambio climático están fuertemente ligados, ya que la actividad agrícola contribuye a la formación de gases de efecto invernadero (GEI) en un alto porcentaje del total emitido Sohi (*et al.*, 2009), sobre todo por el uso no racional de fertilizantes y las prácticas de cultivo (Martínez *et al.*, 2008). Asimismo, la actividad forestal también contribuye a éstos como resultado de la deforestación y los incendios provocados. La actividad pecuaria, en particular la de rumiantes, aporta, 14.5% del total de emisiones de GEI.

3.3.1.5 Dosis de biochar recomendado

La incorporación de los distintos tipos de biochar o de sus materiales de partida al suelo de referencia se realizó en una dosis equivalente al 1% de C, es decir, de manera que el carbono total incorporado constituyese una adición de 10g C/Kg tierra (Paco Abenza, 2012).

3.3.1.6 Ventajas y desventajas del biochar

El beneficio de utilizar biochar en los cultivos, se sustenta en los cambios que produce dentro de los componentes de la estructura de la tierra, al respecto se ha demostrado que el uso de biocarbón (biochar) como enmienda edáfica puede mejorar las condiciones en el suelo a la vez que se corrigen algunas de sus propiedades, se han atribuido a la disminución en la densidad aparente, la mejora de la dinámica del agua al modificar la estructura del suelo y aumenta la capacidad de intercambio (Iglesias, 2018).

Empresas privadas, operarían en países subdesarrollados sin ningún tipo de restricción, amparadas por la legislación y fomentadas por las cuotas de mercado de carbono, lo que

podría generar la deforestación de zonas boscosas y el desplazamiento de población local, con la posibilidad de importantes afecciones sobre el medio ambiente (Paco, 2012).

Torres -Sallan *et al.* (2014), menciona que en ocasiones las partículas de biocarbón que son muy pequeñas pueden bloquear parcial o totalmente la porosidad del suelo con la consecuente alteración de su estructura y la disminución de infiltración de agua.

3.3.2 Abonos orgánicos

El propósito de utilizar biofertilizantes es tener plantas sanas que no se estresen, ya que al estresarse liberan aminoácidos que son las sustancias que atraen a las plagas, por lo que si tenemos plantas sanas el daño se reducirá. Este enfoque se basa en el uso de todos los recursos orgánicos de los que se dispongan para convertirlos en bocashi, lombricompost, abonos líquidos, fermentos y harinas, lo que servirá para incorporar nutrimentos y microorganismos al suelo. Los microorganismos son muy importantes porque participan en la mineralización de la materia orgánica (Ramos y Terry, 2014).

Uno de los beneficios en las plantas fertilizadas orgánicamente es que son menos propensas al ataque por insectos-plaga, al tener un balance más adecuado de nutrimentos, esto fue descubierto por el científico francés Francis Chaboussou en 1985, quien demostró la dependencia entre la calidad nutricional de las plantas y la aparición de plagas. Este proceso genera la síntesis de proteínas, y al haber un desbalance nutricional los enlaces proteicos, se rompen, desdoblándose en aminoácidos, los cuales son la base alimenticia de la que se nutren los organismos heterótrofos para sintetizar sus propias proteínas. Según la teoría de la trofobiosis, las defensas orgánicas de los vegetales contra el ataque de plagas están en un contenido equilibrado de sustancias nutritivas en la savia o citoplasma (García y Félix, 2014).

3.3.2.1 Humus de lombriz y sus características

Las lombrices son una parte muy importante del proceso de fertilidad de la tierra, pues no solo se dedican a devorar la materia orgánica que encuentran, sino que cumplen otras

funciones: ayudan a diluir ciertos minerales transformándolos en suelo orgánico y mezclan ciertas sustancias vegetales con otras situadas en las zonas más profundas procedentes del subsuelo favoreciendo el equilibrio entre arcilla y humedad. El resultado de este proceso es una tierra de estructura grumosa y esponjosa que facilita la aireación y retención de agua (Tencela, 2012).

Bollo (2001) citado por Blanco (2018), menciona que el humus está compuesto por ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, las huminas. El mismo autor menciona, para poder determinar que el humus es de buena calidad, tendremos en cuenta entre parámetros como:

- pH neutro, en un rango entre 6,7 a 7,3.
- Contenidos de materia orgánica superiores a 28 %.
- Nivel de nitrógeno superior a 2 %.
- Relación C/N en un rango entre 9 a 13 y representa en promedio el 75-80% del humus total.
- Contenido de cenizas no superior al 27 %.

El humus estable es la materia orgánica ligada al suelo, es decir, sólidamente fijada a los agregados de color oscuro. Su composición es muy compleja (humina, ácidos húmicos y fulvicos). La fase de mineralización es muy lenta, y en ella el humus estable recibe la acción de otros microorganismos que lo destruyen (1 al 2% al año), liberando así los minerales que luego absorberán las plantas: la amonificación (paso del N orgánico a amonio) y la nitrificación (paso de amonio a nitrato) (Garcia y Felix, 2014).

Los excrementos de la lombriz contienen: 5 veces más nitrógeno, 7 veces más fósforo, 5 veces más potasio y 2 veces más calcio que el material orgánico que ingirieron (Blanco, s.f).

a) Reproducción

La lombriz vive aproximadamente unos 16 años y puede llegar a producir 1.300 lombrices al año, se acopla regularmente cada 7 días, si la temperatura y la humedad del medio son de su agrado, alcanza su madurez sexual a los 3 meses de edad. Es hermafrodita incompleta por lo que no está en condiciones de auto fecundarse; Consecuentemente, como resultado del acoplamiento de dos lombrices, se producirán dos huevos o cápsulas (uno de cada lombriz). Estas cápsulas se abrirán al cabo de 12 a 21 días, según la temperatura del medio donde se ubiquen. Cada huevo o cápsula contiene de 2 a 21 pequeñas lombrices (Blanco, s.f).

3.3.2.1.1 Dosis de humus recomendada

| | |
|--------------------------|-----------------------------|
| Frutales | 2 Kg. / árbol |
| Hortalizas | 1 Kg. / m ² |
| Recuperación de terrenos | 2500-3000 L / ha |
| Macetas de 40 cm. | 15 cucharadas |
| Macetas de 20 cm. | 8 cucharadas (Blanco, s.f). |

3.3.2.1.2 Efectos del humus de lombriz

Los ácidos húmicos y fúlvicos mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas en los suelos, que conducen finalmente a un incremento en la productividad y fertilidad (Tencela, 2012).

Los efectos de las sustancias húmicas sobre la planta son muy diversos: los ácidos húmicos estimulan el desarrollo de raíces y tallos; existen reportes de que la aplicación de ácidos húmicos incrementa el crecimiento de la plántula y el contenido de nutrimentos en trigo (*Triticum aestivum*), tabaco (*Nicotiana tabacum*), maíz (*Zea mays*) y en tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill); por el contrario; si se aplican altos niveles de ácidos húmicos retarda el crecimiento de estas plantas o decrece el contenido de nutrimentos

en las mismas, el tratamiento de semillas y sustratos con ácidos húmicos promueve el desarrollo de la radícula, mejora la absorción de micronutrientes como Fe-Cu y Zn (García y Félix, 2014).

3.4 Características del cultivo

3.4.1 Origen y distribución

El origen de la especie *Lycopersicon esculentum* Miller, se ubica en la región Andina, desde el sur de Colombia hasta el norte de Chile. Posiblemente desde allí fue trasladada a América Central y México, donde se domesticó, pero señala también que Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia y Chile son los países en donde se encuentran todas las especies silvestres relacionadas con él y son nativas de esas regiones. En ese contexto el año 1800 empieza su cultivo como planta agrícola y a partir de ese momento se inicia un proceso de difusión de sus cualidades y usos, convirtiéndose años más tarde en la planta hortícola (Monardes, 2009).

El tomate cherry destaca por su pequeño tamaño, que lo hace diferente a las demás variedades. Ha sido desde épocas remotas de forma práctica y sencilla. Es muy común verlo crecer de forma silvestre, aunque hay quienes lo siembran en los patios y terrazas. Es el fruto de una planta de reducido tamaño, y puede ser rojo como amarillo. Se le denomina cherry por su parecido con la cereza, tiene su origen en América, pero se ha difundido por múltiples regiones del mundo (Martínez *et al.*, 2018).

3.4.2 Variedades de tomate: Según el hábito de crecimiento

Inforjardin (2020), indica que las variedades comerciales se eligen de acuerdo a la región donde se va a producir el tomate adoptando semillas indeterminadas híbridas o determinadas que formen plántulas con un buen porcentaje de germinación, vigor resistencia a plagas, enfermedades y altos rendimientos, el tipo de tomate a sembrar dependerá del propósito de consumo y el mercado de destino.

a) Crecimiento determinado

Rodríguez (1989) citado por Disagro (2004), menciona que son plantas arbustivas, con un tamaño de planta definido, donde en cada extremo del crecimiento aparece una yema floral, tienen períodos restringidos de floración y cuajado. El tamaño de la planta varía según el cultivar, ya que podemos encontrar plantas compactas, medianas y largas, para las dos últimas clasificaciones necesitamos poner tutores.

b) Crecimiento indeterminado

a su vez Rodríguez (1989) citado por Disagro (2004), menciona que su crecimiento vegetativo es continuo, pudiendo llegar su tallo principal hasta más de 12 m de largo si es manejado a un solo eje de crecimiento, las inflorescencias aparecen lateralmente en el tallo florecen y cuajan uniformemente, se eliminan los brotes laterales y el tallo generalmente se enreda en torno a un hilo de soporte, es apto para invernadero.

3.4.3 Características botánicas

3.4.3.1 Taxonomía

Nombre común: Tomate, Género: Lycopersicon, especie: esculentum, familia: Solanaceae, subfamilia: solanoideae, tribu: Solaneae (CENTA 2006).

La ubicación taxonómica del tomate: Orden Solanales, Familia Solanáceas, Género Lycopersicon, Especie esculentum, Nombre común jitomate o tomate, Variedad común tomate, variedad ceraciforme tomate cherry (Disagro, 2004).

3.4.3.2 Morfología

Infoagro (2012), indica que el tomate es una planta perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual. Puede desarrollarse de forma rastrera, semirrecta o erecta. Su sistema radicular presenta una raíz principal con raíces secundarias y adventicias. El tallo principal tiene un diámetro de 2-4 cm en su base, de donde se desarrollan hojas y tallos secundarios.

Las hojas son compuestas imparipinadas con foliolos peciolados, lobulados y con borde dentado en número de 7 a 9 foliolos. La flor es perfecta consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo y dispuestos de forma helicoidal, con igual número de estambres que envuelve al gineceo y de un ovario bi o plurilocular, la inflorescencia del tomate es una cima iniciada por el meristema apical y está formado por un eje principal, las flores son hermafroditas y se auto fecundan. Fruto es una baya de color rojo o amarilla tiene de 1 a 3 cm de diámetro y entre 8 a 15 g de peso considerados como frutos de buena firmeza, el número de lóculos puede variar de dos a treinta. Semilla tiene 3 a 5 mm de diámetro, es reniforme aplastada, de color marrón claro y recubierta de pelos (Infoagro, 2005).

3.4.3.3 Valor nutricional de tomate

Se elija la variedad que se elija, sus propiedades nutricionales son beneficiosas, por lo que la OMS recomienda su consumo (La vanguardia, 2020).

Tabla 1**Composición nutricional por 100 g**

| Constituyente | Tomate (100 g porción) | Tomate cherry (100 g porción) |
|------------------------------|------------------------------------|--|
| Agua, % | 93.5 | 93.2 |
| Energía, cal | 22 | 22 |
| Carbohidratos, g | 4.75 | 4.9 |
| Proteínas, g | 1.05 | 1.00 |
| Grasas, g | 0.20 | 0.20 |
| Fibras, g | 0.55 | 0.40 |
| Calcio (Ca), mg | 12 | 29 |
| Fósforo (P), mg | 26 | 62 |
| Potasio (K), mg | 244 | - |
| Sodio (Na), mg | 3 | - |
| Magnesio (Mg), mg | 14 | - |
| Hierro (Fe), mg | 0.5 | 1.7 |
| Vitamina A, UI | 900 | 2000 |
| Ácido ascórbico,mg | 25 | 50 |
| Vitamina B ₁ , mg | 0.06 | 0.05 |
| Vitamina B ₂ , mg | 0.04 | 0.04 |
| Niacina, mg | 0.7 | - |

Fuente: La vanguardia (2020).

De un total de 40 carotenoides encontrados en la dieta humana, sólo 25 se encuentran en la sangre debido a la absorción selectiva del tracto digestivo. De este número, de 9-20 derivan del tomate tanto fresco como procesado, siendo los más importantes: licopeno, α - y β -caroteno, luteína, zeaxantina y β -criptoxantina.

El licopeno, que constituye cerca del 80-90% del total del contenido en carotenoides de los tomates maduros es el antioxidante más eficiente entre los carotenoides, por su actividad detoxificadora del oxígeno singlete y de los radicales peroxilo (Carchuna, 2003).

El β -caroteno, un potente precursor en la dieta de la vitamina A, constituye aproximadamente el 7% del contenido en carotenoides del tomate. El ácido ascórbico (vitamina C), además de ser el antioxidante más efectivo en las plantas es también un fotoquímico muy importante en el fruto de tomate (Rosales, 2008).

3.4.4 Requerimientos edafoclimáticos del tomate

3.4.4.1 Temperatura y humedad

Tienen que mantenerse en temperaturas cálidas, de preferencia entre los 25 a 35 °C aun cuando pueden soportar un mínimo de 14 °C y hasta 40 °C. Exige abundante luz solar. La humedad influye sobre el crecimiento de los tejidos, transpiración, fecundación de las flores y desarrollo de las enfermedades fungosas, siendo preferibles humedades medias no superiores al 50%, y suelos no encharcados. La humedad relativa óptima oscila entre un 60% y un 80% (Montes de Oca, 2011).

Kuti y Konuru (2005), observaron recientemente un incremento en la concentración en licopeno en los tomates tipo cherry y tipo redondo cuando la temperatura durante la fase de maduración del fruto incrementa de 15 a 20,3°C en otoño y de 18 a 22°C en primavera, encontrándose la temperatura óptima entre 20 y 24°C para la biosíntesis de licopeno.

3.4.4.2 Luminosidad y fotoperiodo

Infoagro (2005), valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma sobre los procesos de floración, fecundación, así como el desarrollo vegetativo de la planta, en los momentos críticos durante el periodo vegetativo, resulta crucial la interrelación entre la temperatura diurna, nocturna y la luminosidad.

3.4.4.3 Suelo

Se requiere un terreno fértil, rico en materia orgánica, suelto y medianamente profundo. Hay que removerlo constantemente para eliminar hierbas nocivas y lograr excelentes

plantas. Si el trasplante es para una maceta, tiene que contener abundante sustrato y agujeros para que drene el agua (Hernandez, 2009).

3.4.5 Requerimiento de nutrientes del cultivo del tomate

Según Molina (s.f), menciona que los nutrientes principales que requiere el tomate son:

a) Nitrógeno

Este elemento es fundamental para las plantas, forma parte de las proteínas, amidas, clorofila y hormonas de todo tipo. Para una producción de una tonelada, se estima unas extracciones de 2,2 kg de nitrógeno en el cultivo.

b) Fósforo

Forma parte de los procesos metabólicos, fotosíntesis, generación de sistema radicular y extracción de energías de reserva. Las extracciones estimadas por cada tonelada de tomate son 0,5 kg por cada tonelada producida.

c) Potasio

Las funciones de este elemento en la planta son varias, van desde la síntesis a sistemas de regulación de absorción del agua, una de las que conviene recordar es que ayuda al engorde de los frutos. Las extracciones de potasio por cada tonelada de tomate son de 3,9 kg.

d) Calcio

Es indispensable en el crecimiento de los tejidos y su influencia a nivel célula, muchas veces presenta problemas cuando tenemos pH elevado, ya que queda bloqueado por el fósforo. Su extracción por cada tonelada es de 1,6 kg. El cultivo de tomate presenta rápidamente la deficiencia en un problema ya denominado como “peseta del tomate”.

e) Magnesio

Componente que actúa como limitante en la producción de la clorofila, es uno de los grandes olvidados, pero resulta muy simple y económica su aplicación, mediante enmiendas de dolomitas pulverizadas o calcinadas. Las extracciones oscilan sobre 0,4 kg por cada tonelada de tomate.

f) Azufre

Es esencial en la síntesis de aminoácidos, ayuda en la formación de la clorofila y forma parte de ciclo metabólico del nitrógeno. La extracción en el cultivo del tomate se sitúa sobre los 0,9 kg de azufre por tonelada.

3.4.5.1 Época de siembra

Huertoteca (2016), menciona que los ciclos de cultivo del tomate más frecuente son los siguientes:

- **Ciclo extra temprano:** el semillero suele realizarse a partir de octubre.
- **Ciclo temprano:** las siembras se realizan en semilleros protegidos desde finales de noviembre a mediados de diciembre.
- **Ciclo normal:** las siembras se realizan a partir de finales de enero.
- **Ciclo tardío:** los semilleros se realizan al aire libre los meses de junio y julio.

La época normal de siembra es a finales de invierno o a principios de primavera.

Las plantas jóvenes se aclimatan a mediados de primavera y se plantan en asientos finales de esta estación. Para el cultivo del tomate las siembras desde julio hasta diciembre en almácigos, los meses de julio a agosto conviene abrigar el almacigo con vidrieras (Pato, 2021).

3.4.6 Fenología del tomate

3.4.6.1 Fase Inicial

Navarro (2006), menciona que esta fase comienza con la germinación de la semilla y se caracteriza por el rápido aumento en la materia verde; la planta invierte su energía en la síntesis de nuevos tejidos de absorción y fotosíntesis.

3.4.6.2 Fase vegetativa

Esta etapa es la continuación de la fase inicial, pero el aumento en materia verde es más lento, dura entre 25 a 30 días termina con la floración. Requiere de mayores cantidades de nutrientes para satisfacer las necesidades de las hojas y ramas en crecimiento y expansión (Navarro, 2006).

3.4.6.3 Fase reproductiva

La fase reproductiva Inicia a partir de la fructificación, dura entre 30 a 40 días y se caracteriza porque el crecimiento prácticamente se detiene y los frutos extraen de la planta los nutrientes necesarios para su crecimiento y maduración (Navarro, 2006).

3.4.7 Agronomía del cultivo

3.4.7.1 Almacigo o semillero

Según Monardes H (2009), bandeja de poliestireno expandido. Es un sistema que tiene como ventaja, la facilidad con que se puede llevar la bandeja al terreno de siembra y al regarse, las plantas salen mucho más rápido.

3.4.7.2 Siembra directa

Se realiza la siembra directa a campo las explotaciones para la industria hacen siembras directas, colocando 2 a 3 semillas por golpe, ubicándolas a 30 cm de distancia entre ellas en el surco y a 1,20 m entre surco, la siembra manual o mecanizada (Hernandez, 2009).

3.4.7.3 Trasplante

Guarro (1990) citado por Blanco (2007), debe realizar el trasplante cuando las plántulas tengan 3 a 4 hojas, en el suelo húmedo, para evitar estrés hídrico, entre los 25 a 30 días después de la siembra, los plantines deben tener 15 o 20 cm de altura, la plantación en cepellones de 45 cm entre surco y 75 cm entre plantas.

3.4.7.4 Refalle

A los 7 días aproximadamente del trasplante se procederá a la selección de las plántulas que no prenderán, verificando el buen estado de las plántulas (Acosta, 2020).

3.4.7.5 Labores culturales

3.4.7.5.1 Riego

Disagro (2004), afirma que es importante la buena distribución del riego durante todo el ciclo del cultivo, principalmente antes de la formación de frutos. El consumo diario de agua por planta adulta de tomate es de aproximadamente 1,5 a 2 l/día, la cual varía dependiendo de la zona, las condiciones climáticas del lugar, el riego por goteo se aplica para no tener pérdida de agua.

3.4.7.5.2 Deshierbe

Monardes (2009), considera que las malas hierbas tienden a una emergencia rápida y causa más daño y es competencia con las plantas cultivadas en espacio, nutrientes agua y luz, las malezas son también hospederos de insectos, hongos, bacterias y virus nocivos a las plantas cultivadas.

3.4.7.5.3 Aporque

Disagro (2004), explica que esta práctica se realiza en suelos enarenados tras la poda de formación, con el fin de favorecer la formación de un mayor número de raíces, y que consiste en cubrir la parte inferior de la planta con arena.

3.4.7.5.4 Poda, destellado y deshojado

Infoagro (2005), menciona que es una práctica imprescindible para las variedades de crecimiento indeterminado. Se realiza a los 15-20 días del trasplante con la aparición de los primeros tallos laterales, que serán eliminados, al igual que las hojas más viejas. Son frecuentes las podas a 1 o 2 brazos, aunque en tomates de tipo cherry suelen dejarse 3 y hasta 4 tallos.

a) Poda de tallos laterales

Es aconsejable dejar en la parte terminal de la planta, uno o dos pequeños mamones o tallos laterales ya que al conducir el cultivo se puede quebrar o dañar el tallo principal, se deja desarrollar uno de ellos para después convertirse en el tallo principal. Siempre que se desbrote una planta, habrá que darle una vuelta al tallo terminal alrededor de la rafia de soporte, realizando un movimiento inverso a las manecillas del reloj (Acosta, 2020).

b) Poda de hojas

El momento oportuno para la eliminación de hojas viejas o senescentes es cuando los primeros frutos alcanzan su madurez fisiológica. Es recomendable deshojar la planta escalonadamente y nunca en exceso, siendo las hojas más bajas las primeras en eliminarse, posteriormente deshojamos el primer racimo dejando al descubierto el fruto de tomate cuando tiene un tamaño mayor al de una nuez (Perez, 2013).

3.4.7.5.5 Tutorado

Infoagro (2005), el apoyo y colocación de los tutores se realiza inmediatamente después del trasplante una vez que la planta alcanza una altura de 35 a 50 cm, los tutores deben medir 2,5 metros o más dependiendo de la altura de la variedad y deben colocarse con un distanciamiento de 3 metros entre cada uno. El sistema de tutorado empleado para el cultivo de tomate es el "danés".

3.4.7.5.6 Cosecha

Monardes (2009), explica que, en condiciones normales se admite que entre la apertura de las flores y la maduración de los frutos suelen transcurrir 50-60 días. Por otra parte, también puede indicarse que entre el trasplante y la maduración de los primeros frutos pueden pasar entre 65 y 100 días, según la precocidad de la variedad cultivada.

El grado de madurez es el índice más usado para la cosecha de frutos, pero debe diferenciarse la madurez fisiológica de la madurez comercial. La primera, es aquella que se alcanza luego que se ha completado el desarrollo, mientras que la segunda se refiere a la demanda de mano de obra producida por picos de maduración vinculados al clima, puede ser satisfecha mediante la contratación adicional de personal (Lopez, 2003 citado por Hernandez, 2009).

3.4.7.5.7 Post cosecha

Soto (2015), los principios básicos de post cosecha: Cosechar en madurez correcta, reducir manejo físico, proteger producto del sol, mantener línea de empaque simple y limpia; asegurar buena higiene del trabajador, selección, clasificación y empaque cuidadoso. Conocer requerimientos del mercado y producto.

Evitar temperaturas muy frías en los tomates (<1 0°C) reduce el sabor y el aroma (volátiles) además de causar daño por frío, la cual afecta la capacidad para madurar e incrementa pudriciones. La temperatura ideal para almacenaje refrigerado es de 2°C según la literatura (Fornaris, 2007).

3.4.8 Plagas, enfermedades y desórdenes fisiológicos

3.4.8.1 Plagas

Uno de los problemas más importantes que se presentan en el desarrollo del cultivo de tomate bajo condiciones protegidas, es el ataque de algunas plagas y enfermedades, altamente dañinas, afectando significativamente la producción y la calidad de los frutos.

Cabe resaltar que esta especie hortícola es una de las más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades (Futurcrop, 2019).

A continuación, se mencionan las plagas y enfermedades de más importancia económica en el cultivo de tomate en invernadero.

a) Araña Roja (*Tetranychus urticae*)

Los primeros síntomas en observarse son en su mayoría unas manchas amarillentas en el haz de las hojas, pudiéndose contemplar la presencia de esta plaga en el envés de las hojas. Los daños ocasionados son como consecuencia del debilitamiento que presenta la planta a causa de las numerosas picaduras que ocasiona esta plaga para su alimentación, las cuales pueden provocar un descenso en las funciones de las hojas, terminando por secarlas (Agronet, 2020).

b) Mosca blanca (*Bemisia tabaci*)

Es la plaga más común en el cultivo de tomate, siendo más severa su incidencia en invernadero debido a las condiciones ambientales, tales como: Temperatura y humedad relativa, aunque se encuentra durante todo el ciclo de cultivo, se ha observado que las poblaciones más altas inciden en los primeros cincuenta días después del trasplante. Los daños directos son ocasionados por ninfas y adultos al alimentarse en el envés de las hojas tiernas succionando la sabia. En infestaciones severas, las plantas presentan una clorosis marcada, y como consecuencia, la planta detiene su crecimiento, y en ocasiones se caen las hojas.

