



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

TEMA:

**EFECTO DEL BIOCARBÓN EN EL CULTIVO DE TOMATE RIÑÓN
(*Solanum lycopersicum L.*), CHALTURA, ANTONIO ANTE.**

Trabajo de grado previa a la obtención del Título de Ingeniero Agropecuario

AUTOR:

Andrés Mauricio Chávez Estrada

DIRECTOR:

Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas MSc.

Ibarra, 2022

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN

CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

“EFECTO DEL BIOCARBÓN EN EL CULTIVO DE TOMATE RIÑÓN**(*Solanum lycopersicum L.*), CHALTURA, ANTONIO ANTE”**

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación
como requisito parcial para obtener Título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

APROBADO:

Ing. Miguel Gómez, MSc.

DIRECTOR

FIRMA

Dra. Julia Karina Prado Beltrán, PhD.

MIEMBRO TRIBUNAL

FIRMA

Ing. Marcelo Albuja, MSc.

MIEMBRO TRIBUNAL

FIRMA



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	040179980-4		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Chávez Estrada Andrés Mauricio		
DIRECCIÓN:	Ibarra - Ecuador		
EMAIL:	amchaveze@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	06 2 902 020	TELÉFONO MÓVIL	0979805288

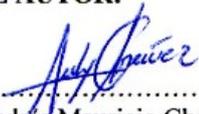
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EFFECTO DEL BIOCARBÓN EN EL CULTIVO DE TOMATE RIÑÓN (<i>Solanum lycopersicum L.</i>), CHALTURA, ANTONIO ANTE.
AUTOR (ES):	Chávez Estrada Andrés Mauricio
FECHA: DD/MM/AAAA	29 se septiembre de 2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Agropecuario
ASESOR:	Ing. Miguel Gómez, MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 11 días del mes de octubre de 2022.

EL AUTOR:


.....
Andrés Mauricio Chávez Estrada
C.I.:040179980-4

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Chávez Estrada Andrés Mauricio, bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 29 días del mes de septiembre del 2022.



Ing. Miguel Gómez, MSc.

DIRECTOR DE TESIS

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO**Guía:** FICAYA-UTN**Fecha:** Ibarra, a los 29 días del mes de septiembre del 2022.**Chávez Estrada Andrés Mauricio:** "EFECTO DEL BIOCARBÓN EN EL CULTIVO DE TOMATE RIÑÓN (*Solanum lycopersicum L.*), CHALTURA, ANTONIO ANTE" /Trabajo de titulación. Ingeniero Agropecuario.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, a los 29 días del mes de septiembre del 2022. 95 páginas.

DIRECTOR: Ing. Miguel Gómez, MSc.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Evaluar el efecto del biocarbón en el cultivo de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*), Chaltura, Antonio Ante. Entre los objetivos específicos se encuentran:

- Determinar el efecto de la enmienda biocarbón sobre el rendimiento y calidad de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*) con fertilización química y fertilización orgánica.
- Comparar las propiedades químicas del suelo (pH, CIC, macro y micro nutrientes) bajo la aplicación de biocarbón con los esquemas de fertilización en estudio.
- Analizar los resultados económicos de los tratamientos en estudio


.....
Ing. Miguel Gómez, MSc.
Director de Trabajo de Grado
.....
Chávez Estrada Andrés Mauricio
Autor

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar un eterno agradecimiento a Dios que, con su infinito poder nunca abandono la guía de mi camino y siempre me brindo la fortaleza necesaria para continuar. A mis padres, Ángel e Irene, quienes que con cada esfuerzo hicieron posible alcanzar esta meta. Desde siempre, ellos han estado conmigo, apoyando con su apropiado consejo, con su gran amor y su comprensión, muchas gracias mamá y papá.

A mis hermanos y mis sobrinos, ellos siempre exaltaron un ejemplo correcto sobre mí, Sin ellos no lo hubiese logrado.

Quiero agradecer también a la Universidad Técnica del Norte, una gran institución que abre las puertas a personas que con mucha ilusión buscamos un sueño. Gracias infinitas a mis maestros, directivos, amigos y compañeros de la Granja Experimental La Pradera, fue un honor haber compartido esta etapa con todos ustedes.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo investigativo va dedicado principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes, hemos logrado juntos llegar hasta aquí y convertimos en lo que soy. Es esfuerzo fue duro, pero el resultado es aún más grande, este logro es nuestro, familia.

A mis grandes amigos agropecuarios y futboleros, quienes se convirtieron en personas muy importantes para mi desarrollo a nivel académico como también personal, serán tantas las anécdotas valiosas que se forjaron durante todo este tiempo, y la amistad sincera que se formó, perdurara para toda la vida.

De manera especial, quiero dedicar y agradecer a una persona especial en mi vida, Steffy, quien brindo su apoyo incondicional a lo largo de todo este trayecto. Gracias por tu comprensión, tu amor, tu aliento y tu dedicación diaria.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS	XV
RESUMEN	XVII
ABSTRACT	XVIII
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos	5
1.1.1. Objetivo General	5
1.4.1. Objetivos Específicos.....	5
1.5. Hipótesis.....	5
CAPÍTULO II.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Cultivo de tomate riñón.....	6
2.1.1. Clasificación taxonómica.....	6
2.1.2. Descripción botánica.....	6
2.1.3. Requerimientos de climáticos	8
2.1.4. Requerimientos agronómicos del cultivo.....	9
2.1.5. Rendimiento a nivel nacional.....	10
2.2. Biocarbón o biochar	11

2.2.1. Origen e historia.....	11
2.2.2. Procesos para obtener biocarbón.....	12
2.2.3. Propiedades físico – químicas del biocarbón.....	12
2.2.4. Aplicación al suelo.....	13
2.2.5. Dosis de aplicación al suelo	13
2.2.6. Métodos de aplicación al suelo	13
2.3. Marco legal.....	14
CAPÍTULO III.....	15
3. MARCO METODOLÓGICO.....	15
3.1. Caracterización del área de estudio.....	15
3.1.1. Ubicación geográfica	15
3.1.2. Variables climáticas.....	15
3.2. Materiales, equipos, insumos y herramientas	16
3.3. Métodos.....	16
3.3.1. Tipo de estudio.....	16
3.3.2. Factores en estudio.....	17
3.3.3. Tratamientos.....	17
3.3.4. Diseño experimental	17
3.3.5. Análisis estadístico (ANOVA).....	20
3.4. Variables evaluadas.....	20
3.4.1. Biomasa.....	20
3.4.2. Número de frutos por planta	21
3.4.3. Peso del fruto	21
3.4.4. Categoría del fruto	22

3.4.5.	Rendimiento	22
3.4.6.	Composición química del suelo (pH, CIC, macro y micro nutrientes) 22	
3.4.7.	Análisis financiero	22
3.5.	Manejo específico del experimento.....	23
3.5.1.	Preparación del área de estudio.....	23
3.5.2.	Elaboración de la enmienda biocarbón	23
3.5.3.	Obtención del suelo.....	25
3.5.4.	Dosis de sustrato por cada funda plástica	25
3.5.5.	Dosis de biocarbón o biochar.....	26
3.5.6.	Dosis de fertilización orgánica (pollinaza)	26
3.5.7.	Aplicación de la fertilización orgánica	29
3.5.8.	Dosis de fertilización química.....	30
3.5.9.	Aplicación de la fertilización química	31
3.5.10.	Trasplante.....	32
3.5.11.	Riego	33
3.5.12.	Podas	33
3.5.13.	Tutorado	34
3.5.14.	Controles fitosanitarios	34
3.5.15.	Cosecha	34
CAPÍTULO IV		36
4.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	36
4.1.	Biomasa (materia seca)	36
4.2.	Categoría de fruto.....	38