Los daños indirectos se manifiestan principalmente en la transmisión de virus. "*Bemisia sp*" es potencialmente transmisora de un mayor número de virus en cultivos de hortalizas, y en la actualidad actúa como trasmisora del virus de rizado amarillo del tomate (TYLCV) conocido como el virus de la cuchara, otro virus de gran importancia es la marchites manchada del tomate (TSWV) el cual disminuye considerablemente el desarrollo del cultivo (Bernal, 2010).

c) Pulgón: "*Aphis gossypii*; *Aphis persicae*)"

Futurcrop (2019), los áfidos presentan polimorfismo sexual, con hembras haladas y ápteras de reproducción vivípara. Los daños directos son provocados por la absorción de savia por parte de ninfas y adultos, lo que produce debilitamiento, deformaciones, abolladuras y enrollamiento de las hojas, ocasionando un retraso general en el desarrollo de las plantas. Los daños indirectos se producen debido a la cantidad de savia que no aprovechan y depositan sobre el cultivo, siendo esta sustancia pegajosa y con gran cantidad de azúcares un medio de cultivo óptimo para hongos como la negrilla. Otro daño indirecto ocasionado por pulgones es la transmisión del Virus del mosaico del pepino (CMV).

3.4.8.2 Enfermedades

a) Botrytis cinerea

Hongo muy cosmopolita y polífago, capaz de atacar y colonizar numerosas plantas (especialmente a partir de heridas, de los tejidos envejecidos que constituyen las 'bases' nutritivas ideales para su desarrollo). Entre ellas, la lechuga, el pimiento, la berenjena entran en rotación con el tomate, donde a menudo son cultivadas en proximidad (Agronet, 2020).

b) Fusarium oxysporum

Las plántulas recién emergidas se marchitan con rapidez por la aparición de una pudrición en el cuello de la raíz y presencia de estrangulamiento en esa zona, acompañada de una coloración negruzca más arriba del cuello. Ya en plantaciones en invernadero se observa plantas amarillentas comenzando por el borde en las hojas más viejas, en plantas más afectadas se presenta una necrosis a nivel del tallo de color café chocolate (Futurcrop, 2019).

c) Tizón temprano

Futurcrop (2019), conocido también como *Alternaria solani*, esta enfermedad se presenta principalmente cuando se tienen condiciones ambientales de humedad relativa mayores del 70% periodos de 8 a 12 horas de humedad alta durante la noche, seguido de periodos secos durante el día y con temperaturas límites de 10 a 30 grados centígrados teniendo la temperatura optima de 18 a 25 grados centígrados, estas son las condiciones que favorecen la presencia y el desarrollo de la enfermedad, el ataque es más severo cuando las plantas se encuentran en estrés por exceso de frutos o por deficiencias nutricionales.

d) Oidium

Agronet (2020), indican que este hongo *Erysiphe pisi* en su estado asexual produce cleistotecios y conidios. Los autores mencionan que los síntomas se inician con manchas muy pequeñas de color amarillo en el haz de las hojas; conforme avanza la infección las manchas son cubiertas por un polvo de color blanquecino; siendo éste una mezcla de conidias y el micelio del hongo.

e) Fulvia fulva

El *Cladosporium fulvum* provoca la enfermedad llamada cladosporiosis, esta enfermedad solo afecta a las hojas penetrando por los estomas en condiciones de humedad superiores a 70% y temperaturas entre 5 y 25 °C. Puede sobrevivir en trozos de hojas secas sobre el suelo, en estructuras de invernadero, afecta causando manchas de color amarillo pálido en el haz de las hojas, en envés, se observa el micelio del hongo debajo de estas manchas, al principio gris pálido y posteriormente gris pardo (Syngenta, 2021).

3.4.8.3 Desórdenes fisiológicos

Zamora (2016), cuando se produce una situación de estrés abiótico, se pueden desencadenar una serie de desórdenes fisiológicos que alteran tanto la calidad del fruto como su aceptabilidad en el mercado. Así, las fisiopatías más comunes en los frutos de tomate son las siguientes:

a) Mancha solar

Se caracteriza por la formación de un anillo amarillo- anaranjado que rodea la zona de abscisión del fruto, producido por una disminución en la síntesis de licopeno u oxidación de éste a β -caroteno, debido a una alta radiación y/o una elevada temperatura.

b) Escaldado

Los frutos desarrollan un tejido necrótico de color blanco rodeado de un halo amarillo. La causa principal es la exposición repentina al sol de frutos cubiertos por hojas, y posterior ataque por hongos secundarios. La poda y recolección cuidadosas minimizan el problema, o también mediante un buen programa de control de enfermedades foliares.

c) Podredumbre apical

También conocida como “blossom-end rot” (BER), comienza con la aparición de lesiones de coloración tostado claro a oscuro en el extremo pistilar, que desencadenan una podredumbre negra secundaria. Pueden producirse también lesiones negras internas, induciendo una maduración más rápida del fruto. Esta fisiopatía se debe a una deficiencia de Ca en el extremo distal del fruto, o a condiciones que reduzcan la absorción radicular de Ca (humedad relativa elevada o alta salinidad) (Bernal, 2010).

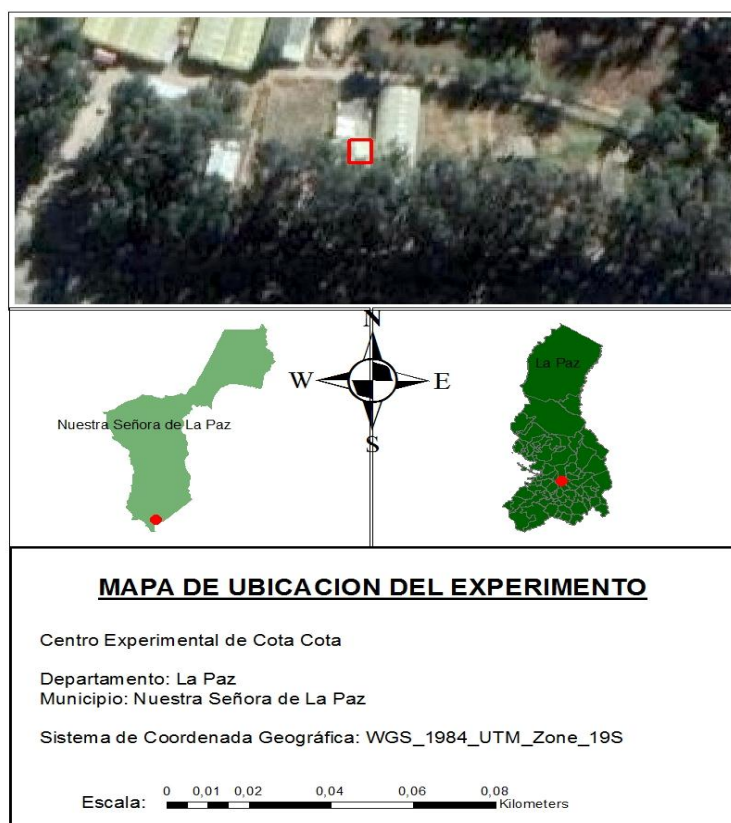
4. LOCALIZACIÓN

4.1 Ubicación geográfica

El presente estudio de investigación se realizó en los predios del Centro Experimental Cota Cota (Figura 1) dependiente de la Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, el cual se localiza en el municipio de nuestra Señora de La Paz, se encuentra ubicada en la provincia Murillo del departamento de La Paz, registrada a unos 15 km de la ciudad de La Paz. Geográficamente situado a $16^{\circ}32'04''$ de latitud Sur y $68^{\circ}03'44''$ de longitud Oeste a una altitud de 3445 m.s.n.m (Mapbox, 2016).

Figura 1

Área del estudio



Fuente: Elaboración propia (2022).

5. MATERIALES Y METODOS

5.1 Materiales

5.1.1 Material biológico

a) Semilla; se utilizó tomate variedad cherry, es una planta de crecimiento indeterminado, generalmente vigorosa. El número de frutos por racimo es de 15 o más, con inflorescencias muy largas, con frutos esféricos de tamaño muy pequeño de 1 a 3 cm de diámetro, frutos color rojo intenso a la madurez (Montes de Oca, 2011).

b) Enmienda biochar; se utilizó biocarbón, elaborado con biomasa de eucalipto residual en el Centro Experimental Cota Cota.

c) Abono; se utilizó humus de lombriz recolectado del lumbricario del Centro Experimental Cota Cota, con el fin de realizar el caldo de humus, para activar el biochar.

5.1.2 Material de campo

- Pala, picota, carretilla, flexómetro, malla semi sombra, malla antiafidos, agrofilm, regadera, bolsas de polietileno color negro de 50x40 cm, 5 baldes, 1 jarra con medidas, mangueritas transparentes, taladro, alambre galvanizado y ventilador.

5.1.3 Material y equipo de laboratorio

- Balanza analítica, vernier y termómetro.

5.1.4 Material de gabinete

- Computadora, impresora, cuaderno de campo y cámara fotográfica.

5.2 Metodología

5.2.1 Procedimiento de estudio experimental

5.2.1.1 Descripción del ambiente atemperado

Los ambientes atemperados o invernaderos, son ambientes que crean microclimas aptos para el desarrollo de los cultivos, que de otra manera no se desarrolla a la intemperie. La construcción por lo general es sencilla, se utilizan adobes para los muros, maderas o fierros de construcción para el armazón del techo y agrofilm o calamina plástica para la cubierta (Reyes, 2016).

Las carpas solares en el país presentan algunas características generales que son:

- Desde el punto de vista técnico productiva ayudan a prolongar la época de producción agrícola durante el año y combaten a la dureza climática
- Posibilita el cultivo de especies agrícolas en una estación no adecuada para la zona.

La infraestructura del área de trabajo, tiene las siguientes características: invernadero capilla, carpa solar tipo doble agua, con soportes de metal en el centro, cubierta de polietileno (Agrofilm) y malla antiafida, con ventilación en los laterales del invernadero. Sin embargo, se ayudó para una mejor ventilación con un sistema de fluido en este caso una máquina (artefacto ventilador), el piso con cubierta de cemento y paredes de ladrillo hasta la mitad de la construcción.

5.2.1.2 Almacigo

La siembra de semilla de tomate variedad cherry, se efectuó en fecha 6 de octubre de 2020, para esto se procedió al desinfectado del suelo, con agua hervida y luego se realizó la mezcla de sustrato con proporciones de 1:2:3 (humus de lombriz, arena y suelo), la misma fue llenada en vasitos descartables, se puso 2 semillas por vasito. Para la siembra la profundidad fue de 0,2 a 0,3 cm (2 a 3 mm) aproximadamente.

5.2.1.3 Preparación y desinfección del sustrato

Se procedió al desinfectado del suelo con agua hervida, el sustrato tuvo las proporciones de 1:2:3 (turba, arena y suelo).

5.2.1.4 Elaboración del biochar

a) Recolección del material vegetal de biomasa residual de eucalipto

Todo el material vegetal para el biochar utilizado en la presente investigación, se obtuvo del bosque de eucalipto de la variedad *Eucalyptus globulus*, del Centro Experimental de Cota Cota, ubicada en la Zona Sur de la ciudad de La Paz.

El área del bosque está localizada a una altura de 3445 m.s.n.m. la formación vegetal corresponde a un bosque coetáneo y homogéneo de eucalipto (Mapbox, 2016). El material vegetal de biomasa residual recogido, fue de dos tipos: uno de ramas desprendidas y otro de cortezas caídas (ritidoma), ambos tipos consistentes en material muerto depositado en la superficie del suelo. Para el efecto se buscó uniformidad en los tamaños y diámetros, además toda la muestra vegetal fue recolectada en estado seco.

b) Determinación de las condiciones de pirólisis

Esta actividad fue realizada en el mismo lugar de recolección de biomasa. Para este propósito se estableció el procedimiento de pirólisis lenta.

- **Pirólisis lento**

La actividad fue realizada en el Centro Experimental Cota Cota, en el área de biotecnología, mediante pirolisis lenta, bajo tierra y siguiendo el procedimiento de elaboración de las carbonerías. Para reducir la entrada de oxígeno en la muestra, se colocó la biomasa en un horno artesanal, realizado de barro, el mismo que no fue utilizado en ninguna actividad anterior, para evitar alteraciones en los productos de biochar obtenidos.

- **Condiciones del medio**

Temperatura ambiental: 18 °C

Humedad ambiental: 52 %

Tipo de suelo: Arcilloso

Biomasa: 24,46 kg

Biochar obtenido: 10,31 kg.

- **Molienda del biochar**

Esta fue molida mecánicamente, con ayuda de un yute para evitar pérdidas, con un tamaño de partículas aproximadamente de 2-5mm de diámetro.

5.2.1.5 Análisis de suelo

Se procedió a tomar muestras del suelo que anteriormente fue recolectada del Centro Experimental Cota Cota, las cuales fueron mezcladas, cuarteadas, hasta obtener 1 kg de muestra de suelo; posteriormente fueron enviadas al laboratorio de la facultad de Agronomía en suelos y aguas (LAFASA), dependiente de la Universidad Mayor de San Andrés, en el cual se analizaron las propiedades físico-químicas del suelo.

5.2.1.6 Análisis del biochar

Se tomó una muestra del biocarbon molido en cantidad de 500 g y se envió al Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA), dependiente de la Facultad de Ciencias Puras y Naturales-Instituto de Ecología de la Universidad Mayor de San Andrés, en el cual se analizaron las propiedades químicas.

5.2.1.7 Análisis del humus de lombriz

Posteriormente, se tomó una muestra del humus de lombriz en cantidad de 500 g y se envió al laboratorio de la facultad de Agronomía en suelos y aguas (LAFASA), dependiente de la Universidad Mayor de San Andrés, en el cual se analizaron las propiedades químicas del mismo.

5.2.1.8 Delimitación de los bloques y aplicación de tratamientos

Se procedió a delimitar los bloques, para esto se midió las mismas a una longitud de 6,5 metros y un ancho de 1,5 metros.

En cuanto a los tratamientos cada uno tuvo una longitud de 1,1 m y un ancho de 1,5 m.

a) Activación del biochar y humus de lombriz en agua

En fecha 12 de noviembre, se procedió al pesado del sustrato (suelo, turba y arena) la misma tenía un peso total aproximado de 17 kg por maceta, se sacó los cálculos con una regla de tres simple para el humus de lombriz y biochar, esto para la activación con agua.

Se pesó el biochar en 1,5% y 2% de humus de lombriz para cada maceta, nuevamente se hizo el pesado del humus de lombriz en 1,5% y 1,5% de biochar y finalmente se pesó el biochar 1,5% pero esta sin humus. También se hizo el mismo proceso del pesado solo con el humus de lombriz, pero esta sin biochar en porcentaje de 1,5% y 2%, estos fueron mezclados en diferentes baldes con agua y llevados a un lugar con sombra por un lapso de 48 horas aproximadamente.

Una vez obtenido el preparado activado, se procedió a una mezcla homogénea con el sustrato y el llenado a sus respectivas bolsas de polietileno. Este proceso se realizó 24 horas antes del trasplante y finalmente llevados a sus respectivos lugares del experimento.

5.2.1.9 Trasplante

El trasplante se realizó el 15 de noviembre de 2020 al lugar definitivo. Se seleccionaron plantas homogéneas con altura de 15 a 18 cm y con un tallo de 0,4 mm de diámetro, las plantas contaban con cinco y seis hojas verdaderas. Plantines que se desarrollaron en 5 semanas después de su siembra en almácigo.

Se procedió a la apertura de hoyos pequeños a una profundidad de 8 a 10 cm con ayuda de una pala de jardinería, se introdujo en el hoyo el plantin con mucho cuidado evitando dañar las raíces, para luego cubrirlas con tierra hasta el nivel del tallo.

Después de la plantación, se realizó un riego pesado, con cuidado para asegurar un buen prendimiento.

5.2.1.10 Refalle

Una vez pasada la primera semana del trasplante, se evaluó el prendimiento de los plantines, al encontrar una pequeña cantidad de plantines que no se adaptaron, se procedió al reemplazó por otros.

5.2.1.11 Toma de datos

Una de las actividades de importancia, para nuestro trabajo de investigación, fue la toma de datos de las variables de respuesta, el mismo se realizó una vez por semana para la variable altura de la planta y diámetro del tallo, en cuanto las variables días a la floración y días a la cosecha se observó el 50% de las plantas que tuvieron los cambios fisiológicos y para número de frutos por planta y rendimiento, se realizó en la etapa de cosecha en fecha 7 de abril. Se muestreo por unidad experimental 3 plantas, teniendo un total de 54 muestras en planilla de registro.

5.2.1.12 Aporque y deshierbe

Durante el desarrollo del cultivo se presentaron algunas hierbas, las cuales fueron controladas manualmente mediante el deshierbe una vez por semana, con el objeto de evitar la competencia de absorción de nutrientes con el cultivo.

En cuanto al aporque, se hizo una remoción superficial de suelo esto para oxigenar el mismo, evitando maltratar las raíces, ya que las plantas estaban en macetas, este proceso se realizó tres veces en todo el ciclo de la planta.

5.2.1.13 Riego

Debemos señalar que el riego es fundamental para los cultivos, en la etapa de almácigo, se rego una vez por día, por las tardes, ya que a esta hora hay disminución de temperatura y menos pérdida de agua.

Posteriormente, cuando el cultivo estuvo en el terreno definitivo la frecuencia de riego fueron 3 veces por semana. Para este fin se diseñó un sistema de riego por goteo artesanal, el sistema de riego permitió dosificar 2,5 litros de agua por hora, con duración de una hora. la misma fue elaborada con mangueras transparentes delgadas, estas estaban conectadas a tubos de polietileno de ½ pulgada, para controlar la presión del agua en los tubos de polietileno, se puso tres llaves en cada bloque, de la misma forma para controlar la presión del agua en las mangueritas transparentes que irían a la planta, se realizó ganchitos para cada una de ellas, de esta forma tener una mejor proporción del agua.

5.2.1.14 Tutorado y poda

El tutorado fue realizado por medio de un sistema holandés, se realizó sujetando la base del tallo evitando estrangular la planta, la cuerda elaborada de lana y tejida, tenía un grosor de 2 mm de diámetro y una altura de 2 m, estos colgaron de alambres galvanizados, con ganchos diseñados del mismo material. Para la unión del tallo y pita, se elaboró plásticos sujetadores de tubos de polietileno con un ancho de 5 mm

aproximadamente y cortados en uno de los laterales, de esta forma se podría sujetar el tallo con la pita. Cada semana se realizaba el respectivo giró de los ganchos, ya que las plantas tenían un desarrollo acelerado.

La poda, se realizó manualmente una vez por semana, eliminando los chupones (ramas axilares) y las hojas viejas a modo de limpieza del cultivo y durante el crecimiento de la planta. Sin embargo, una vez las plantas alcanzaron los 2m de altura se realizó el despunte de las mismas. Esto para evitar su crecimiento y de esta manera aumentar la producción de frutos.

5.2.1.15 Controles fitosanitarios

Se realizó controles preventivos rociando una vez por semana a cada planta, un preparado orgánico consistente en macerado de cola de caballo mezclado con agua. También se hizo un control etológico con trampas de colores.

Se incorporó al suelo una solución de cáscara de plátano para aportar potasio, antes de la fructificación ya que en esta etapa hay mayor requerimiento de este nutriente.

A las 11 semanas después del trasplante se presentó el ataque de hongos (oidio y fulvia fulva), el cual fue controlado con la aplicación de solución de cebolla y ajo, también preparado de bicarbonato con detergente y una pequeña cantidad de aceite, finalmente se incorporó un fungicida orgánico obtenido del biomarket de la facultad de Agronomía.

5.2.1.16 Cosecha

El primer corte de frutos se hizo el 7 de abril a los 143 días después del trasplante de acuerdo al punto de corte considerado para este tipo de tomate. Después del primer corte la cosecha de frutos fue semanalmente, se cosechó el racimo completo cuando ya habían alcanzado su madurez fisiológica, los colores de cosecha variaron de pintón rosa y rojo pálido, en este trabajo se realizaron 8 cortes.

Para determinar el rendimiento total, se realizaron de manera manual 8 cortes. Se contabilizaron los frutos cosechados y se pesaron para obtener el rendimiento por planta y después se convirtió a rendimiento en kilogramos por metro cuadrado.

5.2.2 Diseño experimental

El presente trabajo se desarrolló bajo un diseño de bloques al azar con arreglo factorial en parcelas divididas (2*3) con tres bloques, seis tratamientos y tres repeticiones. Dando un total de 54 plantas.

5.2.3 Factores de estudio o tratamiento en estudio

Se evaluaron los siguientes factores:

Tabla 2

Factores de estudio

| Factores | Niveles |
|---------------------------------------|--|
| Factor A: Aplicación de biochar 1,5% | <p>a₁: Sin Biochar 0%</p> <p>a₂: Con Biochar 1,5%</p> |
| Factor B: Niveles de humus de lombriz | <p>b₁: 0%</p> <p>b₂: 1,5%</p> <p>b₃: 2%</p> |

a) Formulación de tratamientos

T₁ a₁ b₁ Sin biochar *0% del humus de lombriz

T₂ a₁ b₂ Sin biochar *1,5% del humus de lombriz

T₃ a₁ b₃ Sin biochar *2% del humus de lombriz

T₄ a₂ b₁ Con biochar 1,5%* 0% del humus de lombriz

T₅ a₂ b₂ Con biochar 1,5%* 1,5% del humus de lombriz

T₆ a₂ b₃ Con biochar 1,5% * 2% del humus de lombriz

b) Modelo de análisis estadístico

Modelo lineal aditivo

$$Y_{ijk} = \mu + \lambda_k + \alpha_i + E_{ij} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + E_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Observación cualquiera.

μ = Media general.

λ_k = Efecto de la k-esimo del bloque

α_i = Efecto fijo del i- esimo aplicación de biochar A

E_{ij} = Error de parcela mayor

β_j = Efecto fijo del j-esimo niveles del humus de lombriz B

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de interacción del i- esimo aplicación de biochar con j-esimo niveles del humus de lombriz

E_{ij} = Efecto del error experimental.

5.2.4 Características de la parcela experimental

Tabla 3

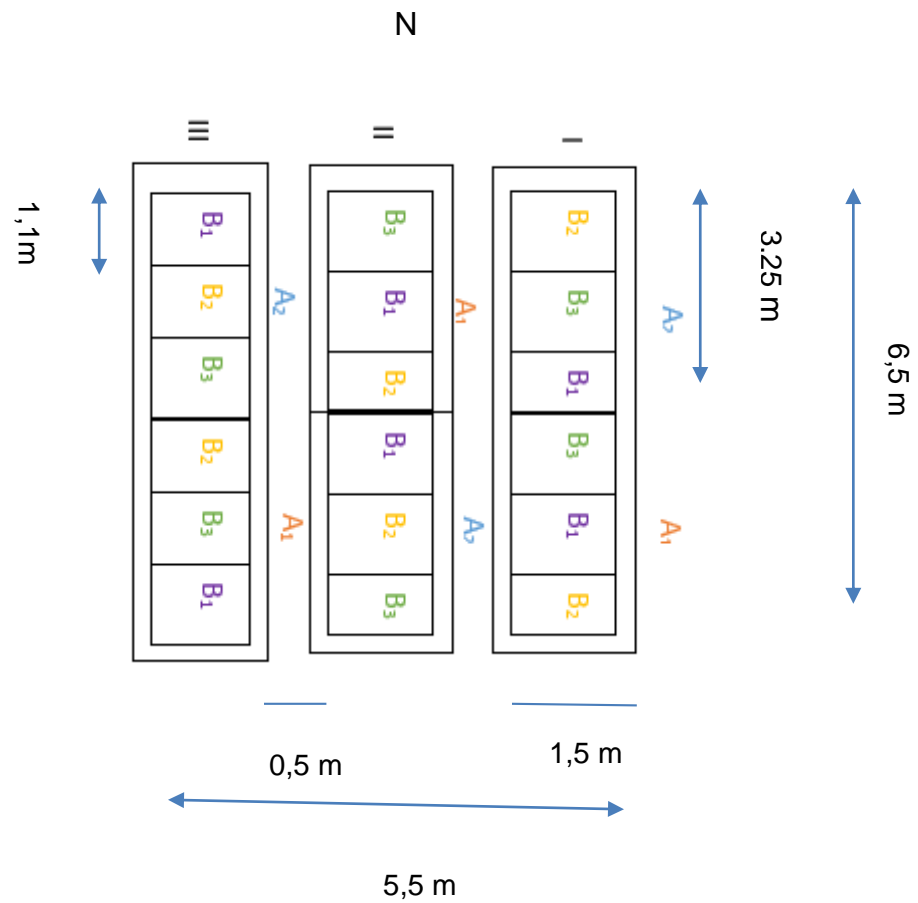
Descripción del área experimental

| Descripción | Detalle |
|---|-----------------------------------|
| Dimensión del área experimental | (5,5*6,5) m ² |
| Área total del experimento | 35,75 m ² |
| Número de tratamientos | 6 |
| Número de repeticiones | 3 |
| Número de bloques | 3 |
| Área del bloque | (6,5*1,5) m= 9,75 m ² |
| Número total de parcelas grandes | 6 |
| Número de las parcelas grandes por bloque | 2 |
| Área de las parcelas grandes | (3,25*1,5) m= 4,87 m ² |
| Número total de subparcelas | 18 |
| Número de subparcelas | 6 |
| Número de subparcela por parcela grande | 3 |
| Área de subparcela | (1,1*1) m= 1,65 m ² |
| Distancia entre plantas | 0,50 m |
| Distancia entre hileras | 0,45 m |
| Pasillo | 0,50 m |

5.2.5 Croquis experimental

Figura 2

Croquis del experimento



5.2.6 Variables de respuesta

Se evaluaron las siguientes variables de respuesta.