4.3.	Rendimiento	39
4.4.	Composición química del suelo	41
4.4.1.	Capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	42
4.4.2.	Conductividad eléctrica.....	44
4.4.3.	pH.....	45
4.4.4.	Nitrógeno	47
4.4.5.	Fósforo	48
4.4.6.	Potasio.....	49
4.4.7.	Magnesio.....	50
4.4.8.	Calcio	51
4.4.9.	Azufre.....	52
4.5.	Análisis financiero	53
4.5.1.	Costos de producción.....	53
4.5.2.	Relación beneficio costo (B/C).....	57
CAPÍTULO V	58
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
6.	REFERENCIAS	60
7.	ANEXOS	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Etapas fenológicas de tomate riñón (<i>Solanum Lycopersicum L.</i>)	8
Figura 2 Rendimiento de tomate riñón en el Ecuador.	11
Figura 3 Mapa de Ubicación Geográfica de la Granja Experimental “La Pradera” de la Universidad Técnica del Norte	15
Figura 4 Esquema del Diseño Experimental en el Invernadero	18
Figura 5 Readecuación de la cubierta del invernadero, Granja Experimental La Pradera.	23
Figura 6 Horno TLUD (Top-Lit UpDraft) de 200 litros	24
Figura 7 Trituración del biocarbón.....	24
Figura 8 Distribución de las fundas de acuerdo a la densidad de siembra establecida ..	26
Figura 9 Aplicación de la enmienda biocarbón más la dosis de fertilización orgánica..	29
Figura 10 Aplicación de la enmienda biocarbón más la dosis de fertilización química	31
Figura 11 Plántula de tomate riñón trasplantada en la funda	32
Figura 12 Sistema de riego instalado en el invernadero.....	33
Figura 13 Contenido de materia seca (g) por cada tratamiento de estudio.....	37
Figura 14 Porcentaje de cada categoría de frutos cosechados de acuerdo a su diámetro ecuatorial por cada tratamiento.....	39
Figura 15 Rendimiento de cada tratamiento por parcela neta (5.40 m ²)	40
Figura 16 Capacidad de intercambio catiónico de cada tratamiento.	43
Figura 17 Evaluación de la conductividad eléctrica para el cultivo de tomate riñón bajo invernadero.	44
Figura 18 Evaluación del potencial hídrico en los tratamientos.....	46
Figura 19 Evaluación del contenido de nitrógeno residual (suelo) en el cultivo de tomate riñón bajo invernadero.....	47
Figura 20 Evaluación del fósforo en los tratamientos aplicados en el cultivo del tomate riñón bajo invernadero.....	49
Figura 21 Evaluación del magnesio en los tratamientos aplicados en el cultivo del tomate riñón bajo invernadero.....	51
Figura 22 Evaluación del calcio en los tratamientos aplicados en el cultivo del tomate riñón bajo invernadero.....	52

Figura 23 Evaluación del azufre en los tratamientos aplicados en el cultivo del tomate riñón bajo invernadero.....	53
--	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Recomendaciones de fertilización según el INIAP	10
Tabla 2 Datos climáticos del área de estudio	16
Tabla 3 Materiales, equipos, insumos y herramientas.....	16
Tabla 4 Tratamientos del estudio.....	17
Tabla 5 Análisis de varianza.....	20
Tabla 6 Categorización del tomate riñón en base a diámetro ecuatorial	22
Tabla 7 Características básicas del suelo.....	25
Tabla 8 Resultados e interpretación del análisis de suelo	27
Tabla 9 Conversión de nutrientes puros a nutrientes biodisponibles, transformación de mg de nutrientes por kilogramo de suelo a kilogramos por hectárea e interpretación de resultados	27
Tabla 10 Requerimientos nutricionales para el cultivo de tomate riñón utilizados en el ensayo y el porcentaje de aporte para cada nutriente de la pollinaza cubriendo la necesidad principal Nitrógeno.	28
Tabla 11 Dosis de fertilización orgánica expresada en kilogramo y gramos por funda. 29	
Tabla 12 Fraccionamiento del fertilizante orgánico expresado en porcentaje	29
Tabla 13 Dosis de la fertilización química de cada nutriente por funda	30
Tabla 14 Cantidades y fuentes de fertilizante comercial a ocupar para cubrir la dosis de nutrientes seleccionada.....	31
Tabla 15 Fraccionamiento de fertilización por etapa expresada en porcentaje.....	32
Tabla 16 Estados de madurez del fruto de tomate.....	35
Tabla 17 Análisis de varianza para la variable materia seca.	36
Tabla 18 Análisis de contingencia de categoría de frutos, expresando el número total de frutos cosechados de cada tratamiento	38
Tabla 19 Análisis de varianza para la variable rendimiento.....	39
Tabla 20 Rendimiento por cada tratamiento evaluado, convertido de kg por parcela y expresado en kg m^{-2} , t ha^{-1}	41