5.2.6.1 Variables agronómicas

Entre las variables agronómicas que se evaluó fueron las siguientes:

a) Altura de planta (cm)

Se evaluó a los 15 días después del trasplante hasta los 100 días, la variable se midió con flexómetro expresado en cm, desde la base del tallo hasta el ápice.

b) Diámetro del tallo (mm)

Se tomó registros del diámetro del tallo desde los 15 días después del trasplante hasta los 100 días, a una altura de 10 cm, se realizó la medición con el calibrador vernier, los datos son expresados en mm.

c) Días a la floración (días)

Esta variable se tomó en el momento en que más del 50 % de las plantas iniciaron la fase de floración, por tratamiento, el mismo se expresó en días.

d) Días a la cosecha (días)

La cosecha se realizó cada semana, cuando los frutos adquirieron su madurez fisiológica y presentando un tono de coloración pintón (coloración a rojo), una coloración a rosado. Se cosecharon por planta y por unidad experimental, separadamente en bolsas de polietileno, independiente para su posterior pesaje, medición y registro.

e) Número de frutos por planta (conteo)

Para esta variable se realizó un conteo escalonado por planta.

f) Diámetro del fruto (mm)

Se midió cuando los frutos alcanzaron la madurez fisiológica, midiendo la parte central del fruto, con ayuda del vernier.

g) Peso del fruto (g)

Esta variable se midió con una balanza analítica, en gramos, durante la cosecha.

5.2.6.2 Variables de rendimiento

a) Peso de frutos por planta (g/pl)

Se evaluó al concluir el ciclo vegetativo, después de la cosecha y se expresó en gramos por planta (g /pl).

b) Rendimiento (kg/m²)

Se evaluó al concluir el ciclo vegetativo, después de la cosecha y se expresó en kilogramos metros cuadrados (kg/m²).

5.2.6.3 Variables económicas

Para el análisis económico, se realizó un cuadro de costos de producción del tomate cherry, donde se presentan los costos variables, beneficio bruto, beneficio neto y el análisis que corresponde al beneficio/costo.

a) Costos variables (Cv)

Se identificó los insumos que varían en cada tratamiento del ensayo realizado. Se calcularon dichos costos por tratamiento. Basándose en el precio del mercado paceño. Teniendo estos valores se procedieron a sumar los totales.

b) Beneficio bruto (Bb)

El beneficio bruto se calculó multiplicando el precio del tomate cherry por el rendimiento obtenido de cada tratamiento con la fórmula siguiente:

$$Bb = P * R$$

Dónde:

Bb = Beneficio bruto (Bs/m²)

P = Precio del producto (Bs/kg)

R = Rendimiento en (kg/m²).

c) Beneficio neto (Bn)

Este variable económico se obtuvo restando el total de los costos variables del beneficio bruto. Como muestra la siguiente fórmula:

$$Bn = Bb - CV$$

Dónde:

Bn = Beneficio neto (Bs/m²)

Bb = Beneficio bruto (Bs/m²)

CV = Costos variables (Bs/m²)

d) Beneficio costo (B/C)

Este valor de ganancia se obtuvo dividiendo el beneficio bruto con el total de los costos a través de la siguiente fórmula:

$$B/C = \frac{Bb}{CV}$$

Dónde:

B/C = Beneficio/Costo

Bb = Beneficio bruto (Bs/m²)

CV = Costos variables (Bs/m²)

6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

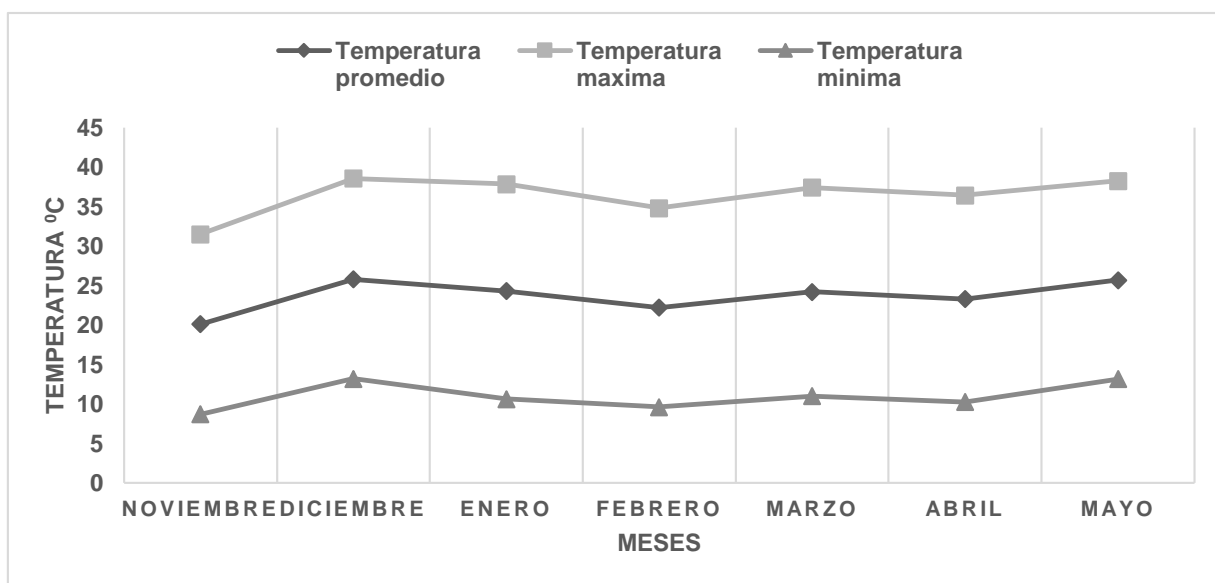
6.1 Descripción de las temperaturas registradas en el ambiente protegido durante el desarrollo del cultivo

Para el registro de la temperatura dentro del invernadero, se utilizó un termómetro de máximas y mínimas, instalado al centro del área del cultivo a una altura de 40 cm, lo que permitió registrar datos de temperatura sin ser afectado con la temperatura del suelo, cuidando que las plantas crezcan de manera óptima, también se procedió al conectado del ventilador, para que haya mayor fluidez de aire. Los datos registrados indicaron una temperatura media máxima en el mes de diciembre de 25,9 °C y temperatura media mínima en el mes de febrero con 22,3 °C, temperaturas adecuadas para el normal desarrollo del cultivo de tomate Cherry. Ver anexo 1.

Los mismos están en el rango establecido por Montes de Oca (2011), que requiere entre 25 a 35 °C de temperatura.

Figura 3

Fluctuación de la temperatura registrada durante el desarrollo del cultivo gestión 2020-2021



Kuti y Konuru (2005), observaron recientemente un incremento en la concentración en licopeno en los tomates tipo cherry y tipo redondo cuando la temperatura durante la fase de maduración del fruto incrementa de 15 a 20,3°C en otoño y de 18 a 22°C en primavera, encontrándose la temperatura óptima entre 20 y 24°C para la biosíntesis de licopeno.

Su temperatura optima es de 20°C y 30°C, aunque llegan a admitir mínimas de 13 °C y máximas de 40°C (Agriculturers, 2019).

6.2 Características físicas y químicas del suelo

De acuerdo a los resultados obtenidos en el laboratorio de la facultad de Agronomía en suelos y aguas (LAFASA), presenta los siguientes resultados:

Tabla 4

Análisis- físico químico del suelo

| PARAMETROS | RESULTADOS | UNIDADES |
|------------------------------|-------------------|-------------------|
| Clases textural | Franco | |
| Densidad aparente | 0,909 | g/cm ³ |
| pH | 5,67 | |
| Conductividad eléctrica (CE) | 0,29 | mmho/cm |
| Materia orgánica (MO) | 9,02 | % |
| Nitrógeno total | 0,38 | % |
| Fósforo disponible | 13,4 | ppm |
| Potasio intercambiable | 0,79 | meq/100g S |
| Calcio intercambiable | 1,78 | meq/100g S |
| Magnesio intercambiable | 0,53 | meq/100g S |
| Sodio intercambiable | 0,32 | meq/100g S |

Fuente: LAFASA (2021).

En cuanto al suelo Infoagro (2018), la planta de tomate es muy exigente, excepto en lo que se refiere al drenaje, aunque prefiere suelos sueltos de textura silíceo-arcillosa y

ricos en materia orgánica. No obstante, se desarrolla perfectamente en suelos arcillosos enarenados.

La profundización de la raíz puede verse influenciada por la estructura y textura del suelo. Si el suelo está compactado o es demasiado arcilloso las raíces no profundizarán adecuadamente y el desarrollo de la planta podría verse afectado. Al aplicar los abonos orgánicos mejora la estructura del suelo, que comprende su granulación, aumenta el espacio poroso y retiene mayor humedad (Martínez, 2007).

El contenido de materia orgánica (MO) del suelo fue alto con 9.02% de materia orgánica; el contenido de nitrógeno presentó un valor de 0.38 % Chilon (1997). El contenido de potasio es alto con un valor de 0,79 meq/100 g suelo, el fósforo está en el rango permitido 13,4 ppm, el cultivo puede verse favorecido tanto en la estructura como en el rendimiento del mismo, En cuanto al calcio tenemos un resultado de 1,78 meq / 100 g suelo, cuyo resultado es bajo (Martinez, 2020).

El tomate cuando se cultiva en suelos salinos no se encuentra ajeno a una disminución de los rendimientos, puesto que es una especie glicófito, medianamente sensible a las sales y que presenta un umbral respecto al contenido total de sales, cuantificadas en el extracto de saturación del suelo y expresadas como conductividad eléctrica (CE) de 2,5 dS/m Goykovic y Saavedra (2007). En nuestro caso la conductividad eléctrica (CE) es de 0.29 mmho/cm tiene una salinidad baja.

Martínez (2007), el pH es de 5,67 según nuestro cuadro de análisis, entonces este resultado no es alejado del ideal. El tomate es moderadamente tolerante a la acidez del suelo; puede tolerar un pH de hasta 5,5, aunque el pH ideal del suelo para el cultivo es de 6,0 a 6,8. Niveles de pH menores de 5,5 pueden afectar la disponibilidad de algunos nutrimentos tales como el calcio, el fósforo, el magnesio y el molibdeno.

La acidez marcada en el suelo podría ocasionar problemas de toxicidad de aluminio y manganeso. Por otro lado, altos niveles de alcalinidad pueden provocar que algunos nutrimentos como el hierro, el zinc y el manganeso se tornen inaccesibles a la planta. Se

debe evitar sembrar en suelos con valores de pH superiores a 8,0 ya que podría ocurrir saturación con sodio en el suelo, condición que resulta nociva al cultivo (Martínez, 2007).

6.3 Característica química del biochar

De acuerdo a los resultados obtenidos en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Instituto de Ecología, Laboratorio de Calidad Ambiental LCA, presenta los siguientes resultados:

Tabla 5

Análisis químico del biochar

| PARAMETROS | RESULTADOS | UNIDADES |
|------------------------------|------------|----------|
| pH | 7,6 | |
| Conductividad eléctrica (CE) | 703 | uS/cm |
| Materia orgánica (MO) | 85 | % |
| Nitrógeno | 0,45 | % |
| Fósforo | 713 | mg/kg |
| Potasio | 3994 | mg/kg |
| Magnesio | 3441 | mg/kg |
| Calcio | 21247 | mg/kg |

Fuente: Análisis químico LCA (2021).

Guerra (2014), en su trabajo de biochars en la Amazonía peruana, producidos por pirólisis lenta en horno y analizados en los laboratorios de la UNALM, obtuvo pH entre 7,14 hasta 10,74. El pH alto en el biochar es favorable para suelos ácidos, por cuanto puede actuar como compensador de acidez. El valor obtenido en nuestro análisis es el siguiente pH 7,6.

De acuerdo a la tabla 5, para la CE se de 703 μ S/cm es bajo, por lo tanto, no habrá problemas con el desarrollo del cultivo de tomate variedad cherry. En cuanto a la

aplicación de biochar, para evaluar la productividad con maíz en el Austro Ecuatoriano, se encontraron valores de 3420 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Iglesias, 2018).

El nivel de nitrógeno encontrado está en el rango 0.45%. Este valor es coincidente con lo encontrado por Iglesias (2018), 0,31 a 0,84 %, el fósforo encontrado en el análisis es de 413 mg/kg. Torres-Sallan *et al.* (2014) refiere un contenido de fósforo de 12.700 mg/kg para el biochar de viñedos.

Existen reportes que indican que el biocarbón puede retener temporalmente nitrógeno soluble en su estructura y liberarlo más lentamente que los productos inorgánicos, incrementando así la eficiencia de este elemento y la productividad de los cultivos (Zheng *et al.*, 2013).

Para el elemento potasio se encontraron valores de 2.000 a 19.400 mg/kg. Los biochars por pirólisis lenta cortezas y pirólisis rápida de ramas y cortezas tienen los mayores valores, en tanto que la biomasa tiene los menores valores Iglesias (2018). Sin embargo, el resultado obtenido nos da un valor de 3994 mg/kg, rango permitido. Ya que nuestro cultivo requiere mucho más potasio para la formación de los frutos.

6.4 Característica química del humus de lombriz

De acuerdo a los resultados obtenidos en el laboratorio de la facultad de Agronomía en suelos y aguas (LAFASA), presenta los siguientes resultados:

Tabla 6***Análisis químico del humus de lombriz***

| PARAMETROS | RESULTADOS | UNIDADES |
|------------------------------|-------------------|-----------------|
| Ph | 7,47 | |
| Conductividad eléctrica (CE) | 5.55 | uS/cm |
| Materia orgánica (MO) | 33 | % |
| Nitrógeno | 1,02 | % |
| Fósforo | 0.1 | % |
| Potasio | 0.03 | % |

Fuente: Análisis químico LAFASA (2021).

El nitrógeno registró un valor de 1,02 %. El cual nos indica que es una alta concentración. Chilón (1997), afirma que un porcentaje mayor al 0,2% de nitrógeno, influye sobre el momento de cosecha, acelerando la madurez comercial en las hortalizas cuya parte comestible es la vegetativa. El fósforo registro un valor de 0,1% Hernandez (2009), menciona que el fósforo mejora la calidad de hortalizas, alargando el periodo de conservación y mejorando ciertas características de mercado, como aspecto productivo. El valor registrado es considerado óptimo para el cultivo de tomate.

El potasio registro un valor de 0,03%. El cual nos indica que es una baja concentración. Esta hortaliza cuya parte comestible es el fruto, la deficiencia de potasio disminuye la calidad, provocando poco desarrollo en los frutos, el valor obtenido no es adecuado para el cultivo de tomate (Hernandez, 2009).

6.5 Variables agronómicas

De acuerdo al diseño experimental aplicado en el presente trabajo de investigación, los resultados son los siguientes:

6.5.1 Altura de la planta

A continuación, se presenta la tabla 7, análisis de varianza altura de la planta:

Tabla 7

Análisis de varianza para la variable altura de la planta

| Fuente de variación | G.L. | S.C. | C.M. | F.C. | Pr> F 0,05 |
|--|------|----------|---------|-------|-------------------|
| Bloques | 2 | 1441,21 | 720,61 | 3,72 | 0,2118 NS |
| Aplicación de biochar (A) | 1 | 116,08 | 116,08 | 0,6 | 0,5198 NS |
| Error parcela mayor (Ea) | 2 | 387,24 | 193,62 | | |
| Niveles de humus de lombriz (B) | 2 | 14526,45 | 7263,23 | 70,75 | 0,001 * |
| Biochar* Humus de lombriz (A*B) | 2 | 2,45 | 1,22 | 0,01 | 0,9882 NS |
| Error parcela menor (Eb) | 8 | 821,28 | 102,66 | | |
| Total | 17 | 17294,71 | 1017,33 | | |
| | | | | | C.V.=6,7 % |

Nota. GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrado medio; FC= F calculada; P= F tabulada; *= Significancia; **= Altamente significativa; NS= No significativa; CV= Coeficiente de variación.

En la tabla 7, observamos que el coeficiente de variación es 6,7 % lo cual indica que los datos obtenidos, son confiables. También se observa que no existen diferencias significativas entre bloques, en cuanto a la altura de la planta. La aplicación de biochar, no tiene significancia en la altura de la planta. Sin embargo, los niveles del humus de lombriz tienen diferencia significativa.

Al nivel del 5%, no existe interacción entre el efecto del biochar y niveles del humus de lombriz, los factores son independientes, en cuanto a la altura de la planta.

6.5.1.1 Efecto de los niveles del humus de lombriz en la altura de la planta

En la siguiente tabla 8, se observa el efecto de los niveles de humus de lombriz en la altura de la planta, a través de la prueba Duncan con 5% de probabilidad estadística:

Tabla 8

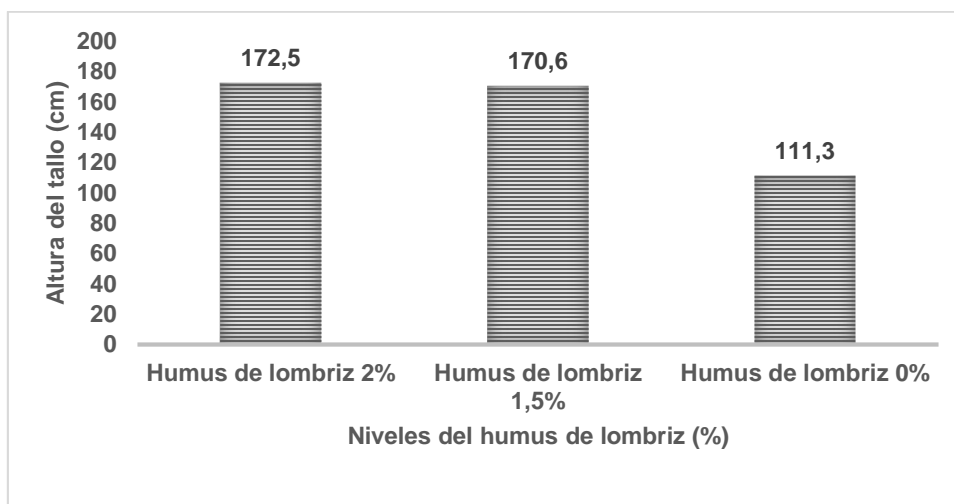
Efecto de niveles del humus de lombriz en la altura de la planta

| Niveles de humus de lombriz (%) | Media (cm) | Duncan (5%) | n |
|---------------------------------|------------|-------------|---|
| 2% | 172,5 | A | 6 |
| 1,50% | 170,6 | A | 6 |
| 0% | 111,3 | B | 6 |

En cuanto a los niveles del humus de lombriz, la Prueba de Duncan (5%), muestra que existen diferencias significativas en la altura de la planta. Teniendo como mejores resultados al nivel 2% y nivel 1,5 % del humus de lombriz con 172,5 cm y 170,6 cm en el primer grupo A; 0 % del humus de lombriz con 111,3 cm en cuanto a la altura de la planta en un segundo grupo B.

Figura 4

Efecto de niveles del humus de lombriz en la altura de la planta (cm)



En la figura 4, se observa una amplia diferencia entre el nivel 0% de humus de lombriz con 111,3 cm y el nivel 2% de humus de lombriz con 172,5 cm. Estos resultados obtenidos podrían atribuirse a la cantidad de humus utilizado en el tratamiento, lo cual indica que, a mayor cantidad de humus en el suelo, mayor será el tamaño de la planta

de tomate variedad cherry, al contenido de nitrógeno disponible y a la mejora de la capacidad de retención de humedad en el suelo.

Al respecto Blanco (2007), para la misma variable, en un estudio con tomate cherry aplicando fertilización foliar en Coroico Nor Yungas, en condiciones de campo obtuvo la mayor altura de planta con 90,46 cm, a los 90 días, valor menor al del presente estudio, posiblemente por las condiciones de campo abierto.

Por otro lado, Blanco (2018), en su estudio Aplicación de diferentes dosis de humus de lombriz en tomate cherry en ambientes atemperados, en el Municipio de El Alto, obtuvo en promedio de 124,00 cm, también inferior al resultado obtenido en el presente estudio.

El nitrógeno favorece el desarrollo foliar y el crecimiento de las plantas, necesario para la formación de proteínas, clorofila, enzimas y aminoácidos, a través del proceso de fotosíntesis. El (P): favorece el desarrollo de las raíces al comienzo de la vegetación. (K): Factor de calidad. regula las funciones de la planta, aumenta la resistencia a enfermedades, (Ca): influye en la formación de las paredes celulares, (Mg): forma parte de la clorofila y actúa en el metabolismo del fósforo el (B): necesario en pequeña cantidad, pero imprescindible para la vida de la planta (García y Félix, 2014).

El nitrógeno es el nutriente que más afecta al crecimiento y la producción del tomate, fácilmente asimilable, fundamentalmente en la formación de aminoácidos, proteínas, enzimas, ácidos nucleicos, clorofila, alcaloides y bases nitrogenadas ideales para obtener un rápido crecimiento (Jaramillo *et al.*, 2007).

6.5.2 Diámetro del tallo

A continuación, se presenta la tabla 9 análisis de varianza del diámetro del tallo.

Tabla 9

Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo

| Fuente de variación | G.L. | S.C. | C.M. | F.C. | Pr>F 0,05 |
|--|------|-------|------|-------|------------------|
| Bloques | 2 | 1,08 | 0,54 | 1,95 | 0,3386 NS |
| Aplicación de biochar (A) | 1 | 0,01 | 0,01 | 0,04 | 0,862 NS |
| Error parcela mayor (Ea) | 2 | 0,55 | 0,28 | | |
| Niveles de humus de lombriz (B) | 2 | 27,88 | 13,9 | 43,84 | 0,0001 ** |
| Biochar* Humus de lombriz (A*B) | 2 | 0,08 | 0,04 | 0,12 | 0,8871 NS |
| Error parcela menor (Eb) | 8 | 2,54 | 0,32 | | |
| Total | 17 | 32,15 | 1,89 | | |

C.V.= 6,25%

En la tabla 9, observamos que el coeficiente de variación es 6,25 % lo cual indica que los datos obtenidos son confiables. También se observa que no existen diferencias significativas entre bloques en cuanto al diámetro del tallo. La aplicación de biochar no tiene significancia en el diámetro del tallo de la planta. Sin embargo, los niveles del humus de lombriz tienen diferencia altamente significativa.

Al nivel del 5%, no existe interacción entre el efecto del biochar y niveles del humus de lombriz, los factores son independientes en cuanto al diámetro del tallo de la planta.

6.5.2.1 Efecto de niveles del humus de lombriz en el diámetro del tallo

En la siguiente tabla 10, se observa el efecto de los niveles de humus de lombriz en el diámetro del tallo, a través de la prueba Duncan con 5% de probabilidad estadística:

Tabla 10

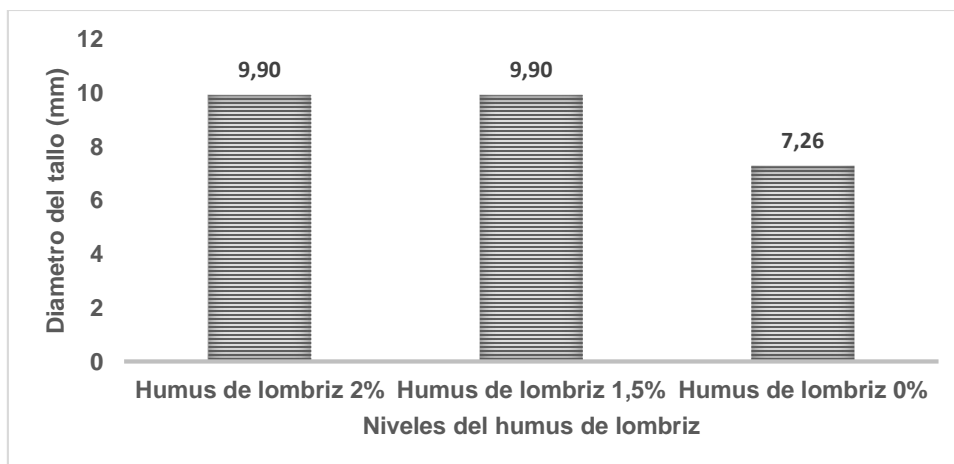
Efecto de niveles del humus de lombriz en el diámetro del tallo

| Niveles de humus de lombriz (%) | Media (mm) | Duncan (5%) | N |
|---------------------------------|------------|-------------|---|
| 2% | 9,90 | A | 6 |
| 1,50% | 9,90 | A | 6 |
| 0% | 7,26 | B | 6 |

En cuanto a los niveles del humus de lombriz, la Prueba de Duncan (5%), muestra que existen diferencias significativas en el diámetro del tallo. Teniendo como mejores resultados al nivel 2% y nivel 1,5 % del humus de lombriz con 9,90 y 9,90 mm en los dos niveles en un primer grupo A; 0 % del humus de lombriz con 7,26 mm en cuanto al diámetro del tallo, en un segundo grupo B.

Figura 5

Efecto de niveles del humus de lombriz en el diámetro del tallo (mm)



En la figura 5, se observa una amplia diferencia entre el nivel 0% de humus de lombriz con 7,26 mm y el nivel 2% de humus de lombriz con 9,90 mm. Estos resultados obtenidos podrían atribuirse a la cantidad de humus utilizado en el tratamiento.

Al respecto Blanco (2007), en un estudio con tomate cherry aplicando fertilización foliar en Coroico Nor Yungas, en condiciones de campo obtuvo en promedio general de 21,09

mm, mayor a los resultados obtenidos en el presente estudio, posiblemente por las condiciones de campo abierto engroso más los tallos.

Del mismo modo, Blanco (2018), obtuvo un valor promedio de diámetro de tallo 10,72 mm, superior a los resultados obtenidos en el experimento, es necesario decir que el diámetro es menor debido a la posición del invernadero, ya que este se ubicó en lugar donde hubo sombra por los árboles de eucalipto.

6.5.3 Días a la floración

A continuación, se presenta la tabla 11 análisis de varianza días a la floración.