Tabla 21 Propiedades químicas y macronutrientes a nivel de suelo de cada tratamiento con sus media y error estándar	41
Tabla 22 Análisis de varianza de la capacidad de intercambio catiónico (CIC).	42
Tabla 23 Análisis de varianza sobre la conductividad eléctrica en los tratamientos.....	44
Tabla 24 Análisis de varianza sobre el potencial hídrico en los tratamientos.....	45
Tabla 25 Análisis de varianza sobre el nitrógeno evaluado en los tratamientos	47
Tabla 26 Análisis de varianza sobre el fósforo evaluado en los tratamientos.	48
Tabla 27 Análisis de varianza sobre el potasio evaluado en los tratamientos bajo invernadero	49
Tabla 28 Análisis de medias sobre el potasio evaluado en los tratamientos bajo invernadero.	50
Tabla 29 Análisis de varianza sobre el magnesio evaluado en los tratamientos.	50
Tabla 30 Análisis de varianza sobre el calcio evaluado en los tratamientos.	51
Tabla 31 Análisis de varianza sobre el azufre evaluado en los tratamientos.	52
Tabla 32 Costos fijos de producción del tomate riñón bajo invernadero por hectárea por ciclo con manejo de fertilización química.....	54
Tabla 33 Costos fijos de producción del tomate riñón bajo invernadero por hectárea por ciclo con manejo de fertilización orgánica.....	55
Tabla 34 Costo variable de la elaboración de 45 kg biocarbón.....	56
Tabla 35 Ingresos de acuerdo al precio y el rendimiento por cada tratamiento	57
Tabla 36 Relación beneficio/costo en una hectárea del cultivo de tomate riñón para cada tratamiento.....	57

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1 Resultados del análisis inicial de suelo	66
Anexos 2 Calculo de la cantidad de sustrato necesario en base a la capacidad de la funda plástica y a la densidad aparente del suelo	67
Anexos 3 Calculó la cantidad de la enmienda biocarbón en función del área de cada funda.....	67
Anexos 4 Factores de conversión de nutrientes y nutrientes biodisponibles	68
Anexos 5 Calculo de la cantidad de pollinaza requerida para cubrir los 100 kg N de la recomendación.....	68

Anexos 6	Calculo de la dosis de pollinaza por funda en función del área de la maceta	69
Anexos 7	Calculo de la dosis de fertilización química (de nitrógeno) por funda en función del área de la maceta	69
Anexos 8	Estrategia de control integrado de plagas.....	70
Anexos 9	Estrategia de control integrado de enfermedades.....	70

EFFECTO DEL BIOCARBÓN EN EL CULTIVO DE TOMATE RIÑÓN
(*Solanum lycopersicum L.*), CHALTURA, ANTONIO ANTE.

Andrés Mauricio Chávez Estrada
amchavez@utn.edu.ec

Director
Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas MSc.