Tabla 11

Análisis de varianza para la variable días a la floración

| Fuente de variación | G.L. | S.C. | C.M. | F.C. | Pr>F 0,05 |
|--|------|---------|-------|-------|--------------------|
| Bloques | 2 | 21,75 | 10,87 | 0,34 | 0,7453 NS |
| Aplicación de biochar (A) | 1 | 24,06 | 24,06 | 0,76 | 0,4762 NS |
| Error parcela mayor (Ea) | 2 | 63,62 | 31,81 | | |
| Niveles de humus de lombriz (B) | 2 | 811,41 | 405,7 | 43,84 | 0,001 ** |
| Biochar* Humus de lombriz (A*B) | 2 | 16,08 | 8,04 | 0,87 | 0,4556 NS |
| Error parcela menor (Eb) | 8 | 74,04 | 9,26 | | |
| Total | 17 | 1010,95 | 59,47 | | |
| | | | | | C.V.=6,10 % |

En la tabla 11, observamos que el coeficiente de variación es 6,10 % lo cual indica que los datos obtenidos son confiables. También se observa que no existen diferencias significativas entre bloques en cuanto a los días a la floración. La aplicación de biochar no tiene significancia en los días a la floración. Sin embargo, los niveles del humus de lombriz tienen diferencia altamente significativa.

Al nivel del 5%, no existe interacción entre el efecto del biochar y niveles del humus de lombriz, los factores son independientes en cuanto a los días a la floración.

6.5.3.1 Efecto de niveles del humus de lombriz en los días a la floración

En la siguiente tabla 12, se observa el efecto de los niveles de humus de lombriz en los días a la floración, a través de la prueba Duncan con 5% de probabilidad estadística:

Tabla 12

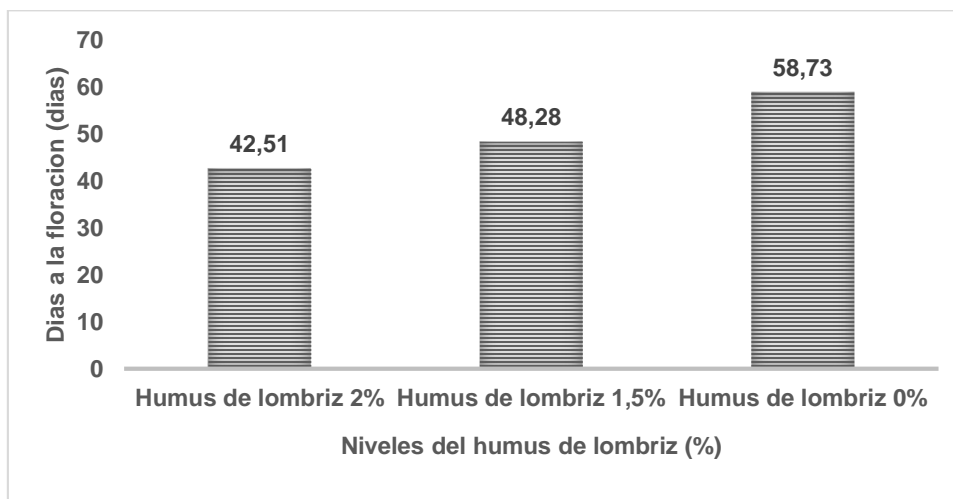
Efecto de niveles del humus de lombriz en los días a la floración

| Niveles de humus de lombriz (%) | Media (días) | Duncan (5%) | n |
|---------------------------------|--------------|-------------|---|
| 2% | 42,51 | A | 6 |
| 1,50% | 48,28 | B | 6 |
| 0% | 58,73 | C | 6 |

En cuanto a los niveles del humus de lombriz, la Prueba de Duncan (5%), muestra que existen diferencias significativas en los días a la floración. Teniendo como mejor resultado al nivel 2% del humus de lombriz con 42,51 días en un primer grupo A; 1,5 % del humus de lombriz con 48,28 días en un segundo grupo B; 0 % del humus de lombriz con 58,73 días en un tercer grupo C.

Figura 6

Efecto de niveles del humus de lombriz en los días a la floración



En la figura 6, se observa una amplia diferencia entre el nivel 0% de humus de lombriz con 58,73 días a la floración y el nivel 2% de humus de lombriz con 42,51 días a la floración, lo cual indica que los niveles de humus frente al testigo apresuro la floración en el cultivo de tomate cherry.

Al respecto Blanco (2007), obtuvo una media de 22,28 días a la floración desde el trasplante, valor inferior al presente estudio, posiblemente se trate de una variedad precoz. Sin embargo, Blanco Callata (2018), obtuvo un valor promedio de 64,25 días a la floración.

El resultado obtenido fue de 42,51 días a la floración después del trasplante, al respecto Cala (2004), en su estudio de efecto de la materia orgánica líquida, en sistemas de policultivo, en la Localidad de Coroico, obtuvo un valor promedio de número de días a la floración de 45,24 días este valor es mayor al presente estudio.

Las condiciones ambientales influyen en las funciones vitales de las plantas como la temperatura son imperantes durante el ciclo del cultivo y al hábito de crecimiento, como menciona Rodríguez *et al.* (2009), la temperatura influye en las funciones vitales de la planta, en la transpiración, fotosíntesis, fotoperiodo, crecimiento de tejidos, floración, maduración de los frutos. Las temperaturas óptimas durante el día son de 21 – 30 °C y de 16 °C durante la noche, para la floración es ideal una temperatura de 21 °C. Sin embargo, si la temperatura es menor a 12 °C detiene su desarrollo vegetativo.

6.5.4 Días a la cosecha

A continuación, se presenta la tabla 13 análisis de varianza días a la cosecha.

Tabla 13

Análisis de varianza para la variable días a la cosecha

| Fuente de variación | G.L. | S.C. | C.M. | F.C. | Pr>F 0,05 |
|--|------|---------|--------|-------|------------------|
| Bloques | 2 | 201,9 | 100,95 | 0,77 | 0,5666 NS |
| Aplicación de biochar (A) | 1 | 42,17 | 42,17 | 0,32 | 0,6288 NS |
| Error parcela mayor (Ea) | 2 | 263,9 | 131,95 | | |
| Niveles de humus de lombriz (B) | 2 | 1932,79 | 966,4 | 38,18 | 0,0001 ** |
| Biochar* Humus de lombriz (A*B) | 2 | 7,67 | 3,84 | 0,15 | 0,8618 NS |
| Error parcela menor (Eb) | 8 | 202,51 | 25,31 | | |
| Total | 17 | 2650,94 | | | |

C.V.= 3,95%

En la tabla 13, observamos que el coeficiente de variación es 3,95 % lo cual indica que los datos obtenidos son confiables. También se observa que no existen diferencias significativas entre bloques en cuanto a los días a la cosecha. La aplicación de biochar no tiene significancia en los días a la cosecha. Sin embargo, los niveles del humus de lombriz tienen diferencia altamente significativa.

Al nivel del 5%, no existe interacción entre el efecto del biochar y niveles del humus de lombriz, los factores son independientes en cuanto a los días a la cosecha.

6.5.4.1 Efecto de niveles del humus de lombriz en los días a la cosecha

En la siguiente tabla 14, se observa el efecto de los niveles de humus de lombriz en los días a la cosecha, a través de la prueba Duncan con 5% de probabilidad estadística:

Tabla 14

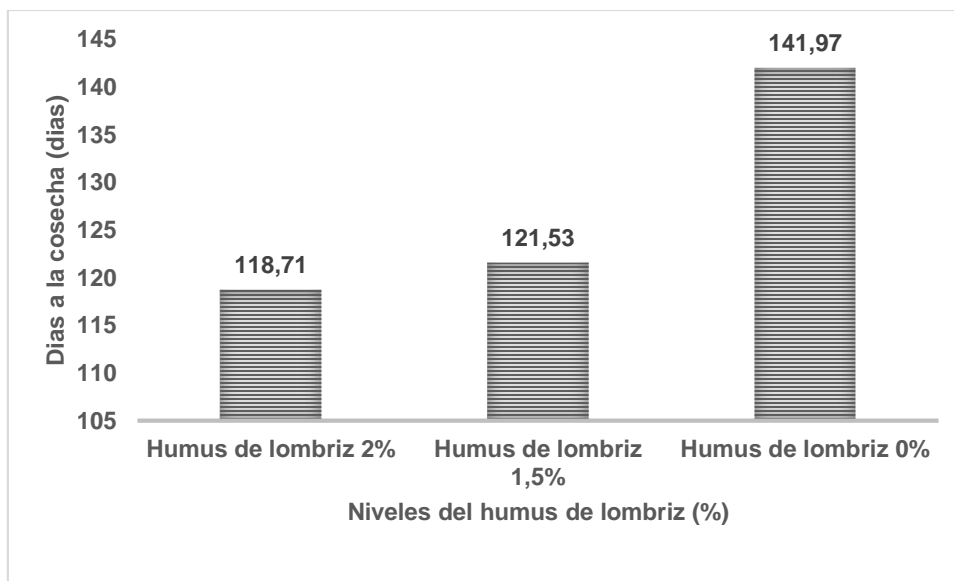
Efecto de niveles del humus de lombriz en los días a la cosecha

| Niveles de humus de lombriz (%) | Media (días) | Duncan (5%) | n |
|---------------------------------|--------------|-------------|---|
| 2% | 118,71 | A | 6 |
| 1,50% | 121,53 | A | 6 |
| 0% | 141,97 | B | 6 |

En cuanto a los niveles del humus de lombriz, la Prueba de Duncan (5%), muestra que existen diferencias significativas en los días a la cosecha. Teniendo como mejores resultados al nivel 2% y nivel 1.5 % del humus de lombriz con 118,71 y 121,53 días a la cosecha en un primer grupo A; 0 % del humus de lombriz con 141,97 días a la cosecha en un segundo grupo B.

Figura 7

Efecto de niveles del humus de lombriz en los días a la cosecha



En la figura 7, se observa una amplia diferencia entre el nivel 0% de humus de lombriz con 141,97 días a la cosecha y el nivel 2% de humus de lombriz con 118,71 días a la cosecha, Las diferencias estadísticas obtenidas en días a la cosecha probablemente se deba por las dosis de humus de lombriz, por el efecto del contenido de elementos

nutritivos como el fósforo factor de precocidad, favorece el cuajado y maduración de los frutos; también favorece en la fructificación temprana, mejora la producción y la calidad del fruto (Agriculturers, 2019).

Para la misma variable Blanco (2007), obtuvo un promedio de 78 días a la cosecha, resultado muy precoz comparado con los resultados que se obtuvo en el presente estudio el cual fue de 118,71 días a la cosecha, esto en el mejor resultado obtenido, posiblemente se trate de una variedad tardía. Por otro lado, Blanco Callata (2018), obtuvo un valor promedio de 125,25 días a la cosecha, superior al nuestro resultado.

Al respecto FAO (2013), indica que los elementos nutritivos desempeñan un papel fundamental en la transferencia de energía siendo esencial en la fotosíntesis y los restantes procesos químicos fisiológicos de la planta.

6.5.5 Número de frutos por planta

A continuación, se presenta la tabla 15 análisis de varianza del número frutos por planta.

Tabla 15

Análisis de varianza para la variable números de frutos por planta

| Fuente de variación | G.L. | S.C. | C.M. | F.C. | Pr>F 0,05 |
|--|------|---------|---------|-------|--------------------|
| Bloques | 2 | 11,44 | 5,72 | 0,18 | 0,8472 NS |
| Aplicación de biochar (A) | 1 | 470,22 | 470,22 | 14,82 | 0,0613 NS |
| Error parcela mayor (Ea) | 2 | 63,44 | 31,72 | | |
| Niveles de humus de lombriz (B) | 2 | 2362,11 | 1181,06 | 30,97 | 0,0002 ** |
| Biochar* Humus de lombriz (A*B) | 2 | 637,44 | 318,72 | 8,36 | 0,0110 * |
| Error parcela menor (Eb) | 8 | 305,11 | 38,14 | | |
| Total | 17 | 3849,78 | 226,46 | | |
| | | | | | C.V.=9,63 % |

En la tabla 15, se observa que el coeficiente de variación es 9,63 % lo cual indica que los datos obtenidos son confiables. También se observa que no existen diferencias significativas entre bloques en cuanto al número de frutos por planta. La aplicación de

biochar, no tiene significancia en el número de frutos por planta. Sin embargo, los niveles del humus de lombriz tienen diferencia altamente significativa.

Al nivel del 5%, existe interacción entre el efecto del biochar y niveles del humus de lombriz, los factores son dependientes en cuanto al número de frutos por planta.

6.5.5.1 Efecto de niveles del humus de lombriz en el número de frutos por planta

En la siguiente tabla 16, se observa el efecto de los niveles de humus de lombriz en el número de frutos por planta, a través de la prueba Duncan con 5% de probabilidad estadística:

Tabla 16

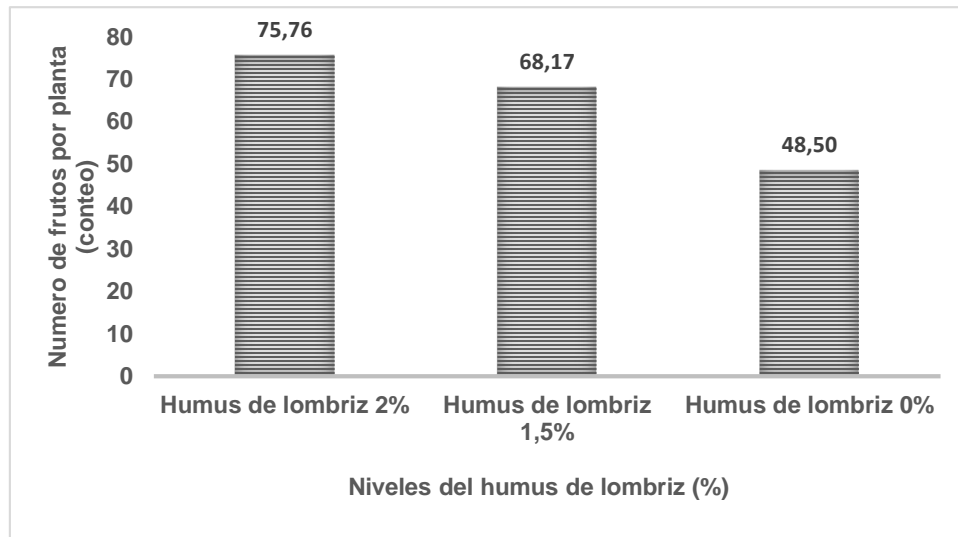
Efecto de niveles del humus de lombriz en el número de frutos por planta

| Niveles de humus de lombriz (%) | Media (conteo) | Duncan (5%) | n |
|--|---------------------------|--------------------|----------|
| 2% | 75,67 | A | 6 |
| 1,50% | 68,17 | A | 6 |
| 0% | 48,50 | B | 6 |

En cuanto a los niveles del humus de lombriz, la Prueba de Duncan (5%), muestra que existen diferencias significativas en el número de frutos por planta. Teniendo como mejores resultados al nivel 2% y nivel 1,5 % del humus de lombriz con 75,67 y 68,17 número de frutos por planta, en un primer grupo A; 0 % del humus de lombriz con 48,50 número de frutos por planta, en un segundo grupo B.

Figura 8

Efecto de niveles del humus de lombriz en el número de frutos por planta



Las diferencias numéricas obtenidas en número de frutos por planta, se atribuye al efecto del contenido de nutrientes que se encuentran entre el humus de lombriz al 2% con 75,67 número de fruto por planta, humus de lombriz al 1,5 % con 68,17 número de frutos por planta y humus de lombriz al 0 % con 48,50 número de frutos por planta, como el potasio (K): ayuda a la formación de frutos, regula las funciones de la planta, fueron fácilmente asimilados por las plantas que favorecieron la formación de los frutos.

Al respecto Taboada (2006), menciona que el potasio es el factor de calidad, ayuda a la formación de tallos y frutos, regulan las funciones de la planta. Es el tercer elemento químico que la planta necesita, se encuentra normalmente disuelto en los jugos celulares de las plantas, sin sufrir ninguna transformación, es absorbido por las plantas fácilmente.

Blanco (2007), obtuvo en promedio general 39 frutos por planta. Por otro lado, Cala (2004), en su estudio de Efecto de la materia orgánica líquida, en sistemas de policultivo, en la Localidad de Coroico, obtuvo un promedio de 15,52 frutos por planta. Ambos valores son superados por los resultados obtenidos en el presente estudio con un promedio general de 75,67 frutos por planta para el mejor resultado, por lo tanto, se obtuvieron mejores resultados frente a otras investigaciones.

Tabla 17

Análisis de varianza de efecto simple, para la variable número de frutos por planta

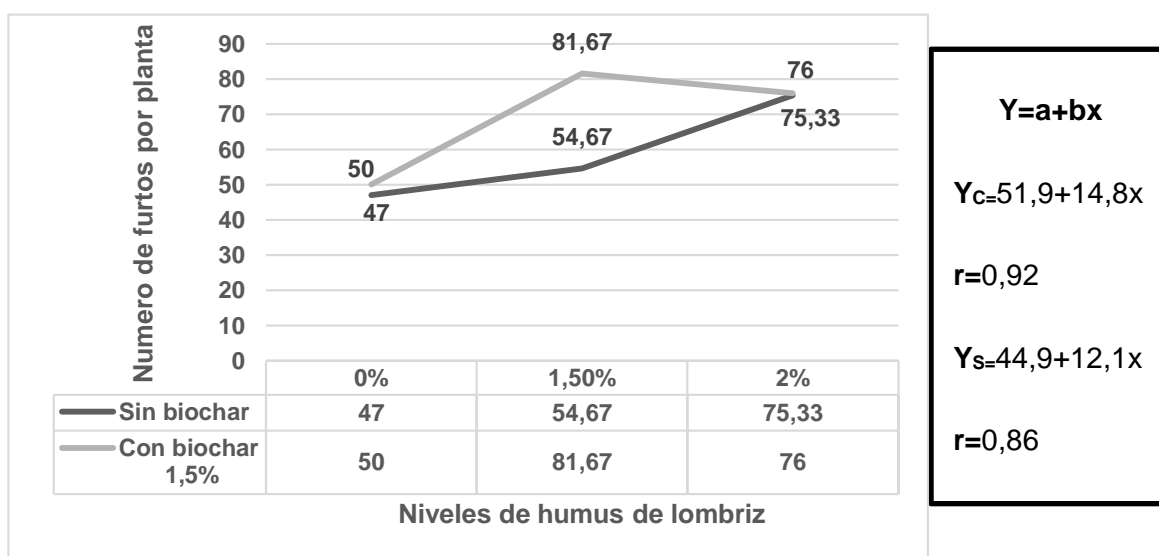
| Fv | Gl | SC | CM | F cal | Ft (5) | Sig |
|--------------|----|---------|--------|-------|--------|-----------|
| A(b1) | 1 | 13,5 | 13,5 | 0,35 | 5,32 | NS |
| A(b2) | 1 | 1093,5 | 1093,5 | 28,67 | 5,32 | ** |
| A(b3) | 1 | 0,67 | 0,67 | 0,02 | 5,32 | NS |
| B(a1) | 2 | 1288,67 | 644,33 | 16,9 | 4,46 | ** |
| B(a2) | 2 | 1710,89 | 855,44 | 22,43 | 4,46 | ** |
| Error | 8 | 305,11 | 38,14 | | | |

El análisis de varianza de la prueba de efecto simple, tabla 17, indica que el factor Biochar 1,5% (factor A), con 0% de humus de lombriz no presenta significancia; con el 1,5% de humus de lombriz alta significancia; y con 2% de humus de lombriz no presenta significancia.

El factor niveles de humus de lombriz (Factor B), con 0 % de biochar presenta alta significancia y con biochar al 1,5% presenta alta significancia.

Figura 9

Efecto del biochar 1,5% y niveles de humus de lombriz en el número de frutos por planta



El comportamiento agronómico de la variable número de frutos por planta que muestra la figura 9, con respecto a la aplicación de Biochar en una concentración al 1,5%, bajo los diferentes niveles de humus de lombriz, muestra una recta creciente y decreciente cuya ecuación afirma que por cada 1% de aumento en la concentración del Biochar, esta variable tiende a incrementar en un 14,87 frutos respectivamente. Esto podría deberse quizá al contenido de potasio en el biochar, ya que este nutriente aumenta la cantidad de frutos.

Por otro lado, la variable número de frutos por planta muestra la figura 13, sin la aplicación de Biochar y solamente bajo los niveles de humus de lombriz, muestra una recta creciente, esto podría atribuirse a la cantidad de humus de lombriz incorporado en el suelo y de esta forma los nutrientes estuvieron disponibles y asimilables para el aprovechamiento de los mismos por la planta de tomate variedad cherry.

Es decir que en la interacción 1,5 % de Biochar con 0% humus de lombriz no tiene significancia, esto porque el biochar actúa como enmienda y no, así como abono, esta necesita ser activada con un abono en este caso humus de lombriz.

Pero por el otro lado, en la interacción del Biochar 1,5% y con 1,5% de humus de lombriz existe una alta significancia encontrándose un resultado de 82 frutos con Biochar al 1,5% y 55 frutos sin Biochar al 0%. Por tanto, las plantas bajo la aplicación del biochar como enmienda y usando el humus de lombriz, estas se activan ayudando de esta forma a la planta, por tanto, al aumento de la cantidad de frutos.

Sin embargo, en la interacción de Biochar 1,5% y con 2% de humus de lombriz no presenta significancia, esto porque en el bloque II y T₆ hubo una baja cantidad de frutos debido a que se infectó con hongos, este patógeno evito el desarrollo del mismo. Pero sin duda es necesario decir que el biochar 1,5% con niveles de humus de lombriz tuvo un mejor resultado.

El biocarbón se propone como mejorador de las propiedades físicas (porosidad,

infiltración de agua, estructura, entre otros), también como material de encalado ya que muchos biocarbones tienen valores de pH altos. Tiene potencial en la captura de carbono en el suelo, sobre todo de suelos degradados que han perdido la materia orgánica que es básica en la fertilidad física del suelo (Escalante *et al.*, 2015).

6.5.6 Diámetro del fruto

A continuación, se presenta la tabla 18 análisis de varianza diámetro del fruto.

Tabla 18

Análisis de varianza para la variable diámetro del fruto

| Fuente de variación | G.L. | S.C. | C.M. | F.C. | Pr>F 0,05 |
|--|------|-------|-------|-------|-------------------|
| Bloques | 2 | 0,06 | 0,03 | 0,02 | 0,9775 NS |
| Aplicación de biochar (A) | 1 | 29,13 | 29,13 | 21,69 | 0,0431 * |
| Error parcela mayor (Ea) | 2 | 2,69 | 1,34 | | |
| Niveles de humus de lombriz (B) | 2 | 6,96 | 3,48 | 1,30 | 0,3234 NS |
| Biochar* Humus de lombriz (A*B) | 2 | 12,58 | 6,29 | 2,36 | 0,1566 NS |
| Error parcela menor (Eb) | 8 | 21,34 | 2,67 | | |
| Total | 17 | 72,77 | 4,28 | | |
| | | | | | C.V.=6,70% |

En la tabla 18, se observa que el coeficiente de variación es 6,70 % lo cual indica que los datos obtenidos son confiables. También se observa que no existen diferencias significativas entre bloques en cuanto al diámetro del fruto. La aplicación de biochar tiene significancia en el diámetro del fruto. Los niveles del humus de lombriz no tienen diferencia significativa.

Al nivel del 5%, no existe interacción entre el efecto del biochar y niveles del humus de lombriz, los factores son independientes en cuanto al diámetro del fruto.

6.5.6.1 Efecto de la aplicación del biochar en el diámetro del fruto

En la siguiente tabla 19, se observa el efecto de la aplicación del biochar en el diámetro del fruto, a través de la prueba Duncan con 5% de probabilidad estadística:

Tabla 19

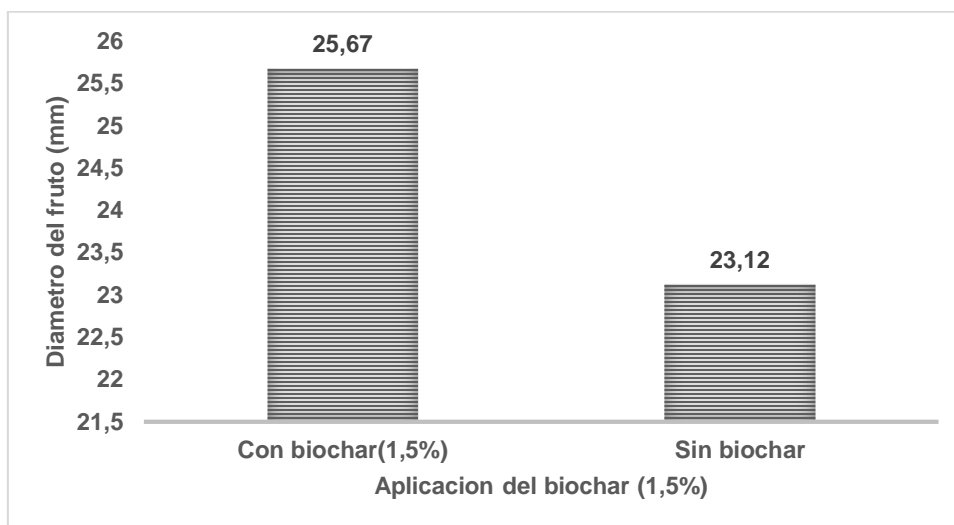
Efecto de la aplicación del biochar en el diámetro del fruto

| Aplicación de dosis de biochar (%) | Media (mm) | Duncan (5%) | n |
|------------------------------------|------------|-------------|---|
| Con biochar (1.5%) | 25,67 | A | 9 |
| Sin biochar | 23,12 | B | 9 |

En cuanto a la aplicación del biochar al 1,5%, la Prueba de Duncan (5%), muestra que existen diferencias significativas en el diámetro del fruto. Teniendo como mejor resultado la aplicación con biochar con una media de 25,67 mm en un primer grupo A; sin biochar con una media de 23,12 mm, en un segundo grupo B.