Universidad Técnica del Norte
Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales

RESUMEN

A nivel mundial, existe una creciente preocupación por el declive de la calidad de los suelos. Varios reportes sugieren la adición de biochar o biocarbón, para incrementar la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos. Como enmienda del suelo, el biocarbón puede influir en gran medida sobre las propiedades químicas (pH y la Capacidad de Intercambio Catiónico). La presente investigación se realizó en la Granja Experimental “La Pradera” y tuvo como objetivo evaluar el efecto del biocarbón como enmienda combinado con dos tipos de fertilización: orgánica y química, sobre las propiedades químicas del suelo y el rendimiento del tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*) bajo invernadero. Las variables evaluadas fueron de materia seca, categoría de frutos y rendimiento ($t\ ha^{-1}$). Además, se realizó un análisis de composición química del suelo de cada UE para evaluar la variación del pH, la capacidad de intercambio (CIC), y los macro y micro nutrientes. Los rendimientos obtenidos para cada tratamiento fueron de 1137.52, 132.30, 140.85 y 138.69 $t\ ha^{-1}$ para FQ, FO, B+FQ, B+FO, respectivamente. En la CIC, el B+FQ (11.37 meq/100 g) y FO (11.30 meq/100 g) son similares entre sí, sin embargo, ambos tratamientos son superiores para B+FO y para FQ. El pH encontrado en la combinación de B+FQ (7.77) presenta la mayor concentración y muestra una ligera similitud al tratamiento de FO (7.70). Por otra parte, FQ (7.63) y B+FO (7.60) presentan valores muy similares entre sí. Al final, se concluyó, que el rendimiento, de los tratamientos con biocarbón, fueron superiores a su respectivo tratamiento de control. La CIC, obtuvo una variación positiva respecto al valor del análisis inicial de suelo, dicha variación se alteró únicamente en 1.47 u respecto al mejor tratamiento. El pH tuvo una variación notable en B+FQ, arrojando un 5,37% más respecto al análisis preliminar del suelo. De acuerdo a la relación B/C, todos los tratamientos obtuvieron una rentabilidad positiva. El FO obtuvo una mayor ganancia de 1.96, siendo superior al tratamiento FQ únicamente por 2.29 %. Sin embargo, los tratamientos de interés B+FQ y B+FO, fueron superados por 19.51% y 15.29%, respectivamente.

Palabras clave: biochar, pirólisis, degradación de suelo, intercambio catiónico.

EFFECT OF BIOCARBON IN THE CROP OF KIDNEY TOMATOES**(*Solanum lycopersicum L.*), CHALTURA, ANTONIO ANTE.**Andrés Mauricio Chávez Estrada
amchavez@utn.edu.ecDirector
Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas MScUniversidad Técnica del Norte
Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales**ABSTRACT**

Globally, there is growing concern about the decline in soil quality. Several reports suggest the addition of biochar, to increase soil fertility and crop productivity. As a soil amendment, biochar can greatly influence chemical properties (pH and Cation Exchange Capacity). The present investigation was carried out in the Experimental Farm "La Pradera" and aimed to evaluate the effect of biochar as an amendment combined with two types of fertilization: organic and chemical, on the chemical properties of the soil and the yield of kidney tomato (*Solanum lycopersicum L.*) in greenhouse. The variables evaluated were dry matter, fruit category and yield. In addition, an analysis of the chemical composition of the soil of each EU was carried out to evaluate the variation in pH, the capacity of cation exchange (ECC), and macro and micro nutrients. The yields obtained for each treatment were 1137.52, 132.30, 140.85 and 138.69 t ha⁻¹ for FQ, FO, B+FQ, B+FO, respectively. In CEC, B+FQ (11.37 meq 100 g⁻¹) and FO (11.30 meq 100 g⁻¹) are similar to each other, however, both treatments are superior for B+FO and for FQ. The pH found in the combination of B+FQ (7.77) presents the highest concentration and shows a slight similarity to the FO treatment (7.70). On the other hand, FQ (7.63) and B+FO (7.60) present very similar values to each other. In the end, it was concluded that the performance of the biochar treatments were superior to their respective control treatment. The ECC, obtained a positive variation with respect to the value of the initial soil analysis, this variation was only altered in 1.47 u with respect to the best treatment. The pH had a notable variation in B+FQ, showing 5.37% more compared to the preliminary analysis of the soil. According to the B/C ratio, all treatments obtained a positive return. The FO obtained a greater gain of 1.96, being superior to the FQ treatment only by 2.29%. However, the treatments of interest B+FQ and B+FO, were surpassed by 19.51% and 15.29%, respectively.