Figura 10

Efecto de la aplicación del biochar en el diámetro del fruto (mm)



Por otro lado, Blanco (2007), en promedio general obtuvo un diámetro del fruto de 24,35 mm inferior al resultado obtenido en el presente estudio.

Al respecto Infoagro (2012), menciona que el promedió de diámetro de fruto se encuentra entre 1 a 3 cm, valor que se comparó con nuestros resultados 25,67 mm con la aplicación de biochar 1,5% y 23,12 mm sin biochar, este valor indica que nos

encontramos dentro del rango recomendado, Blanco (2018), obtuvo un promedio de 22,25 mm también menor a nuestros resultados.

6.5.7 Peso del fruto

A continuación, se presenta la tabla 20 de análisis de varianza para peso del fruto.

Tabla 20

Análisis de varianza para la variable peso del fruto

| Fuente de variación | G.L. | S.C. | C.M. | F.C. | Pr>F 0,05 |
|--|------|-------|------|-------|------------------|
| Bloques | 2 | 0,42 | 0,21 | 1,17 | 0,4615 NS |
| Aplicación de biochar (A) | 1 | 4,91 | 4,91 | 27,18 | 0,0349 * |
| Error parcela mayor (Ea) | 2 | 0,36 | 0,18 | | |
| Niveles de humus de lombriz (B) | 2 | 3,28 | 1,64 | 3,09 | 0,1012 NS |
| Biochar* Humus de lombriz (A*B) | 2 | 2,90 | 1,45 | 2,73 | 0,1247 NS |
| Error parcela menor (Eb) | 8 | 4,24 | 0,53 | | |
| Total | 17 | 16,11 | 095 | | |

C.V.=9,24%

En la tabla 20, se observa que el coeficiente de variación es 9,24 % lo cual indica que los datos obtenidos son confiables. También se observa que no existen diferencias significativas entre bloques en cuanto al peso del fruto. La aplicación de biochar tiene significancia significativa en el peso del fruto. Los niveles del humus de lombriz no tienen diferencia significativa.

Al nivel del 5%, no existe interacción entre el efecto del biochar y niveles del humus de lombriz, los factores son independientes en cuanto al peso del fruto.

6.5.7.1 Efecto de la aplicación del biochar en el peso del fruto

En la siguiente tabla 21, se observa el efecto de la aplicación del biochar en el peso del fruto, a través de la prueba Duncan con 5% de probabilidad estadística:

Tabla 21

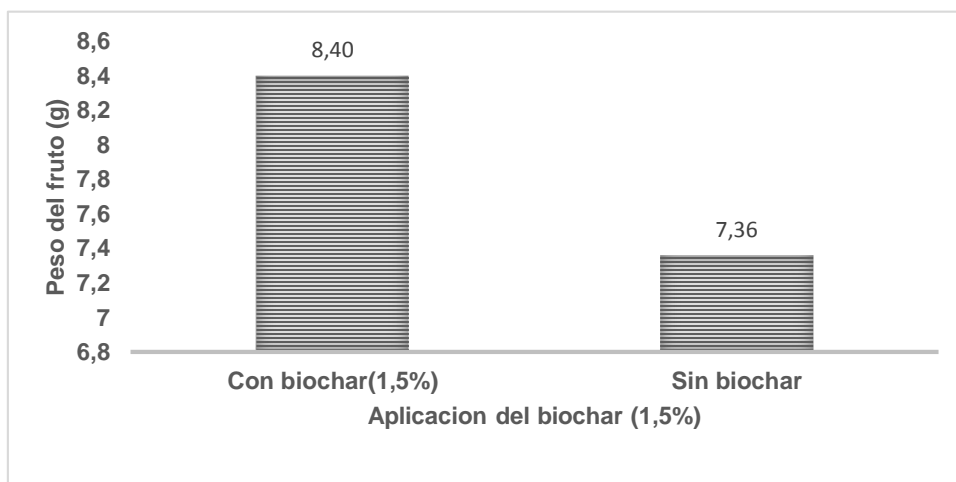
Efecto de la aplicación del biochar en el peso del fruto

| Aplicación de dosis de biochar (%) | Media (g) | Duncan (5%) | n |
|------------------------------------|-----------|-------------|---|
| Con biochar (1,5%) | 8,40 | A | 9 |
| Sin biochar | 7,36 | B | 9 |

En cuanto a la aplicación del biochar al 1,5%, la Prueba de Duncan (5%), muestra que existen diferencias significativas en el peso del fruto. Teniendo como mejor resultado la aplicación con biochar con una media de 8,40 g en un primer grupo A; sin biochar con una media de 7,36 g, en un segundo grupo B.

Figura 11

Efecto de la aplicación del biochar en el peso del fruto (g)



En la figura 11, se observa, el mayor resultado en peso de fruto, se obtuvo con la aplicación de biochar 1,5% de 8,40 g y el menor resultado sin biochar, con un resultado de 7,36 g. El potasio: las funciones de este elemento en la planta son varias, van desde la síntesis a sistemas de regulación de absorción del agua, una de las que conviene recordar es que ayuda al engorde de los frutos (Tjalling, 2006).

Según Amonette (2009), la aplicación de biocarbón aumenta la capacidad de retención de nutrimentos en el suelo con la consecuente reducción de la necesidad de aplicar altas dosis de fertilizantes.

Blanco (2007), en un estudio con tomate cherry aplicando fertilización foliar en Coroico Nor Yungas, en condiciones de campo obtuvo un promedio de 8,85 g en peso de fruto, el cual es superior al promedio obtenido en el presente estudio, dando un resultado de 8,4g. Sin embargo, Blanco Callata (2018), obtuvo un promedio de 8 g en peso de fruto menor al obtenido en el experimento.

Carchuna (2003), señala que el peso medio del fruto de tomate cherry varía de 8 – 12 gramos de acuerdo a la variedad, por lo tanto, los resultados están dentro del rango citado por el autor.

6.5.8 Rendimiento por planta

A continuación, se presenta la tabla 22 de análisis de varianza para el rendimiento por planta.

Tabla 22

Análisis de varianza para la variable rendimiento por planta

| Fuente de variación | G.L. | S.C. | C.M. | F.C. | Pr > F 0,05 |
|--|------|-----------|-----------|-------|------------------|
| Bloques | 2 | 8358,20 | 42179,10 | 1,03 | 0,4924 NS |
| Aplicación de biochar (A) | 1 | 145003,69 | 145003,69 | 35,77 | 0,0268 * |
| Error parcela mayor (Ea) | 2 | 8107,16 | 4053,58 | | |
| Niveles de humus de lombriz (B) | 2 | 198547,97 | 99273,99 | 33,57 | 0,0001 ** |
| Biochar* Humus de lombriz (A*B) | 2 | 65625,65 | 32812,82 | 11,10 | 0,0049 ** |
| Error parcela menor (Eb) | 8 | 23656,75 | 2957,09 | | |
| Total | 17 | 449299,43 | | | |
| | | | | | C.V=10,6% |

En la tabla 22, se observa que el coeficiente de variación es 10,6 % el cual indica que los datos obtenidos son confiables. También se observa que no existen diferencias

significativas entre bloques en cuanto al rendimiento por planta. La aplicación de biochar tiene significancia en el rendimiento por planta. Los niveles del humus de lombriz tienen diferencia altamente significativa.

Al nivel del 5%, existe interacción entre el efecto del biochar 1,5 % y niveles del humus de lombriz (2%, 1,5% y 0%), los factores son dependientes en cuanto al rendimiento por planta.

6.5.8.1 Efecto de la aplicación del biochar 1,5% en el rendimiento por planta

En la siguiente tabla 23, se observa el efecto de la aplicación del biochar en el rendimiento por planta, a través de la prueba Duncan con 5% de probabilidad estadística:

Tabla 23

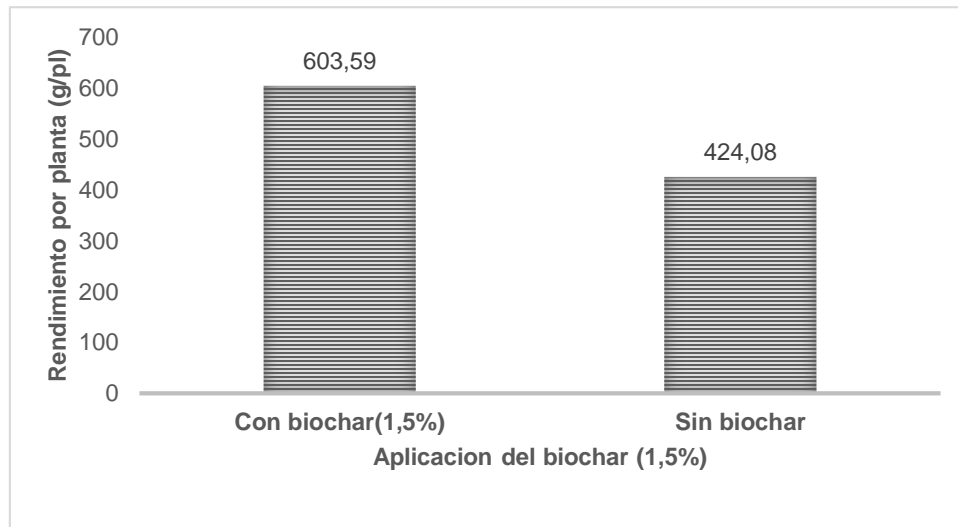
Efecto de la aplicación del biochar 1,5% en el rendimiento por planta

| Aplicación de dosis de biochar (%) | Media (g/pl) | Duncan (5%) | n |
|---|---------------------|--------------------|----------|
| Con biochar (1,5%) | 603,59 | A | 9 |
| Sin biochar | 424,08 | B | 9 |

En cuanto a la aplicación del biochar al 1,5%, la Prueba de Duncan (5%), muestra que existen diferencias significativas en el rendimiento por planta. Teniendo como mejor resultado la aplicación con biochar con una media de 603,59 g/pl en un primer grupo A; sin biochar con una media de 424,08 g/pl, en un segundo grupo B.

Figura 12

Efecto de la aplicación del biochar 1,5% en el rendimiento por planta



En la figura 12, nos muestra un resultado mayor obtenido de 603,59 g/pl con aplicación de biochar 1,5% y un valor bajo, sin aplicación de biochar, con un resultado de 424,08 g/pl. Blanco Callata (2018), obtuvo un promedio general en el rendimiento de 517 g/pl, menor a nuestro resultado.

Blanco (2007), para esta variable obtuvo en rendimiento por planta de 12,75 kg /pl. Por otro lado, Cala (2004), en su estudio de Efecto de la materia orgánica líquida, en sistemas de policultivo, en la Localidad de Coroico, obtuvo un valor promedio de rendimiento 1,160 kg/pl, los dos últimos valores son superiores a los obtenidos, posiblemente porque evaluaron todo el ciclo productivo del cultivo, en el presente estudio se evaluó 8 cortes.

Amonette (2009), el biocarbón por lo general incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo y, por lo tanto, la retención de NH^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , lo que probablemente se atribuye a su elevada superficie específica, alta carga superficial negativa y elevada densidad de carga (CIC potencial por unidad de área). Por lo tanto, mayor retención de nutrientes y eso normalmente hace al suelo más fértil (FAO, 2022).

6.5.8.2 Efecto de niveles del humus de lombriz en el rendimiento por planta

En la siguiente tabla 24, se observa el efecto de los niveles de humus de lombriz en el rendimiento por planta, a través de la prueba Duncan con 5% de probabilidad estadística:

Tabla 24

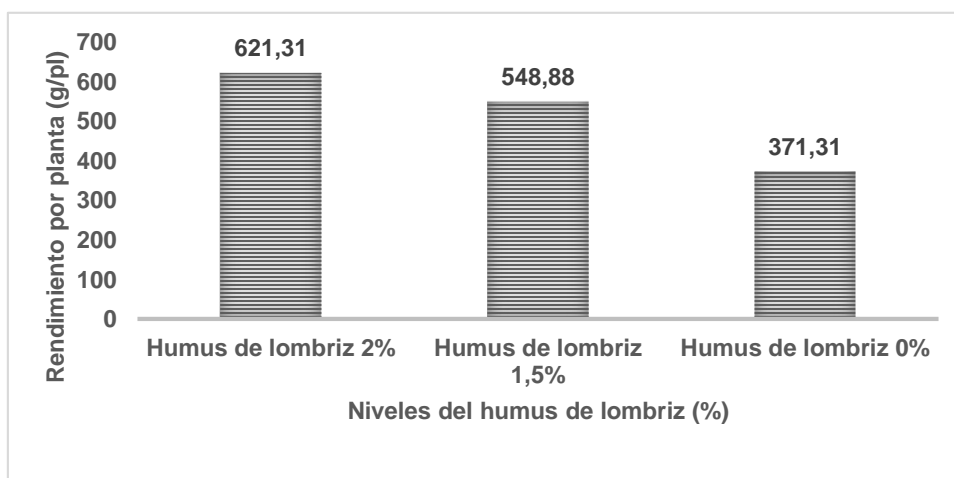
Efecto de niveles del humus de lombriz en el rendimiento por planta

| Niveles de humus de lombriz (%) | Media (g/pl) | Duncan (5%) | n |
|---------------------------------|--------------|-------------|---|
| 2% | 621,31 | A | 6 |
| 1,50% | 548,88 | B | 6 |
| 0% | 371,31 | C | 6 |

En cuanto a los niveles del humus de lombriz, la Prueba de Duncan (5%), muestra que existen diferencias significativas en el rendimiento por planta. Teniendo como mejor resultado al nivel 2% del humus de lombriz con 621,31 g/pl en el rendimiento por planta, en un primer grupo A; 1,5 % del humus de lombriz con 548,88 g/pl en el rendimiento por planta, en un segundo grupo B; 0 % del humus de lombriz con 371,32 g/pl en el rendimiento por planta, en un tercer grupo C.

Figura 13

Efecto de niveles del humus de lombriz en el rendimiento por planta



Las diferencias obtenidas en rendimiento por planta, probablemente se atribuyan a las dosis de humus de lombriz y sus elementos nutritivos que contienen como el nitrógeno, fósforo y potasio, calcio, magnesio y boro, estos nutrientes son importante para la producción del cultivo, siendo necesario en la nutrición y desarrollo del tomate cherry, por su inmediata disponibilidad (Gosalbez, 2012).

Hernandez (2009), también las raíces extrajeron los nutrientes, que se incorporaron al suelo, favoreciendo la formación del fruto, lo que permitieron asegurar los rendimientos, incrementando significativamente con el contenido de nutrientes, siendo esenciales para la vida vegetal, además de ser rico en oligoelementos y poseer nutrientes fácilmente aprovechables. Aspectos que podrían haber contribuido a obtener un resultado de 621,3 g/pl de rendimiento del fruto y por el contrario el testigo tuvo un resultado de 371,3 g/pl, sin dejar de lado el manejo del cultivo en el Centro Experimental Cota Cota.

Estos resultados podrían atribuirse al contenido de nutrientes en el abono, y sales minerales presentes en el suelo. Pero por otro lado también podría deberse al riego, cuya actividad disolvió las sales presentes en el suelo y humus de lombriz, haciendo que los nutrientes sean asimilables por las raíces.

Tabla 25

Análisis de varianza de efecto simple para la variable rendimiento por planta g/pl

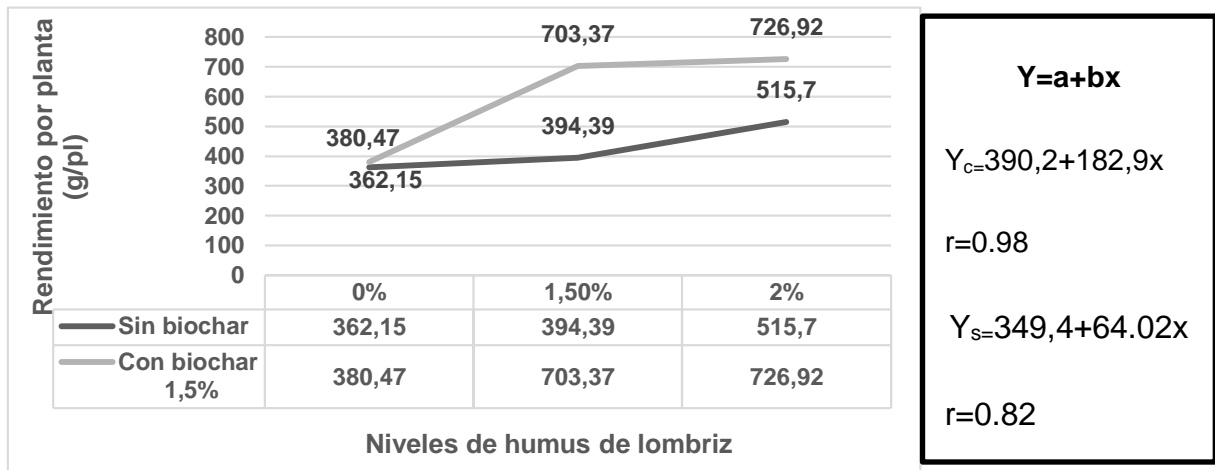
| Fv | GI | SC | CM | F cal | ft (5) | Sig. |
|--------------|-----------|-----------|-----------|--------------|---------------|-------------|
| A(b1) | 1 | 503,43 | 503,43 | 0,17 | 5,32 | NS |
| A(b2) | 1 | 143202,96 | 143202,96 | 48,43 | 5,32 | ** |
| A(b3) | 1 | 66920,83 | 66920,83 | 22,63 | 5,32 | ** |
| B(a1) | 2 | 39331,3 | 19665,65 | 6,65 | 4,46 | * |
| B(a2) | 2 | 224844,15 | 112422,22 | 38,018 | 4,46 | ** |
| Error | 8 | 23656,75 | 2957,1 | | | |

El análisis de varianza de la prueba de efecto simple, tabla 25, indica que el factor Biochar 1,5% (factor A), con 0% de humus de lombriz no presenta significancia; con el 1,5% de humus de lombriz alta significancia; y con 2% de humus de lombriz presenta significancia alta.

El factor niveles de humus de lombriz (Factor B), con 0 % de biochar presenta significancia, pero también con biochar al 1,5% presenta alta significancia.

Figura 14

Efecto del biochar 1,5% y niveles de humus de lombriz en el rendimiento por planta g/pl



El comportamiento agronómico de la variable rendimiento por planta que muestra la figura 14, con respecto a la aplicación de Biochar 1,5%, bajo los diferentes niveles de humus de lombriz, muestra una recta creciente, cuya ecuación afirma que por cada 1% de aumento en la concentración del Biochar 1,5%, esta variable tiende a incrementar en un 182,93 g por planta. Esto podría deberse al contenido de potasio en el biochar y el humus de lombriz, pero también a que el biochar actúa como un arrecife para los microorganismos y de esta forma aumenta los nutrientes, siendo disponible para la planta y mejorando el rendimiento por planta.

Por otro lado, la variable rendimiento por planta muestra la figura 14, sin la aplicación de Biochar y solamente bajo los niveles de humus de lombriz, muestra una recta creciente, esto podría atribuirse a la cantidad de humus de lombriz incorporado en el suelo y de esta forma los nutrientes estuvieron disponibles y asimilables para el aprovechamiento de los

mismos por la planta de tomate variedad cherry. Sin embargo, se nota la diferencia entre la aplicación de biochar 1,5% y sin biochar 0%.

Es decir que en la interacción 1,5 % de biochar con 0% humus de lombriz no tiene significancia, esto porque el biochar actúa como enmienda y no como abono.

Pero por el otro lado, en la interacción del biochar 1,5% y con 1,5% de humus de lombriz existe una alta significancia, encontrándose un resultado de 703,37 g/pl y sin biochar 0% y con 1,5% de humus de lombriz con un resultado de 394,39 g por planta. Por tanto, las plantas bajo la aplicación del biochar como enmienda y usando el humus de lombriz, estas se activan ayudando de esta forma a la planta, por tanto, al mejoramiento en el rendimiento de los frutos.

En la interacción de Biochar 1,5% y con 2% de humus de lombriz presenta alta significancia, con un resultado de 726,92 g/pl; sin aplicación de biochar 0% y con 2% de humus de lombriz un resultado de 515,17 g/pl.

Reportan que el empleo de biochar, podría conducir a una mayor producción de los cultivos y mejoramiento de la calidad del suelo, de ahí el interés en esta práctica. Posee una alta porosidad con micro, meso y macroporos, cuyos tamaños van de <2 nm, 2-50 nm y >50 nm, respectivamente por lo cual lo han comparado con un “arrecife subterráneo” que puede ser hábitat para microorganismos (Lehmann y Stephen, 2009).

El humus de lombriz posee una elevada carga microbiana del orden de los 20 mil millones de grano seco, contribuyendo a la protección de la raíz de bacterias y nematodos, sobre todo, para el cual está especialmente indicado, además produce hormonas como el ácido indol acético y ácido giberélico, estimulando el crecimiento y las funciones vitales de las plantas (Blanco, s.f).

6.5.9 Rendimiento kg/m²

A continuación, se presenta la tabla 26 de análisis de varianza para el rendimiento por metro cuadrado.

Tabla 26

Análisis de varianza para la variable rendimiento kg/m²

| Fuente de variación | G.L. | S.C. | C.M. | F.C. | Pr> F 0,05 |
|--|------|-------|------|-------|--------------------|
| Bloques | 2 | 0,24 | 0,12 | 1,41 | 0,415 NS |
| Aplicación de biochar (A) | 1 | 3,44 | 3,44 | 40,16 | 0,024 * |
| Error parcela mayor (Ea) | 2 | 0,17 | 0,09 | | |
| Niveles de humus de lombriz (B) | 2 | 4,93 | 2,47 | 45,43 | 0,0001 ** |
| Biochar* Humus de lombriz (A*B) | 2 | 1,51 | 0,76 | 13,92 | 0,0025 ** |
| Error parcela menor (Eb) | 8 | 0,43 | 0,05 | | |
| Total | 17 | 10,73 | 0,63 | | |
| | | | | | C.V.=9,11 % |

En la tabla 26, se observa que el coeficiente de variación es 9,11 % lo cual indica que los datos obtenidos son confiables. También se observa que no existen diferencias significativas entre bloques en cuanto al rendimiento. La aplicación de biochar tiene significancia significativa en el rendimiento. Los niveles del humus de lombriz tienen diferencia altamente significativa.

Al nivel del 5%, existe interacción entre el efecto del biochar y niveles del humus de lombriz, los factores son dependientes en cuanto al rendimiento por planta.

6.5.9.1 Efecto de la aplicación del biochar en el rendimiento kg/m²

En la siguiente tabla 27, se observa el efecto de la aplicación del biochar en el rendimiento por metro cuadrado, a través de la prueba Duncan con 5% de probabilidad estadística:

Tabla 27

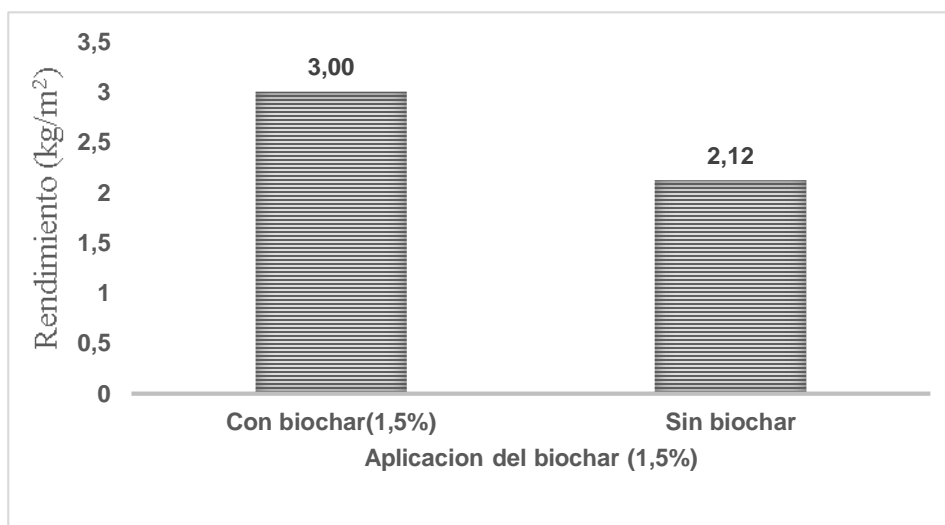
Efecto de la aplicación del biochar 1,5% en el rendimiento kg/m^2

| Aplicación de dosis de biochar (%) | Media (kg/m^2) | Duncan (5%) | n |
|------------------------------------|----------------------------------|-------------|---|
| Con biochar (1,5%) | 3,00 | A | 9 |
| Sin biochar | 2,12 | B | 9 |

En cuanto a la aplicación del biochar al 1,5%, la Prueba de Duncan (5%), muestra que existen diferencias significativas en el rendimiento por metro cuadrado. Teniendo como mejor resultado la aplicación con biochar con una media de $3,00 \text{ kg}/\text{m}^2$ en un primer grupo A; sin biochar con una media de $2,12 \text{ kg}/\text{m}^2$, en un segundo grupo B.

Figura 15

Efecto de la aplicación del biochar en el rendimiento kg/m^2



Para nuestro mejor resultado con aplicación de biochar 1,5%, se obtuvo $3,00 \text{ kg}/\text{m}^2$ y para la aplicación sin biochar un resultado de $2,12 \text{ kg}/\text{m}^2$. Algunas evidencias muestran que el biocarbón funciona como portador de microorganismos, por lo que su adición al suelo puede incrementar la población de hongos micorrízicos y los niveles de infección por *Rhizobium* siendo por ello incorporado a los trabajos de bioremediación de suelos (Amonnette, 2009).

A nivel mundial el estudio del biocarbón tiene mucho auge pues se considera una tecnología que puede aumentar la fertilidad de los suelos y el rendimiento de los cultivos, de igual forma el secuestro de carbono, efecto positivo sobre el cambio climático y con potencial para la obtención de créditos de carbono (Escalante *et al.*, 2015).

6.5.9.2 Efecto de niveles del humus de lombriz en el rendimiento

En la siguiente tabla 28, se observa el efecto de los niveles de humus de lombriz en el rendimiento por planta, a través de la prueba Duncan con 5% de probabilidad estadística:

Tabla 28

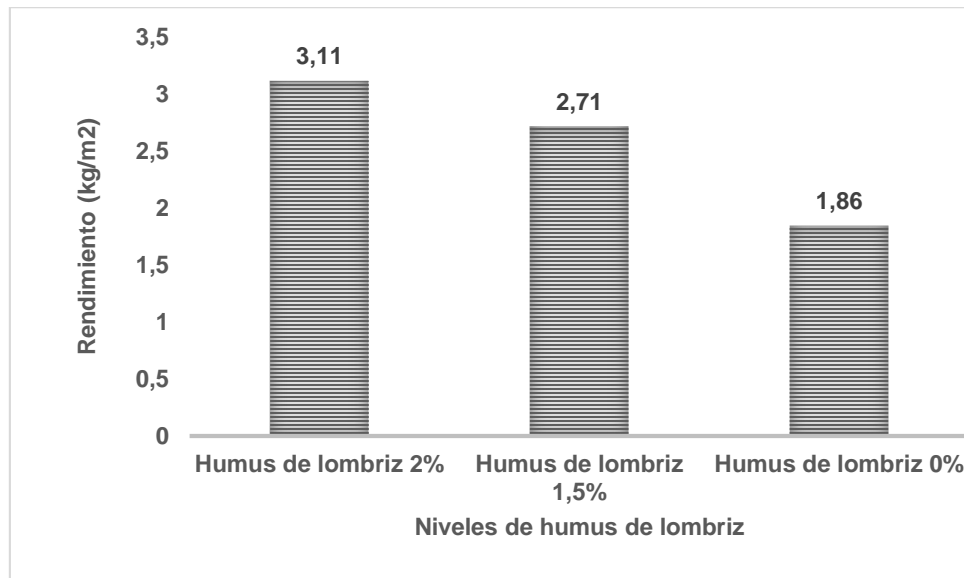
Efecto de niveles del humus de lombriz en el rendimiento kg/m²

| Niveles de humus de lombriz (%) | Media (kg/m ²) | Duncan (5%) | n |
|---------------------------------|----------------------------|-------------|---|
| 2% | 3,11 | A | 6 |
| 1,50% | 2,71 | B | 6 |
| 0% | 1,86 | C | 6 |

En cuanto a los niveles del humus de lombriz, la Prueba de Duncan (5%), muestra que existen diferencias significativas en el rendimiento. Teniendo como mejor resultado al nivel 2% del humus de lombriz con 3,11 kg/m² en el rendimiento, en un primer grupo A; 1,5 % del humus de lombriz con 2,71 kg/m² en el rendimiento, en un segundo grupo B; 0 % del humus de lombriz con 1,86 kg/m² en el rendimiento, en un tercer grupo C.

Figura 16

Efecto de niveles del humus de lombriz en el rendimiento kg/m^2



Las diferencias obtenidas en rendimiento kg/m^2 , probablemente se atribuyan a las aplicaciones de las diferentes dosis de humus de lombriz, frente al testigo que fue el tratamiento con el cual se obtuvo el menor rendimiento. Las funciones que cumplen los abonos orgánicos en el suelo son tan importantes porque son fuente de nutrientes (N, P, K), mejora la estructura del suelo, aumenta la CIC, disminuye la fijación de elementos esenciales, contribuye a la mineralización y principalmente influye sobre la actividad microbiana (Ashworth *et al.*, 2014).

Para esta variable se obtuvo en el mejor resultado $3,11 \text{ kg/m}^2$, valor que equivale aproximadamente a $31,10 \text{ TM/ha}$ y en el más bajo un resultado de $1,86 \text{ kg/m}^2$ equivale a $18,4 \text{ TM/ha}$. Blanco Callata (2018), obtuvo un rendimiento de $2,58 \text{ kg/m}^2$ muy cercano al segundo resultado de nuestro experimento, no se encontró más investigaciones a la presente en nuestro medio. Sin embargo, la media de rendimiento en otros países está por encima de 50 TM/ha , por lo cual se debe seguir mejorando los rendimientos.

Tabla 29

Análisis de varianza de efecto simple para la variable rendimiento kg/m²

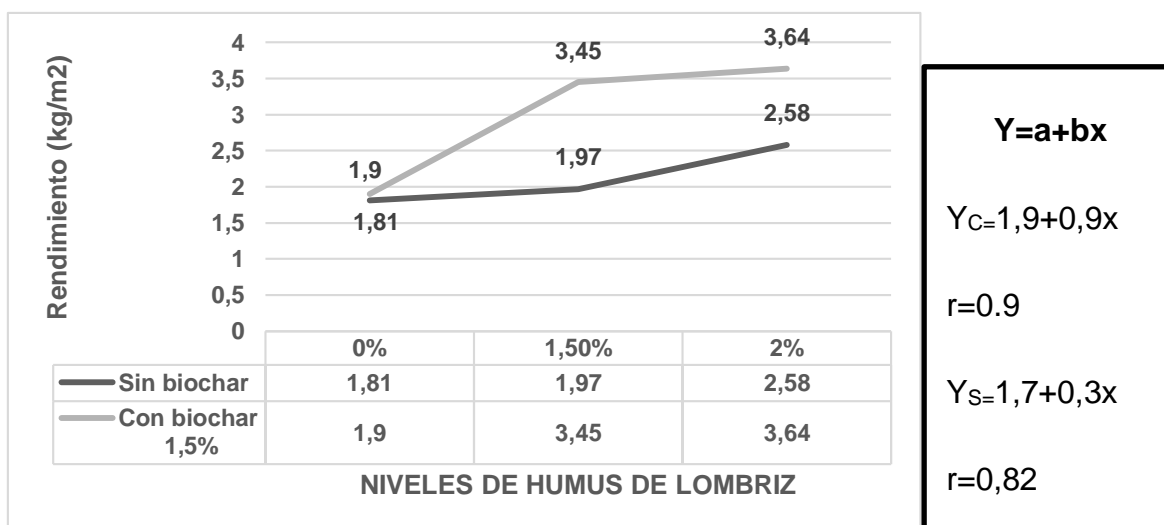
| Fv | GI | SC | CM | F cal | ft (5%) | Sig |
|-------|----|-------|-------|-------|---------|-----|
| A(b1) | 1 | 0,012 | 0,012 | 2,22 | 5,32 | NS |
| A(b2) | 1 | 3,26 | 3,26 | 60,37 | 5,32 | ** |
| A(b3) | 1 | 1,66 | 1,66 | 30,74 | 5,32 | ** |
| B(a1) | 2 | 0,99 | 0,495 | 9,17 | 4,46 | ** |
| B(a2) | 2 | 5,7 | 2,85 | 52,78 | 4,46 | ** |
| Error | 8 | 0,43 | 0,054 | | | |

El análisis de varianza de la prueba de efecto simple, tabla 29, indica que el factor Biochar 1,5% (factor A), con 0% de humus de lombriz no presenta significancia; con el 1,5% de humus de lombriz tiene significancia alta; y con 2% de humus de lombriz presenta significancia alta.

El factor niveles de humus de lombriz (Factor B), con 0 % de biochar es altamente significativo, de la misma forma el biochar al 1,5% presenta significancia alta.

Figura 17

Efecto del biochar 1,5% y niveles de humus de lombriz en el rendimiento kg/m²



El comportamiento productivo que muestra la figura 17 con la interacción del factor aplicación de Biochar 1,5%, bajo los diferentes niveles de humus de lombriz, muestra una

recta creciente, cuya ecuación afirma que por cada 1% de aumento en la concentración del Biochar 1,5%, esta variable tiende a incrementar en un 0,91 kg/m². Por tanto, el biochar aplicado al 1,5%, influye sobre los niveles de humus de lombriz incorporado al suelo, haciendo que los rendimientos se incrementen hasta 3,64 kg/m² respectivamente.

Por otra parte, el comportamiento productivo que muestra la figura 16, con la interacción del factor Biochar al 0 % y 2% de humus de lombriz, es una recta también creciente, pero que está por debajo de la recta de la aplicación de biochar, cuyo rendimiento en fruto son casi constantes, obteniéndose hasta 2,58 kg/m² respectivamente.

De forma general el comportamiento del factor biochar 1,5% bajo los niveles de humus de lombriz es diferente, obteniéndose con el biochar una recta creciente y con el nivel 0 % de biochar (solo humus de lombriz) una recta creciente, pero con menor resultado.

Es decir, en la interacción 1,5 % de biochar con 0% de humus de lombriz no existe significancia, esto demuestra que solo aplicando biochar al 1,5 %, no es suficiente para aumentar los rendimientos, sino que es necesario aplicar humus de lombriz, como demuestra el nivel 1,5% de humus de lombriz donde la interacción es altamente significativa. Y si incrementamos hasta 2% de humus de lombriz estos dos puntos son altamente significativos, por lo que se podría incrementar los rendimientos y así obtener buenos ingresos.

El estudio de esos suelos con alto contenido de carbón llevó a concluir que presentaban excelentes propiedades, entre las que podemos mencionar su elevado contenido de materia orgánica y carbono residente, una elevada disponibilidad nutrimental y altos contenidos de humedad, mayor capacidad de intercambio catiónico y mayor actividad microbiológica (Lehmann y Joseph, 2009).

El biocarbón provoca cambios positivos en el suelo que favorecen sus propiedades y el crecimiento de los cultivos. También contribuye a reducir el impacto del cambio climático, por estar constituido principalmente por formas resistentes a la oxidación, con lo que el

carbono puede permanecer por largo tiempo en el suelo sin regresar a la atmósfera (Ippolito *et al.*, 2011).

6.6 Variables económicas

El análisis económico es considerado de mucha importancia, ya que de ello depende si esta actividad es rentable o no. Considerando aspectos de inversión, en lo que respecta el crecimiento y desarrollo del cultivo para obtener buenos rendimientos y ganancias aceptables.

6.6.1 Costos variables

Los costos de producción del tomate variedad cherry, en el Centro Experimental Cota Cota, los detallamos a continuación por tratamientos. (Ver anexo 5).

En el mercado paceño específicamente mercado Achumani, la comercialización de producto fue de Bs. - 5 por 200 g de fruto.

Tabla 30

Presupuesto parcial para la aplicación del biochar en el tomate variedad cherry

| Detalle | Aplicación de biochar | |
|-------------------------------|-----------------------|------------------|
| | Sin biochar | Con biochar 1,5% |
| Rendimiento kg/m ² | 2,12 | 3,00 |
| Beneficio bruto Bb | 53,00 | 75,00 |
| Costos totales | 40,00 | 43,10 |
| Beneficio neto Bn | 13,00 | 32,00 |
| Relación B/C | 1,32 | 1,74 |

Tabla 31***Presupuesto para niveles de humus de lombriz en el tomate variedad cherry***

| Detalle | Niveles del humus de lombriz | | |
|----------------------------------|------------------------------|-------|-------|
| | 0% | 1,50% | 2% |
| Rendimiento (kg/m ²) | 1,84 | 2,71 | 3,11 |
| Beneficio bruto Bb | 46,00 | 67,75 | 77,74 |
| Costos totales | 26,30 | 28,00 | 28,72 |
| Beneficio neto Bn | 20,00 | 39,75 | 49,02 |
| Relación B/C | 1,75 | 2,41 | 2,71 |

6.6.2 Beneficio bruto (Bb)

A continuación, les presentamos los resultados de la siguiente variable económica.

En la tabla 30 y 31, se observa que el mayor beneficio bruto obtenido fue con el biochar 1,5% con 75,00 Bs/m² y sin biochar con un resultado de 53, 00 Bs/m². Con lo que respecta, a los niveles de humus de lombriz, se obtuvo un beneficio bruto mayor, con el 2% con un resultado de 77,74 Bs/m², seguido por el 1,5%, con un resultado de 67,75 Bs/m². Quedando ultimo con 0 % con un resultado de 46,00 Bs/m².

6.6.3 Beneficio neto (Bn)

A continuación, presentamos los resultados de la siguiente variable económica:

En la tabla 30 y 31, se observa que el mayor beneficio neto fue con la aplicación de biochar 1,5% con 32,00 Bs/m² y sin biochar con 13,00 Bs/m². Sin embargo, los niveles de humus de lombriz, presentan un beneficio neto mayor, con el 2% con un resultado de

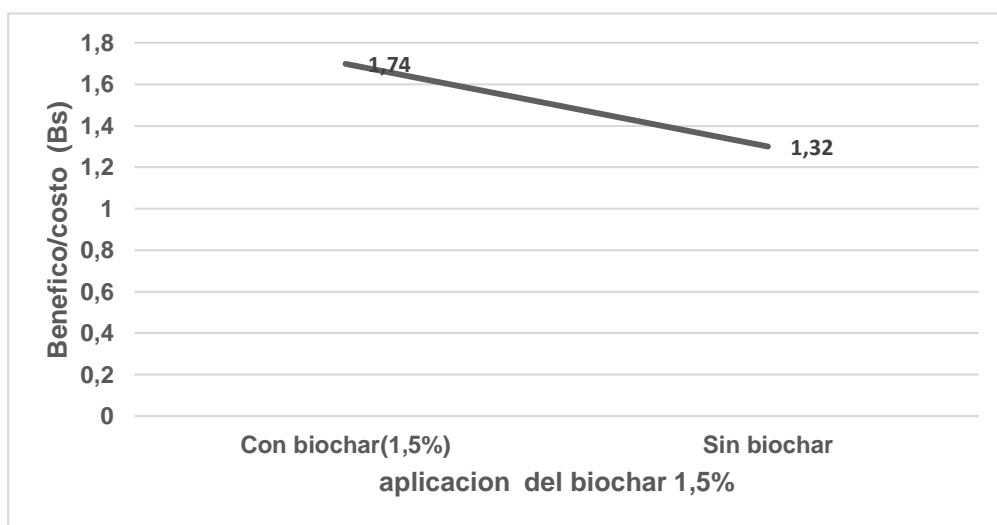
49,02 Bs/m², seguido por el 1,5%, con un resultado de 39,75 Bs/m². Quedando último con 0 % con un resultado de 20,00 Bs/m².

6.6.4 Beneficio/costo (B/C)

A continuación, presentamos los resultados de la siguiente variable económica:

Figura 18

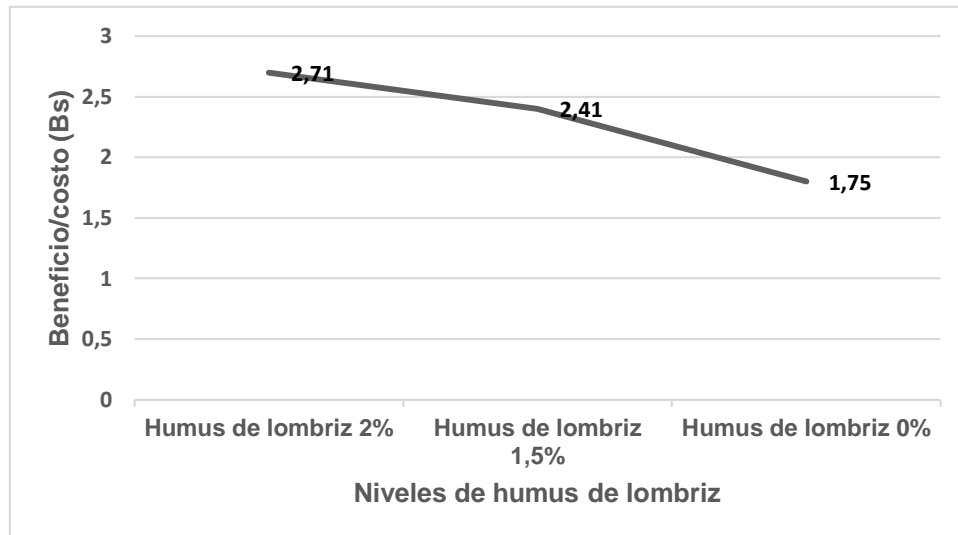
Efecto de la aplicación del biochar en el beneficio/costo



En la figura 18, se observa que el mayor beneficio/costo obtenido con la aplicación de biochar es de Bs.- 1,74, es decir que de cada Bs.-1 invertido, se gana Bs.- 0,74. Sin embargo, sin aplicación de biochar nos da un resultado de Bs.- 1,32, es decir que de cada Bs.- 1 invertido, se gana Bs.- 0,32, siendo el más bajo.

Figura 19

Efecto de los niveles de humus de lombriz en el beneficio/costo



En cuanto a los niveles de humus de lombriz tenemos los siguientes resultados: humus de lombriz al 2% con un resultado de Bs.- 2,71, es decir que de cada Bs.- 1 invertido, se gana Bs.- 1,71 el más alto, con el humus de lombriz al 1.5% el resultado es de Bs.- 2,41, por cada Bs.- 1 invertido, se gana Bs.- 1,41 y finalmente humus de lombriz al 0% con un resultado obtenido de Bs.- 1,75. Es decir que de cada Bs.- 1 invertido, se gana Bs.- 0,75, además que se hace un manejo sostenible del suelo. Estos resultados se dan debido a que no se utiliza el biochar en estos tratamientos, reduciendo de esta manera los costos de producción.

7. CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

- Los tratamientos aplicados con biochar 1,5 % presentaron diferencias no significativas en las variables de respuesta de: altura de la planta, diámetro de tallo, días a la floración, días a la cosecha y número de frutos por planta. Por otra parte, presentaron diferencias significativas en cuanto a las variables de: diámetro del fruto, peso del fruto, rendimiento por planta y rendimiento por metro cuadrado.
- Los tratamientos bajo la aplicación de los niveles de humus de lombriz produjeron diferencias altamente significativas en todas las variables de respuesta. Presentando diferencias altamente significativas en cuanto a las variables de: altura de planta, diámetro del tallo, días a la floración, días a la cosecha, número de frutos por planta, rendimiento por planta y rendimiento por metro cuadrado. Por otro lado, presentaron diferencias no significativas en cuanto a las variables de respuesta: diámetro del fruto y peso del fruto.
- Bajo la aplicación del biochar 1,5 %, se obtuvo un diámetro del fruto de 25,67 mm; peso del fruto de 8,40 g; rendimiento por planta de 603,59 g/pl y rendimiento metro cuadrado de 3,00 kg/m².
- Los mejores resultados obtenidos fueron con el nivel 2% de humus de lombriz, quedando intermedio 1,5% de humus de lombriz y por último 0% de humus de lombriz. Con este orden de mayor a menor se obtuvo: altura de planta de 172,5-170,6-111,3 cm; diámetro del tallo mm; diámetro de cuello del tallo 9,90- 9,70- 7,26 mm; días a la floración de 42,51- 48,28- 58,73 días; días a la cosecha de 118,71-121,53- 141,97 días; número de frutos por planta de 75,67- 68,17- 48,50 frutos; rendimiento por planta de 621,31- 548,88- 371,31 g/pl y rendimiento por metro cuadrado de 3,11- 2,71- 1,86 kg/m² respectivamente.

- La interacción del factor A Biochar 1,5% con el factor B niveles de humus de lombriz presentó diferencia significativa en la variable de respuesta: número de frutos por planta y diferencia altamente significativas en las variables de respuesta: rendimiento por planta y rendimiento por metro cuadrado, según el análisis de varianza realizado.

Obteniéndose con Biochar 1,5 % y 1,5 % 81,67 (T₅) frutos por planta, es necesario decir que en el T₆ se tuvo problemas con la infestación de hongos, debido a este patógeno la cantidad de frutos fue menor en esta variable. Sin embargo, el rendimiento por planta tuvo un resultado de 726,92 g/pl y 3,64 kg/m² de rendimiento por metro cuadrado; con el nivel de 2% de humus de lombriz respectivamente esto en el tratamiento T₆. Mientras que sin la aplicación de biochar se obtuvo 75 frutos por planta, el rendimiento del fruto por planta fue de 515,70 g/pl y de 2,58 kg/m² el rendimiento de tomate variedad cherry.

- El tratamiento más sobresaliente en cuanto al análisis económico fue Bs. - 1,74, beneficio/costo, para la aplicación de biochar al 1,5% y sin aplicación de biochar fue de Bs. - 1,32 beneficio/costo. Sin embargo, para los niveles de humus de lombriz al 2% fue de Bs. - 2,71, humus de lombriz 1,5% de Bs. - 2,41 y humus de lombriz 0% de Bs. - 1,75 para el beneficio/costo. Es necesario decir que se recuperó lo invertido en ambos casos.

8. RECOMENDACIONES

- Es preciso evitar la presencia de biomasa residual y la consecuente descomposición o quema del material sobre el suelo agrícola, toda vez que se daña la estructura y la hidrolización de sus compuestos produce la acidificación en las capas de suelo, durante el proceso de desintegración.
- Se podría realizar nuevas investigaciones que incluyan pruebas con biochar en otros cultivos agrarios u ornamentales que se realizan en la región y además combinar tratamientos con biochar y niveles menores de fertilización.
- Sería importante en futuros estudios, analizar el rendimiento del tomate variedad cherry con otros tipos de biochar, utilizando otras materias primas de origen orgánico para la producción del biochar, como puede ser residuos orgánicos.
- Debido a las propiedades de retención y bloqueo de elementos orgánicos, se podría probar el biochar de eucalipto en la remediación ambiental de suelos contaminados por agroquímicos y la retención de metales pesados.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, J. O. (2014). *Efecto del biocarbón en cacao orgánico (Theobroma cacao L.) y manejo biológico del Mal de Panamá (Fusarium Oxysporum f.sp cubense) con biocarbón y microorganismos benéficos*-Tesis para optar por el grado de Magister Scientiae en Agricultura Ecológica CATIE. Turrialba, Costa Rica. Obtenido de <http://www.sidalc.net>
- Acosta, B. (05 de junio de 2020). *Como podar tomates. Ecología verde*. Obtenido de <https://ww.ecologiaverde.com>
- AGRECOL Andes. (2018). *Diagnóstico de Producción Ecológica en Bolivia e Identificación de Necesidades de Capacitación* (Juan Marcelo Alvarez ed.). Cochabamba-Bolivia. Obtenido de <https://www.agrecolandes.org>
- Agriculturers. (03 de septiembre de 2019). *Tus tomates cherry*. Agriculturers Red de especialistas en agricultura.
- Agronet. (29 de abril de 2020). *Plagas y enfermedades del tomate*. Mini Agricultura, 1. Obtenido de <https://www.agronet.gov.com>
- Amonette, J. (2009). *An introduction to biochar*. Concept, processes, properties, and applications. *Special Workshop*.
- Ashworth, A., Sadaka, S., Allen, F., Sharara, M., & Keyser, P. (2014). *Influence of Pyrolysis Temperature and Production Conditions on Switchgrass Biochar for Use as a Soil Amendment-Department of Plant Sciences, University of Tennessee. BioResources*. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/26750948>
- Bernal, R. (2010). *Enfermedades de tomate (Lycopersicum esculentum Mill)*. Montevideo, Uruguay: Unidad de Comunicación y Transparencia de Tecnología de INIA Andes 1365. Obtenido de <http://www.inia.org.uy>

- Blanco, P. D. (2018). *Aplicación de diferentes dosis de humus de lombriz en el cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum Miller) variedad cherry en ambientes atemperados en el municipio de el Alto*. Facultad de Agronomía, carrera Ingeniería Agronómica, Universidad Mayor de San Andrés-El Alto, Bolivia.
- Blanco, M. E. (2007). *Aplicación de abono líquido en el cultivo ecológico de tomate (Lycopersicon esculentum Miller), variedad cherry en condiciones de campo Tesis de grado Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica*. La Paz.
- Blanco, W. (s.f). *Generalidades sobre la lombriz, infraestructura, alimentación, reproducción, manejo, humus de lombriz, propiedades y dosis en cultivos*. La Paz, Bolivia.
- Brick, S., & Wisconsin, M. (2010). *Biochar: Assessing the promise and risks to guide U.S policy* NRDC Issue Paper. Obtenido de <http://www.nrdc.org/energy/files/biochar>.
- Cala, C. (2004). *Efecto de la materia orgánica líquida en sistemas de policultivo con tomate. Tesis UMSA. Facultad de agronomía*. La Paz- Bolivia.
- Carchuna. (2003). *Tomate Cherry*. Obtenido de <http://www.carchuna-spa.com/comercio.htm>.
- Cheng, C., Lehmann, J., Thies, J., Burton, S., & Engelhard, M. (2006). *Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes*, "Organic Geochemistry.
- Chilon, E. (Mayo-Agosto de 2018). *Heurística del compost Altoandino, hallazgos científicos y su contribucion al paradigma "Suelo Vivo"*. *Apthapi*, 20. Obtenido de www.ibepa.org.
- Chilon, E. (1997). *Fertilidad de Suelos y Nutrición de Plantas*. CIDAT, Facultad de Agronomía UMSA.

- Constitucion Política del Estado. (2009). *Desarrollo Rural Integral Sustentable*. La Paz. Obtenido de <https://www.oas.org>
- Cussianovich, P. (2001). *Una aproximación a la agricultura orgánica*. *Comunica*, 1.
- Disagro. (27 de Agosto de 2004). *El cultivo de tomate. Plan de manejo para el cultivo del tomate*. Obtenido de <http://www.disagro.com>
- Escalante, A., Perez Lopez, G., Hidalgo Moreno, C., Lopez Collado, J., Campos Alves, J., Valtierra Pacheco, E., & Etchevers Bara, J. (2015). Biocarbon(biochar) I: *Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo*. *Revista Terra Latinoamericana* 34:367-382.
- FAO. (2013). *El cultivo de tomate con buenas prácticas agrícolas en la agricultura urbana y periurbana*.
- FAO(Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2022). *Propiedades químicas Capacidad de Intercambio Cationico (CIC)*. Obtenido de <https://www.fao.org>
- Fiallos, L. R., Flores Mancheno, L. G., Duchí, N., Flores, C. I., Baño Ayala, D., & Estrada Orozco, L. (2015). *Restauración Ecológica del suelo aplicando biochar/ carbon vegetal), y su efecto en la producción de Medcago sativa*. *revista Ciencia y Agricultura*, 15-16.
- Fornaris, G. (2007). *Cosecha y manejo postcosecha*. 16. Obtenido de <https://www.uprm.edu>
- Futurcrop. (12 de septiembre de 2019). *Guia para la Identificación de plagas y enfermedades del tomate*. *FuturCrop*, 5. Obtenido de <https://futurcrop.com>
- Garcia, C., & Felix, J. A. (2014). *Manual para la producción de abonos orgánicos y biorracionales*. Culiacan-México.

- Gosalbez, C. (20 de julio de 2012). *Que es el humus de lombriz*. Obtenido de www.planetahuerto.es
- Goykovic Cortés, V., & Saavedra del Real, G. (Diciembre de 2007). *Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo* Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Tarapacá. *IDESIA*, 25, 2.
- Guerra, P. (2014). *Producción y caracterización de Biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía Peuana*. Tesis de grado.
- Hayes, D. (2009). *An examination of biorefining processes, catalysts and challenges* *Catalysis Today*.
- Hernandez, A. (2009). *Producción y calidad de semilla de tomate cherry (Solanum lycopersicum var Cerasifome) obtenida en macrotuneles con mallas fotoselectivas*. Coahuila, Mexico.
- Herrera, H., Hurtado, A., & Ceballos, N. (julio de 2015). *Estudio Técnico y económico del tomate cereza elite (Solanum Lycopersicum L. var cerasiforme) bajo condiciones semicontroladas*. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*.
- Hortoinfo. (29 de diciembre de 2017). *Holanda produce por metro cuadrado casi un 500 por cien más tomate que España, un 400 por cien más que Almería*. Record Histórico en la producción mundial de tomate, superando los 177.000 millones de kilos. Obtenido de www.hortoinfo.es
- Huertoteca. (7 de diciembre de 2016). *Cuando se recomienda plantar tomates*. Obtenido de <https://lahuertoteca.es>
- Iglesias, S. F. (2018). *Aplicación de biochar a partir de biomasa residual de eucalipto para evaluar la productividad con maíz en el austro ecuatoriano*. Lima Perú.
- Infoagro. (2005). *El cultivo de Tomate (3ra parte)*. Obtenido de www.infoagro.com

- Infoagro. (2010). *Primera cosecha de tomate cherry*. Obtenido de www.infoagro.com
- Infoagro. (2018). *El cultivo del tomate (1ª parte)*. InfoAgro, 4-5.
- Infoagro.com. (2012). agroinformación, *El cultivo del tomate 1ra parte*. Infoagro.
- Inforjardin. (2020). Cultivo de tomate. *Tomate, tomatara, jitomate*. Obtenido de fichas.ifojardin.com
- Instituto Nacional de Estadística INE. (21 de julio de 2017). *Producción de papa, tomate y cebolla en Bolivia es mayor a su importación*. *Página Siete*, pág. 1. Obtenido de <https://www.ine.gob.bo>
- Ippolito, J. A., Lentz, R., Novak, M. J., Spokas, K. A., Collins, H. P., & Streubel, J. (2011). *Biochar usage: Pros and cons*. *Western Nutrient Management Conference*. NV, USA.
- Jaramillo, J., Rodríguez, V., Guzmán, M., Zapata, M., & Rengifo, T. (2007). *Manual Técnico: Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción de Tomate Bajo Condiciones Protegidas*. Medellín-Colombia.
- Julca, A., Meneses, L., Blas, R., & Bello, S. (2006). *La materia orgánica y experiencia de uso en la agricultura*- Universidad Nacional Agraria La Molina. *SciELO*, 3.
- Kolton, M., Meller, Y., Pastrnak, Z., Graber, E., Elad, Y., & Cytryn, E. (2011). *Impact of Biochar Application to Soil on the Root-Associated Bacterial Community Structure of Fully Developed Greenhouse Pepper Plants*. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(14). Obtenido de <https://doi.org/10.1128/AEM.00148-11>
- Kuti, J., & Konuru, H. (2005). *Effects of genotype and cultivation environment on lycopene content in red-ripe tomatoes*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
- La vanguardia. (09 de septiembre de 2020). *Tomate: propiedades, beneficios y valor nutricional*. *Comer*, pág. 3.

- Laboratorio de la facultad de Agronomía en suelos y aguas (LAFASA). (2021). Analisis quimico y fisico del suelo.
- laboratorio de la Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Instituto de Ecología, Laboratorio de Calidad Ambiental LCA. (2021). Análisis químico del biochar.
- Layme, V. B. (2005). *Aplicación de abono diluido de gallinaza en el cultivo de tomate(Lycopersicum sculentum), bajo ambientes protegidos en Achocalla*. Facultad de Agronomía, carrera Ingeniería Agronómica. Universidad Mayor de San Andrés- La Paz, Bolivia.
- Lehmann, J., & Stephen, J. (2009). *Biochar para la gestión Medio Ambiental*. Londres, Reino Unido: Earthscan.
- Lombricultivos. (6 de Octubre de 2012). *Características lombriz roja californiana*.
- Mapbox. (2016).
- Martínez , M. T., Rodriguez, J. E., Cruz, O., & Colinas, M. T. (2018). *Rendimiento y calidad fisicoquimica en lineas experimentales de Solanum lycopersicum var cerasiforme cultivadas con diferentes niveles de conductividad electrica*. Chihuahua,Mexico.
- Martínez, C. (18 de mayo de 2020). *Como interpretar análisis de suelos*.
- Martínez, M., Torrez, M., Guzman, C., & Maestri, D. (2006). *Praparation and characteristic of actived carbon from stones and walnut shells*. Industrial Crops and Products.
- Martínez, S. (2007). *Conjunto Tecnológico para la Producción de Tomate Suelo y Preparación del Terreno Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez Colegio de Ciencias Agrícolas Estación Experimental Agrícola*. Mayaguez.
- MDRyT Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural- Estado Plurinacional de Bolivia. (2013). *Producción de tomate*.

- Molina D, J. (2016). *Hábitos alimentarios saludables y su legislación en Bolivia*. Cochabamba-Bolivia. Obtenido de <http://www.scielo.or.bo>
- Molina, E. (8 de enero de s.f). *Fertilización del tomate*. Centro de Investigación Agronómicas Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Obtenido de <https://www.cia.ucr.ac.cr>
- Monardes, H. (2009). Manual del cultivo de tomate (*Lycopersicon sculentum* Mill): Características Botánicas. Chile. Obtenido de http://www.cepoc.uchi.cl/pdfmanua_Cultivo_tomate.pdf
- Montes de Oca Rodriguez, J. (09 de Junio de 2011). El Cherry: la conquista del más pequeño y dulce de los tomates. *Canales sectoriales Interempresas*, pág. 2. Obtenido de <https://www.interempresas.net>
- Navarro, D. (2006). Como cultivar tomates cherry en macetas. *El buen jardinero*. Obtenido de www.pinterest.at
- Orellana, R., & Pacheco, D. (20 de noviembre de 20012). Bolivia: Ley de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para el Vivir Bien. *Nature Rights Watch*. Obtenido de <https://naturerightswatch.com>
- Oses Orbegozo, A. (2012). *Efectos de la aplicación de biochar en el modelo jerárquico de agregación de un suelo forestal bajo condiciones oceánicas*. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona.
- Paco, D. (2012). *Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta*. Barcelona.
- Pato, S. (25 de febrero de 2021). Trucos para cultivar tomates chery en casa. *Flores y plantas*, pág. 2. Obtenido de <https://www.publico.es>
- Pérez, J. (16 de mayo de 2013). *Podar las tomateras. Facil y sencillo-You Tube*. Obtenido de <https://m.youtubr.com>

- Porcel, M. (04 de marzo de 2015). Producción de Tomates Orgánicos en Chorety- Santa Cruz. *Economía Ambiental*. Obtenido de <https://es.scribd.com>
- Ramos A, D., & Terry A, E. (diciembre de 2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Scielo*, 2. Obtenido de <http://scielo.sld.cu>
- Reyes, K. (12 de Febrero de 2016). Invernadero capilla a dos aguas. *Prezi*, 13. Obtenido de <https://prezi.com>
- Rodríguez, N., Cano Rios, P., Figueroa, U., Favela, E., Moreno, A., Marquez, C., . . . Preciado, P. (2009). *Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. Terra Latinoamericana* (Vol. vol.27). Obtenido de <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp>
- Rosales, M. (2008). *Produccion de tomate cherry cultivados en dos invernaderos mediterraneos experimentales: respuestas metabólicas y fisiológicas*. Granada.
- Sadaka, S. (2013). *Gasification of raw and torrefied cotton gin wastes in an auger system,* *Applied Engineering in Agriculture* 29(3).
- Saire, G. (2006). *Adición de carbón vegetal e incremento del porcentaje de sorgo (Sorghum bicolor,L), en la racion de pollos parrilleros para la etapa de acabado*. Cochabamba, Bolivia.
- Shaaban, A., Meng Se, S., Merry M, N., & Dimin, M. (2013). Characterization of biochar derived from rubber wood sawdust through slow pyrolysis on surface porosities and functional groups-Faculty of Manufacturing Engineering, Universiti Teknikal Malaysia Melaka. *Elsevier*, 68, 3. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.12.193>
- Sohi, S., Lopez, E., Krull, E., & Bol, R. (05 de septiembre de 2009). Biochar-s roles in soil and climate changer. *Csiro Land and Water Sciense*, 64.

- Soto Canales, H. (2015). *Cultivo del tomate tipo cereza(Solanum lycopersicum L. var.cerasiforme) bajo condiciones hidroponicas*. Lima-Peru.
- Stock. (2019). *Ciclo de vida de la planta tomate cherry. Etapas de crecimiento desde semilla hasta la planta de floración y fructificación con tomates rojos maduros*.
- Syngenta;. (2021). *Cladosporiosis- Enfermedades del tomate*. Obtenido de <https://www.syngenta.es>
- Tencela, X. (2012). *Producción de humus de lombriz mediante el aprovechamiento y manejo de los residuos orgánicos- universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Agropecuarias*. Cuenca-Ecuador. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec>
- Testa, R., Trapani , F., & Tudisca, S. (2014). *Economic sustainability of italian greenhouse cherry tomato*.
- Tjalling, H. (2006). *Guía de Manejo Nutrición Vegetal de Especialidad*. Yara- Noruega. Obtenido de <https://www.sqm-vitas.com>
- Torres, G., Ortiz, O., Ubalde, J., Sort, X., & Alcañiz, J. (28 de mayo de 2012). El biocarbon (biochar): una forma de secuestrar carbono y de transferir menos contaminantes al subsuelo y acuíferos. Obtenido de <https://www.researchgate.net>
- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A., Van der Velde, M., & Diafas, I. (2009). *Biochar Application to soil-A critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions*. Luxemburgo: EUR 24099 EN, Office for the official publications.
- Zamora, E. (Agosto de 2016). Algunas fisiopatías de frutos, tallos y hojas en cultivos protegidos. *Cultivos ProtegidosHORT-CP-001*, 15. Obtenido de <https://dagus.unison.mx>
- Zheng, H., Herbert, s., Wang, Z., Deng, X., & Xiang, B. (2013). *Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil*.


ANEXOS

ANEXO 1. REGISTRO DATOS DE TEMPERATURA


| | Nov | Diciembre | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo |
|----------------------|------|-----------|-------|---------|-------|-------|-------|
| Temperatura promedio | 20,1 | 25,8 | 24,3 | 22,2 | 24,2 | 23,3 | 25,7 |
| Temperatura máxima | 31,5 | 38,54 | 37,85 | 34,8 | 37,4 | 36,42 | 38,25 |
| Temperatura mínima | 8,7 | 13,2 | 10,64 | 9,6 | 11 | 10,24 | 13,16 |

ANEXO 2. ANÁLISIS DE LABORATORIO

Resultados de análisis físico- químico del suelo



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
 CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
 LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
 EN SUELOS Y AGUAS (LAFASA)

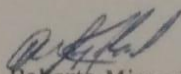


ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

INTERESADO: Maribel Fuentes Córdova **SOLICITUD:** COT-9
PROCEDENCIA: Departamento La Paz **FECHA DE ENTREGA:** 09/10/20
 Provincia Murillo
 Estación Experimental de Cota Cota

**EFFECTO DEL BIOCHAR Y NIVELES DE HUMUS DE LOMBRIZ EN EL
 COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DEL TOMATE (*Lycopersicum esculentum*
 Miller) VARIEDAD CHERRY BAJO AMBIENTE PROTEGIDO EN EL CENTRO
 EXPERIMENTAL COTA COTA**

| PARAMETRO | | UNIDAD | RESULTADO | MÉTODO |
|--|----------------|-------------------|-----------|--|
| TEXTURA | Arena | % | 30 | Bouyoucos |
| | Limo | % | 61 | |
| | Arcilla | % | 9 | |
| | Clase Textural | - | Franco | |
| Densidad Aparente | | g/cm ³ | 0.909 | Probeta |
| pH en H₂O relación 1:5 | | - | 5.67 | Potenciometría |
| Conductividad eléctrica en agua 1:5 | | mmho/cm | 0.29 | Potenciometría |
| Calcio intercambiable | | meq/100g S. | 1.78 | Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica) |
| Magnesio intercambiable | | meq/100g S. | 0.53 | Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica) |
| Sodio intercambiable | | meq/100g S. | 0.32 | Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica) |
| Potasio intercambiable | | meq/100g S. | 0.79 | Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica) |
| Nitrógeno total | | % | 0.38 | Kjendahl |
| Materia orgánica | | % | 9.02 | Walkley y Black |
| Carbono Orgánico | | % | 5.23 | Walkley y Black |
| Fósforo disponible | | ppm | 13.40 | Espectrofotometría UV-Visible |


 Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS

Análisis químico del biochar

Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ciencias Puras y Naturales
Instituto de Ecología
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: MO 20/20

Página 2 de 2

INFORME DE ENSAYO EN BIOCHAR MO 20/21

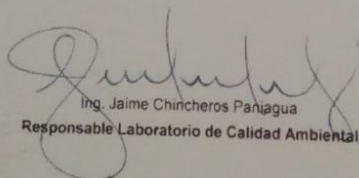
| | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Solicitante | Tesista: Maribel Fuentes Córdova |
| Entidad: | AGRONOMÍA UMSA |
| Dirección del cliente | Bajo Seguencoma, C/Trigal, Nro. 149 |
| Procedencia de la muestra: | Centro Experimental Cota Cota |
| | Departamento: La Paz |
| Punto de muestreo: | Estación Experimental de Cota Cota |
| Responsable del muestreo: | Sra. Maribel Fuentes Córdova |
| Fecha de muestreo: | 14 de octubre de 2020 |
| Hora de muestreo: | 14:15 |
| Fecha de recepción de la muestra: | 14 de octubre de 2020 |
| Fecha de ejecución del ensayo: | Del 14 al 29 de octubre 2020 |
| Caracterización de la muestra: | Carbon de eucalipto |
| Tipo de muestra: | Simple |
| Envase: | Bolsa Plástica |
| Código LCA: | 20-2 |
| Código original: | 2- Biochar |

Resultado de Análisis

| Parámetro | Método | Unidad | Limite de determinación | 2- Biochar 20-2 |
|-------------------------|-------------------------------------|--------|-------------------------|-----------------|
| pH acuoso | ISRIC 4 | | 1-14 | 7,6 |
| Conductividad eléctrica | ASPT 6 | µS/cm | 1,0 | 703 |
| Calcio total | Microwave Reaction System/EPA 215.1 | mg/kg | 8,0 | 21247 |
| Fósforo total | Método calcinación/ASPT 91 | mg/kg | 0,40 | 713 |
| Materia Orgánica | Calcinación | % | 5,0 | 85 |
| Magnesio total | Microwave Reaction System/EPA 243.1 | mg/kg | 8,0 | 3441 |
| Nitrógeno total | ASPT-88 | % | 0,0030 | 0,45 |
| Potasio total | Microwave Reaction System/EPA 258.1 | mg/kg | 8,0 | 3994 |

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Noviembre 04 de 2020


Ing. Jaime Chircheros Paniagua
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



CC: CASH
JCH/CA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf/Fax: 2772522
Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Análisis químico del humus de lombriz



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
EN SUELOS Y AGUAS (LAFASA)

LAFASA



Laboratorio de la
Facultad de Agronomía
en Suelos y Aguas


ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE HUMUS DE LOMBRIZ

INTERESADO: Maribel Fuentes Córdova **SOLICITUD:** COT-9
PROCEDENCIA: Departamento La Paz **FECHA DE ENTREGA:** 09/10/20
Provincia Murillo
Estación Experimental de Cota Cota

**EFFECTO DEL BIOCHAR Y NIVELES DE HUMUS DE LOMBRIZ EN EL
COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DEL TOMATE (*Lycopersicon esculentum*
Miller) VARIEDAD CHERRY BAJO AMBIENTE PROTEGIDO EN EL CENTRO
EXPERIMENTAL COTA COTA**

| PARAMETRO | UNIDAD | RESULTADO | MÉTODO |
|-------------------------------------|-------------------|-----------|---|
| Densidad Aparente | g/cm ³ | 0.702 | Probeta |
| pH en H ₂ O relación 1:5 | - | 7.47 | Potenciometría |
| Conductividad eléctrica en agua 1:5 | mmho/cm | 5.55 | Potenciometría |
| Potasio | % | 0.03 | Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica) |
| Nitrógeno total | % | 1.02 | Kjendahl |
| Materia orgánica | % | 20.95 | Walkley y Black |
| Carbono Orgánico | % | 12.15 | Walkley y Black |
| Fósforo | % | 0.1 | Espectrofotometría UV- Visible |




Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS

ANEXO 3. PROMEDIO DE VARIABLES DE RESPUESTA REGISTRADAS

Efecto del biochar y niveles de humus de lombriz en el comportamiento productivo del tomate variedad Cherry

| | | | | | Numero de variables de repuesta | | | | | | | |
|-------------------|----|-----------------|------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------|--------|-------|-------|--------|------|---|
| .. | N° | Trat. | Factor A | Factor B | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | | | Aplicación del Biochar | Nivel de humus de lombriz | AP | DT | DAF | DAC | DF | PF | R/P | R |
| BLOQUE I | T1 | Sin biochar | 0 | 102,81 | 6,68 | 56,5 | 137,4 | 23,2 | 7,5 | 367,46 | 1,84 | |
| | T2 | Sin biochar | 1,50% | 169,24 | 10,07 | 49,43 | 121,5 | 23,6 | 7,21 | 393,62 | 1,97 | |
| | T3 | Sin biochar | 2% | 166,38 | 10,04 | 42,51 | 116,35 | 22,3 | 7,48 | 558,72 | 2,8 | |
| | T4 | Con bichar 1,5% | 0 | 78,84 | 6,33 | 63,32 | 158,24 | 22,42 | 7,13 | 424,87 | 2,12 | |
| | T5 | Con bichar 1,5% | 1,50% | 153,22 | 9,41 | 49,43 | 137,13 | 26,73 | 8,51 | 705,12 | 3,52 | |
| | T6 | Con bichar 1,5% | 2% | 171,39 | 9,52 | 42,51 | 121,5 | 28,35 | 10,75 | 815,7 | 4,08 | |
| BLOQUE II | T1 | Sin biochar | 0 | 118,75 | 7,69 | 63,32 | 144,5 | 22,75 | 7,13 | 352,54 | 1,76 | |
| | T2 | Sin biochar | 1,50% | 175,65 | 9,41 | 49,43 | 116,35 | 23,36 | 7,45 | 363,91 | 1,82 | |
| | T3 | Sin biochar | 2% | 180,21 | 9,88 | 42,51 | 121,5 | 22,2 | 7,15 | 468,84 | 2,34 | |
| | T4 | Con bichar 1,5% | 0 | 131,23 | 7,67 | 49,43 | 137,13 | 26,31 | 7,55 | 370,24 | 1,85 | |
| | T5 | Con bichar 1,5% | 1,50% | 186,33 | 10,92 | 42,51 | 116,35 | 27,7 | 9,32 | 794,75 | 3,77 | |
| | T6 | Con bichar 1,5% | 2% | 181,17 | 9,41 | 42,51 | 120,22 | 24,31 | 7,94 | 651,51 | 3,26 | |
| BLOQUE III | T1 | Sin biochar | 0 | 120,48 | 7,46 | 63,32 | 137,4 | 24,21 | 7,25 | 366,46 | 1,83 | |
| | T2 | Sin biochar | 1,50% | 172,92 | 10,07 | 49,43 | 121,5 | 23,98 | 7,81 | 425,65 | 2,13 | |
| | T3 | Sin biochar | 2% | 179,38 | 10,1 | 42,51 | 116,35 | 22,5 | 7,25 | 519,53 | 2,6 | |
| | T4 | Con bichar 1,5% | 0 | 115,57 | 7,73 | 56,5 | 137,13 | 22,52 | 7,14 | 346,31 | 1,73 | |
| | T5 | Con bichar 1,5% | 1,50% | 166,12 | 9,53 | 49,43 | 116,35 | 25,04 | 8,35 | 610,25 | 3,05 | |
| | T6 | Con bichar 1,5% | 2% | 156,24 | 10,44 | 42,51 | 116,35 | 27,62 | 8,94 | 713,55 | 3,58 | |

AP=Altura de la planta (cm); DT= Diámetro del tallo (mm); DAF= Días a la floración; DAC= Días a la cosecha; DF= Diámetro del fruto (mm); PF= Peso del fruto (g); R/P= Rendimiento por planta (g); R= Rendimiento (kg/m²).

ANEXO 4.

Variable altura de la planta

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|-----|
| Y | 18 | 1,0 | 0,9 | 6,7 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor | (Error) |
|----------|---------|----|--------|---------|---------|------------|
| Modelo | 16473,4 | 9 | 1830,4 | 17,8 | 0,0002 | |
| Bloque | 1441,2 | 2 | 720,6 | 3,7 | 0,2118 | (Bloque*A) |
| A | 116,1 | 1 | 116,1 | 0,6 | 0,5198 | (Bloque*A) |
| Bloque*A | 387,2 | 2 | 193,6 | 1,9 | 0,2133 | |
| B | 14526,5 | 2 | 7263,2 | 70,8 | <0,0001 | |
| A*B | 2,4 | 2 | 1,2 | 1,2E-02 | 0,9882 | |
| Error | 821,3 | 8 | 102,7 | | | |
| Total | 17294,7 | 17 | | | | |

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 193,6191 gl: 2

| A | Medias | n | E.E. |
|-------------|--------|---|-------|
| Sin biochar | 154,0 | 9 | 4,6 A |
| Con biochar | 148,9 | 9 | 4,6 A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 102,6599 gl: 8

| B | Medias | n | E.E. |
|-------|--------|---|-------|
| 2% | 172,5 | 6 | 4,1 A |
| 1,50% | 170,6 | 6 | 4,1 A |
| 0% | 111,3 | 6 | 4,1 B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 102,6599 gl: 8

| A | B | Medias | n | E.E. |
|-------------|-------|--------|---|-------|
| Sin biochar | 2% | 175,3 | 3 | 5,8 A |
| Sin biochar | 1,50% | 172,6 | 3 | 5,8 A |
| Con biochar | 2% | 169,6 | 3 | 5,8 A |
| Con biochar | 1,50% | 168,6 | 3 | 5,8 A |
| Sin biochar | 0% | 114,0 | 3 | 5,8 B |
| Con biochar | 0% | 108,5 | 3 | 5,8 B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Variable diámetro del tallo

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| Y | 18 | 0,92 | 0,83 | 6,25 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor | (Error) |
|----------|-------|----|-------|-------|---------|------------|
| Modelo | 29,60 | 9 | 3,29 | 10,35 | 0,0016 | |
| Bloque | 1,08 | 2 | 0,54 | 1,95 | 0,3386 | (Bloque*A) |
| A | 0,01 | 1 | 0,01 | 0,04 | 0,8620 | (Bloque*A) |
| Bloque*A | 0,55 | 2 | 0,28 | 0,87 | 0,4549 | |
| B | 27,88 | 2 | 13,94 | 43,84 | <0,0001 | |
| A*B | 0,08 | 2 | 0,04 | 0,12 | 0,8871 | |
| Error | 2,54 | 8 | 0,32 | | | |
| Total | 32,15 | 17 | | | | |

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,2768 gl: 2

| A | Medias | n | E.E. |
|-------------|--------|---|--------|
| Sin biochar | 9,04 | 9 | 0,18 A |
| Con biochar | 9,00 | 9 | 0,18 A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,3179 gl: 8

| B | Medias | n | E.E. |
|-------|--------|---|--------|
| 1,50% | 9,90 | 6 | 0,23 A |
| 2% | 9,90 | 6 | 0,23 A |
| 0% | 7,26 | 6 | 0,23 B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,3179 gl: 8

| A | B | Medias | n | E.E. |
|-------------|-------|--------|---|--------|
| Sin biochar | 2% | 10,01 | 3 | 0,33 A |
| Con biochar | 1,50% | 9,95 | 3 | 0,33 A |
| Sin biochar | 1,50% | 9,85 | 3 | 0,33 A |
| Con biochar | 2% | 9,79 | 3 | 0,33 A |
| Sin biochar | 0% | 7,28 | 3 | 0,33 B |
| Con biochar | 0% | 7,24 | 3 | 0,33 B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Variable días a la floración

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| y | 18 | 0,93 | 0,84 | 6,10 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor | (Error) |
|----------|---------|----|--------|-------|---------|------------|
| Modelo | 936,91 | 9 | 104,10 | 11,25 | 0,0012 | |
| bloque | 21,75 | 2 | 10,87 | 0,34 | 0,7453 | (bloque*A) |
| A | 24,06 | 1 | 24,06 | 0,76 | 0,4762 | (bloque*A) |
| bloque*A | 63,62 | 2 | 31,81 | 3,44 | 0,0837 | |
| B | 811,41 | 2 | 405,70 | 43,84 | <0,0001 | |
| A*B | 16,08 | 2 | 8,04 | 0,87 | 0,4556 | |
| Error | 74,04 | 8 | 9,26 | | | |
| Total | 1010,95 | 17 | | | | |

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 31,8107 gl: 2

| A | Medias | n | E.E. |
|-------------|--------|---|--------|
| Con biochar | 48,68 | 9 | 1,88 A |
| Sin biochar | 51,00 | 9 | 1,88 A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 9,2551 gl: 8

| B | Medias | n | E.E. |
|-------|--------|---|--------|
| 2% | 42,51 | 6 | 1,24 A |
| 1,50% | 48,28 | 6 | 1,24 B |
| 0% | 58,73 | 6 | 1,24 C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 9,2551 gl: 8

| A | B | Medias | n | E.E. |
|-------------|-------|--------|---|----------|
| Sin biochar | 2% | 42,51 | 3 | 1,76 A |
| Con biochar | 2% | 42,51 | 3 | 1,76 A |
| Con biochar | 1,50% | 47,12 | 3 | 1,76 A B |
| Sin biochar | 1,50% | 49,43 | 3 | 1,76 B |
| Con biochar | 0% | 56,42 | 3 | 1,76 C |
| Sin biochar | 0% | 61,05 | 3 | 1,76 C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Variable días a la cosecha

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| Y | 18 | 0,92 | 0,84 | 3,95 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor | (Error) |
|----------|---------|----|--------|-------|---------|------------|
| Modelo | 2448,43 | 9 | 272,05 | 10,75 | 0,0014 | |
| bloque | 201,90 | 2 | 100,95 | 0,77 | 0,5666 | (bloque*A) |
| A | 42,17 | 1 | 42,17 | 0,32 | 0,6288 | (bloque*A) |
| bloque*A | 263,90 | 2 | 131,95 | 5,21 | 0,0355 | |
| B | 1932,79 | 2 | 966,40 | 38,18 | 0,0001 | |
| A*B | 7,67 | 2 | 3,84 | 0,15 | 0,8618 | |
| Error | 202,51 | 8 | 25,31 | | | |
| Total | 2650,94 | 17 | | | | |

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 131,9519 gl: 2

| A | Medias | n | E.E. |
|-------------|--------|---|--------|
| Sin biochar | 125,87 | 9 | 3,83 A |
| Con biochar | 128,93 | 9 | 3,83 A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 25,3136 gl: 8

| B | Medias | n | E.E. |
|-------|--------|---|--------|
| 2% | 118,71 | 6 | 2,05 A |
| 1,50% | 121,53 | 6 | 2,05 A |
| 0% | 141,97 | 6 | 2,05 B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 25,3136 gl: 8

| A | B | Medias | n | E.E. |
|-------------|-------|--------|---|--------|
| Sin biochar | 2% | 118,07 | 3 | 2,90 A |
| Con biochar | 2% | 119,36 | 3 | 2,90 A |
| Sin biochar | 1,50% | 119,78 | 3 | 2,90 A |
| Con biochar | 1,50% | 123,28 | 3 | 2,90 A |
| Sin biochar | 0% | 139,77 | 3 | 2,90 B |
| Con biochar | 0% | 144,17 | 3 | 2,90 B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Variable número de frutos por planta

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| Y | 18 | 0,92 | 0,83 | 9,63 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor | (Error) |
|----------|---------|----|---------|-------|---------|------------|
| Modelo | 3544,67 | 9 | 393,85 | 10,33 | 0,0016 | |
| Bloque | 11,44 | 2 | 5,72 | 0,18 | 0,8472 | (Bloque*A) |
| A | 470,22 | 1 | 470,22 | 14,82 | 0,0613 | (Bloque*A) |
| Bloque*A | 63,44 | 2 | 31,72 | 0,83 | 0,4697 | |
| B | 2362,11 | 2 | 1181,06 | 30,97 | 0,0002 | |
| A*B | 637,44 | 2 | 318,72 | 8,36 | 0,0110 | |
| Error | 305,11 | 8 | 38,14 | | | |
| Total | 3849,78 | 17 | | | | |

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 31,7222 gl: 2

| A | Medias | n | E.E. |
|-------------|--------|---|--------|
| Con biochar | 69,22 | 9 | 1,88 A |
| Sin biochar | 59,00 | 9 | 1,88 A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 38,1389 gl: 8

| B | Medias | n | E.E. |
|-------|--------|---|--------|
| 2% | 75,67 | 6 | 2,52 A |
| 1,50% | 68,17 | 6 | 2,52 A |
| 0% | 48,50 | 6 | 2,52 B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 38,1389 gl: 8

| A | B | Medias | n | E.E. |
|-------------|-------|--------|---|--------|
| Con biochar | 1,50% | 81,67 | 3 | 3,57 A |
| Con biochar | 2% | 76,00 | 3 | 3,57 A |
| Sin biochar | 2% | 75,33 | 3 | 3,57 A |
| Sin biochar | 1,50% | 54,67 | 3 | 3,57 B |
| Con biochar | 0% | 50,00 | 3 | 3,57 B |
| Sin biochar | 0% | 47,00 | 3 | 3,57 B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Variable diámetro del fruto

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| Y | 18 | 0,71 | 0,38 | 6,70 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor | (Error) |
|----------|-------|----|-------|-------|---------|------------|
| Modelo | 51,42 | 9 | 5,71 | 2,14 | 0,1485 | |
| Bloque | 0,06 | 2 | 0,03 | 0,02 | 0,9775 | (Bloque*A) |
| A | 29,13 | 1 | 29,13 | 21,69 | 0,0431 | (Bloque*A) |
| Bloque*A | 2,69 | 2 | 1,34 | 0,50 | 0,6224 | |
| B | 6,96 | 2 | 3,48 | 1,30 | 0,3234 | |
| A*B | 12,58 | 2 | 6,29 | 2,36 | 0,1566 | |
| Error | 21,34 | 8 | 2,67 | | | |
| Total | 72,77 | 17 | | | | |

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 1,3431 gl: 2

| A | Medias | n | E.E. |
|-------------|--------|---|--------|
| Con biochar | 25,67 | 9 | 0,39 A |
| Sin biochar | 23,12 | 9 | 0,39 B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 2,6678 gl: 8

| B | Medias | n | E.E. |
|-------|--------|---|--------|
| 1,50% | 25,07 | 6 | 0,67 A |
| 2% | 24,55 | 6 | 0,67 A |
| 0% | 23,57 | 6 | 0,67 A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 2,6678 gl: 8

| A | B | Medias | n | E.E. |
|-------------|-------|--------|---|------------|
| Con biochar | 2% | 26,76 | 3 | 0,94 A |
| Con biochar | 1,50% | 26,49 | 3 | 0,94 A B |
| Con biochar | 0% | 23,75 | 3 | 0,94 A B C |
| Sin biochar | 1,50% | 23,65 | 3 | 0,94 A B C |
| Sin biochar | 0% | 23,39 | 3 | 0,94 B C |
| Sin biochar | 2% | 22,33 | 3 | 0,94 C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Variable peso del fruto

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| Y | 18 | 0,74 | 0,44 | 9,24 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor | (Error) |
|----------|-------|----|------|-------|---------|------------|
| Modelo | 11,87 | 9 | 1,32 | 2,49 | 0,1070 | |
| Bloque | 0,42 | 2 | 0,21 | 1,17 | 0,4615 | (Bloque*A) |
| A | 4,91 | 1 | 4,91 | 27,18 | 0,0349 | (Bloque*A) |
| Bloque*A | 0,36 | 2 | 0,18 | 0,34 | 0,7211 | |
| B | 3,28 | 2 | 1,64 | 3,09 | 0,1012 | |
| A*B | 2,90 | 2 | 1,45 | 2,73 | 0,1247 | |
| Error | 4,24 | 8 | 0,53 | | | |
| Total | 16,11 | 17 | | | | |

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,1806 gl: 2

| A | Medias | n | E.E. |
|-------------|--------|---|--------|
| Con biochar | 8,40 | 9 | 0,14 A |
| Sin biochar | 7,36 | 9 | 0,14 B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,5302 gl: 8

| B | Medias | n | E.E. |
|-------|--------|---|--------|
| 2% | 8,25 | 6 | 0,30 A |
| 1,50% | 8,11 | 6 | 0,30 A |
| 0% | 7,28 | 6 | 0,30 A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,5302 gl: 8

| A | B | Medias | n | E.E. |
|-------------|-------|--------|---|----------|
| Con biochar | 2% | 9,21 | 3 | 0,42 A |
| Con biochar | 1,50% | 8,73 | 3 | 0,42 A B |
| Sin biochar | 1,50% | 7,49 | 3 | 0,42 B |
| Sin biochar | 2% | 7,29 | 3 | 0,42 B |
| Sin biochar | 0% | 7,29 | 3 | 0,42 B |
| Con biochar | 0% | 7,27 | 3 | 0,42 B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Variable rendimiento por planta

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| Y | 18 | 0,95 | 0,89 | 10,58 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor | (Error) |
|----------|-----------|----|-----------|-------|---------|------------|
| Modelo | 425642,67 | 9 | 47293,63 | 15,99 | 0,0003 | |
| Bloque | 8358,20 | 2 | 4179,10 | 1,03 | 0,4924 | (Bloque*A) |
| A | 145003,69 | 1 | 145003,69 | 35,77 | 0,0268 | (Bloque*A) |
| Bloque*A | 8107,16 | 2 | 4053,58 | 1,37 | 0,3077 | |
| B | 198547,97 | 2 | 99273,99 | 33,57 | 0,0001 | |
| A*B | 65625,65 | 2 | 32812,82 | 11,10 | 0,0049 | |
| Error | 23656,75 | 8 | 2957,09 | | | |
| Total | 449299,43 | 17 | | | | |

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 4053,5796 gl: 2

| A | Medias | n | E.E. |
|-------------|--------|---|---------|
| Con biochar | 603,59 | 9 | 21,22 A |
| Sin biochar | 424,08 | 9 | 21,22 B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 2957,0942 gl: 8

| B | Medias | n | E.E. |
|-------|--------|---|---------|
| 2% | 621,31 | 6 | 22,20 A |
| 1,50% | 548,88 | 6 | 22,20 B |
| 0% | 371,31 | 6 | 22,20 C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 2957,0942 gl: 8

| A | B | Medias | n | E.E. |
|-------------------|--------|--------|---------|------|
| Con biochar 2% | 726,92 | 3 | 31,40 A | |
| Con biochar 1,50% | 703,37 | 3 | 31,40 A | |
| Sin biochar 2% | 515,70 | 3 | 31,40 B | |
| Sin biochar 1,50% | 394,39 | 3 | 31,40 C | |
| Con biochar 0% | 380,47 | 3 | 31,40 C | |
| Sin biochar 0% | 362,15 | 3 | 31,40 C | |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Variable rendimiento kg/m²

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| Y | 18 | 0,96 | 0,91 | 9,11 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor | (Error) |
|----------|-------|----|------|-------|---------|------------|
| Modelo | 10,30 | 9 | 1,14 | 21,08 | 0,0001 | |
| Bloque | 0,24 | 2 | 0,12 | 1,41 | 0,4152 | (Bloque*A) |
| A | 3,44 | 1 | 3,44 | 40,16 | 0,0240 | (Bloque*A) |
| Bloque*A | 0,17 | 2 | 0,09 | 1,58 | 0,2644 | |
| B | 4,93 | 2 | 2,47 | 45,43 | <0,0001 | |
| A*B | 1,51 | 2 | 0,76 | 13,93 | 0,0025 | |
| Error | 0,43 | 8 | 0,05 | | | |
| Total | 10,73 | 17 | | | | |

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0857 gl: 2

| A | Medias | n | E.E. |
|-------------|--------|---|--------|
| Con biochar | 3,00 | 9 | 0,10 A |
| Sin biochar | 2,12 | 9 | 0,10 B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0543 gl: 8

| B | Medias | n | E.E. |
|-------|--------|---|--------|
| 2% | 3,11 | 6 | 0,10 A |
| 1,50% | 2,71 | 6 | 0,10 B |
| 0% | 1,86 | 6 | 0,10 C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0543 gl: 8

| A | B | Medias | n | E.E. |
|-------------------|---|--------|---|--------|
| Con biochar 2% | | 3,64 | 3 | 0,13 A |
| Con biochar 1,50% | | 3,45 | 3 | 0,13 A |
| Sin biochar 2% | | 2,58 | 3 | 0,13 B |
| Sin biochar 1,50% | | 1,97 | 3 | 0,13 C |
| Con biochar 0% | | 1,90 | 3 | 0,13 C |
| Sin biochar 0% | | 1,81 | 3 | 0,13 C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

**ANEXO 5. ESTRUCTURA DE COSTOS DE PRODUCCIÓN DEL TOMATE
VARIEDAD CHERRY, EN 29 m² EN EL CENTRO EXPERIMENTAL**

COTA COTA

| | Cantidad | Unidad | Costo unitario (Bs) | Costo total (Bs) |
|--|----------|------------|---------------------|------------------|
| Costos fijos | | | | |
| Manejo del cultivo | | | | |
| Carpa Solar | | | | 1000 |
| Viáticos | | | | 336 |
| Desinfección del suelo | 2 | jornal | 20 | 40 |
| Elaboración e instalación del sistema de riego | | | | 150 |
| Cuerda | 200 | metros | 0,12 | 24 |
| Alambre galvanizado | 60 | metros | 0,15 | 9 |
| Preparación del sustrato | 2 | jornal | 20 | 40 |
| Almacigado | 1 | jornal | 10 | 10 |
| Trasplante | 2 | jornal | 10 | 20 |
| | | | | 1629 |
| Labores culturales | | | | |
| Refalle | 1 | jornal | 10 | 10 |
| Deshierbe | 5 | jornal | 10 | 50 |
| Tutorado | 2 | jornal | 20 | 40 |
| Poda | 6 | jornal | 10 | 60 |
| | | | | 160 |
| Cosecha y pos cosecha | | | | |
| Cosecha | 6 | jornal | 10 | 60 |
| Pesado y embolsado | 6 | jornal | 10 | 60 |
| Transporte | 1 | global | 20 | 20 |
| | | | | 140 |
| Sub total | | | | 1929 |
| Costos variables | | | | |
| Insumos | | | | |
| Biochar | 6,75 | kilogramos | 12,5 | 84,4 |
| Humus de lombriz | 10,7 | kilogramos | 10 | 107 |
| Semilla | 0,17 | onzas | 50 | 8,5 |
| Bolsas de polietileno 50x40 | 54 | bolsas | 0,75 | 40,5 |
| preparado de bioinsumos | 10 | litros | 2 | 20 |
| Sub total | | | | 260,4 |
| COSTO TOTAL | | | | 2189,4 |

Costos de producción por tratamiento en (Bs)

| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
|---------------------------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|--|
| Detalle | Sin biochar 0% humus de lombriz | Sin biochar 1,5% humus de lombriz | Sin biochar 2% humus de lombriz | Con biochar 0% humus de lombriz | Con biochar 1,5% humus de lombriz | Con biochar 2% humus de lombriz |
| Costos fijos | | | | | | |
| Carpa Solar | 166,7 | 166,7 | 166,7 | 166,7 | 166,7 | 166,7 |
| Viáticos | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 |
| Desinf. Del suelo | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 6,7 |
| Elab. e inst. del sistema de riego | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| Cuerda | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Alambre galvanizado | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| Preparación del sustrato | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 6,7 |
| Almacigado | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 |
| Trasplante | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 |
| | 271,6 | 271,6 | 271,6 | 271,6 | 271,6 | 271,6 |
| Labores culturales | | | | | | |
| Refalle | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 |
| Deshierbe | 8,3 | 8,3 | 8,3 | 8,3 | 8,3 | 8,3 |
| Tutorado | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 6,7 |
| Poda | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| | 26,7 | 26,7 | 26,7 | 26,7 | 26,7 | 26,7 |
| Cosecha y pos cosecha | | | | | | |
| Cosecha | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Pesado y embolsado | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Transporte | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 |
| | 23,3 | 23,3 | 23,3 | 23,3 | 23,3 | 23,3 |
| Sub total | 321,6 | 321,6 | 321,6 | 321,6 | 321,6 | 321,6 |
| Costos variables | | | | | | |
| Insumos | | | | | | |
| Biochar | 0 | 0 | 0 | 28,1 | 28,1 | 28,1 |
| Humus de lombriz | 0 | 22,5 | 31 | 0 | 22,5 | 31 |
| Semilla | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 |
| Bolsas de polietileno 50x40 | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 6,7 |
| Preparado de bioinsumos | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 |
| Sub total | 11,4 | 33,9 | 42,4 | 39,5 | 62 | 70,5 |
| Total | 333 | 355,5 | 364 | 361,1 | 383,6 | 392,1 |

| Costos de producción totales | |
|-------------------------------------|-------------------|
| Detalle | Bolivianos |
| Costos fijos | 1929 |
| Costos variables | 260,4 |
| Costos de producción | 2189,4 |
| Imprevistos al 10% | 219 |
| Costos totales | 2408,4 |

| Costos de producción totales | T₁ | T₂ | T₃ | T₄ | T₅ | T₆ |
|-------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Detalle | Bs | Bs | Bs | Bs | Bs | Bs |
| Costos fijos | 321,6 | 321,6 | 321,6 | 321,6 | 321,6 | 321,6 |
| Costos variables | 11,4 | 33,9 | 42,4 | 39,5 | 62 | 70,5 |
| Costos de producción | 333 | 355,5 | 364 | 361,1 | 383,6 | 392,1 |
| Imprevistos al 10% | 33,3 | 35,5 | 36,4 | 36,1 | 38,4 | 39,2 |
| Costo producción total | 366,3 | 391 | 400,4 | 397,2 | 422 | 431,3 |

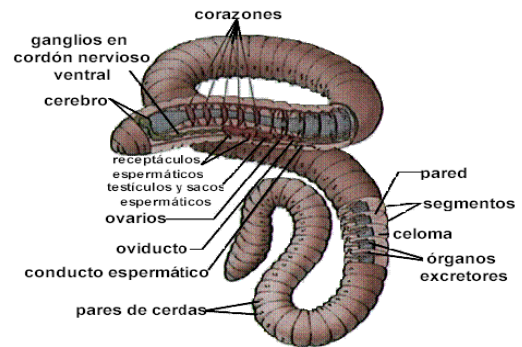
| Detalle | Aplicación de biochar | |
|-----------------------------|------------------------------|-------------------------|
| | Sin biochar | Con biochar 1,5% |
| Costos de producción | 40 | 43.1 |

| Detalle | Niveles del humus de lombriz | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|--------------|-----------|
| | 0% | 1,50% | 2% |
| Costos de producción | 26,3 | 28 | 28,7 |

ANEXO 6

Figura 1

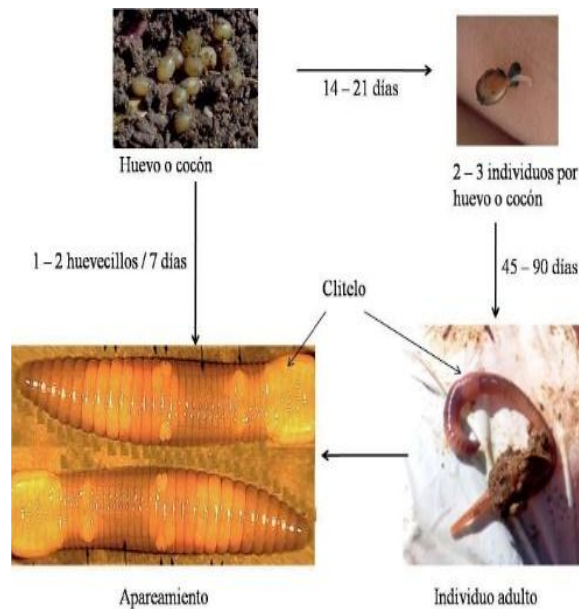
Características externas e internas



Nota. Cutícula, epidermis, capas musculares, peritoneo, aparato circulatorio y sistema digestivo (Lombricultivos, 2012).

Figura 2

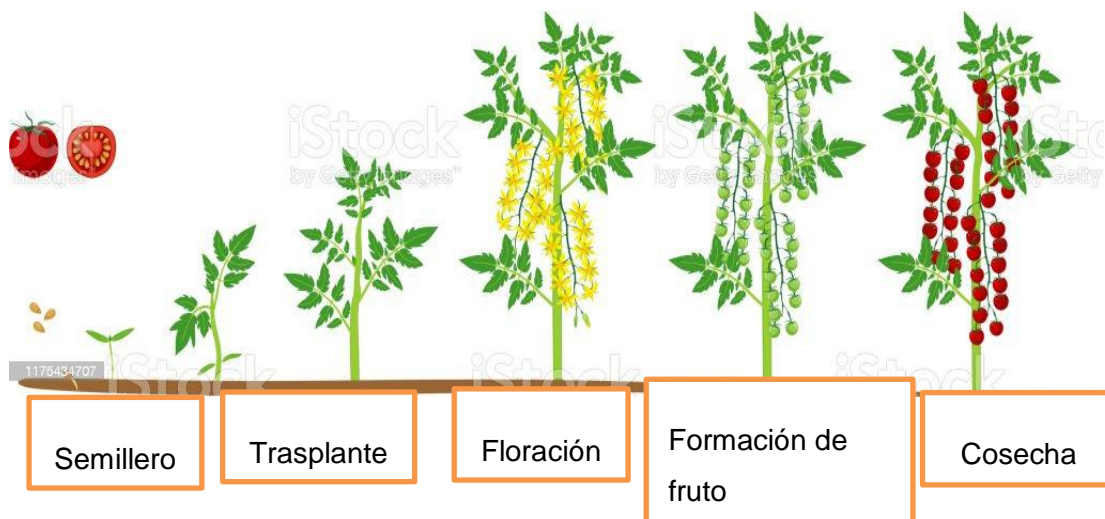
Ciclo de vida de la lombriz roja californiana



Nota. La lombriz vive aproximadamente 16 años (García y Félix, 2014).

Figura 3

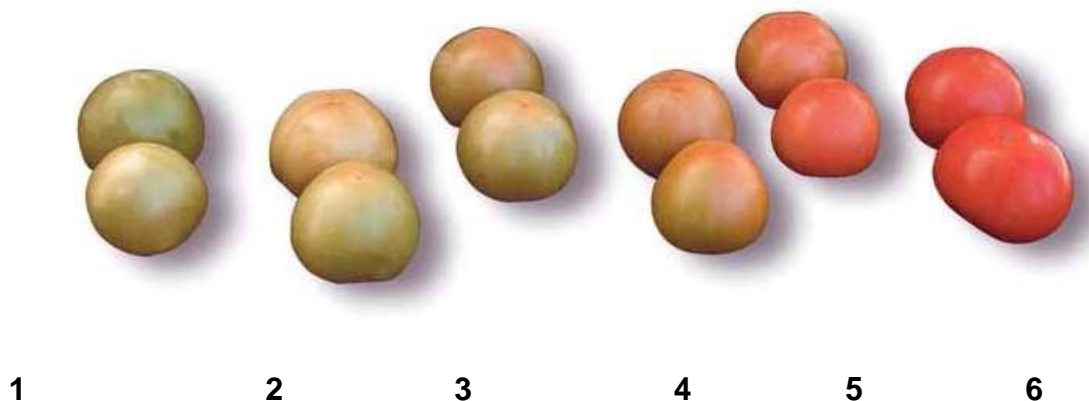
Fenología del cultivo de tomate cherry



Nota. Ciclo total: 7 meses aproximadamente (Stock, 2019).

Figura 4

Clasificación de grados de madurez del tomate (de izquierda a derecha)



Nota. 1, Verde maduro; 2, Inicio de color; 3, Pintón; 4, Rosado; 5, Rojo pálido y 6, Rojo. Por ser climatérico, el tomate alcanza el grado 6, aun cuando sea cosechado en el grado 1 (Hernandez, 2009).

ANEXO 7. FOTOGRAFÍAS TOMADAS EN EL DESARROLLO DEL CULTIVO



Fotografía 1. Almacigo de la planta de tomate cherry



Fotografía 2. Plantines de tomate cherry antes del trasplante

Elaboración del biochar



Fotografía 3. Armado de las ramas de eucalipto, para realizar el biochar



Fotografía 4. Quema de la biomasa



Fotografía 5. Horno artesanal, para el proceso de pirólisis



Fotografía 6. Obtención del carbón



Fotografía 7. Obtención del biochar



Fotografía 8. Activación del biochar y humus de lombriz, 48 horas antes de incorporar al suelo



Fotografía 9. Incorporación de la mezcla en el suelo



Fotografía 10. Trasplante del plantín



Fotografía 11. Tutorado de la planta e incorporado del sistema de riego por goteo artesanal



Fotografía 12. Abonamiento de la planta, dos veces en todo el ciclo

Variables de respuesta



Fotografía 13. Control fitosanitario



Fotografía 14. Altura de la planta (cm)



Fotografía 15. Días a la floración



Fotografía 16. Días a la cosecha



Fotografía 17. Diámetro del fruto (mm)



Fotografía 18. Peso del fruto (g)



Fotografía 19. Pesado de 200 g de fruto para la comercialización