Keywords: biochar, pyrolysis, soil degradation, cation exchange.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Las enmiendas orgánicas son productos elaborados a base de residuos y desechos vegetales y animales, el uso de estos acondicionadores agrícolas es una práctica alternativa a la horticultura tradicional, que mejora la condición física y química del suelo, actuando como fuente de carbono y otros nutrientes. A su vez estimula y diversifica la biota edáfica creando así un medio adecuado para el crecimiento de las plantas (Molina, León y Chávez, 2015).

Dentro de estas enmiendas figuran ejemplos tales como residuos de cultivos, residuos de corral, residuos sólidos urbanos, subproductos de fabricación de alimentos, además de productos que han pasado por un proceso de elaboración como el compost, bioles, vermicompost y el biocarbón o biochar. Esta última ha sido denominada como enmienda orgánica de nueva generación, por la relevancia que ha ganado debido a su creciente uso en los últimos años (Hernández, Ojeda, López y Arras, 2010).

El biocarbón o biochar es el producto de la descomposición térmica de materiales orgánicos (biomasa) con escaso o limitado suministro de oxígeno (pirólisis), a temperaturas generalmente de 300 a 700 °C y es utilizado normalmente como enmienda agrícola (Escalante et al., 2016) .

El concepto de biocarbón es relativamente reciente, y el interés por su aplicación a suelos agrícolas se debe principalmente al descubrimiento de sustancias de naturaleza similar al biocarbón en tierras oscuras de la Amazonía. Estas sustancias o materiales son conocidas localmente como “Terra Preta do Indio”, y tienen la particularidad de ser suelos ricos en carbono orgánico (C) y muy fértiles. Estas características representan una anomalía al común de los suelos de la selva amazónica que suelen ser pobres en nutrientes (Lehmann y Joseph, 2009).

Generalmente las propiedades físico-químicas del biocarbón varían de acuerdo a la procedencia de las diferentes materias primas y a las diferentes condiciones de pirolisis. Sin embargo, habitualmente está constituido por partículas de diferentes tamaños, posee

una alta porosidad con micro, meso y macro poros, cuyos tamaños van de < 2 nm, 2-50 nm y >50 nm, respectivamente, además presenta muy baja densidad aparente, entre 0.30 a 0.43 g/cm^3 y en general ostenta una alta área superficial, entre 200 y $400 \text{ m}^2/\text{g}$ (Aker, Soto, Imbach, Castillo y Garro, 2014).

También se ha reportado que el biocarbón presenta una mayor capacidad de intercambio de cationes (CIC) por unidad de carbono que la materia orgánica del suelo debido a su mayor área y carga negativa superficial, y a una mayor densidad de carga (CIC potencial por unidad de área). Los responsables del incremento de la CIC y la reactividad del biocarbón en el suelo son los grupos carboxílicos que se forman sobre los puentes de núcleos aromáticos del biocarbón que resultan de su oxidación. En comparación con otros tipos de materia orgánica, el biocarbón es capaz de absorber fuertemente aniones (Shareef y Zhao, 2017).

La adición de biocarbón a suelos poco fértiles ha sido documentada con efectos positivos, como por ejemplo en la disminución en la lixiviación de nitrógeno (N) (Suppadit, Phumkokrak, y Pounsuk, 2012). También, se han encontrado evidencias que la adición de biocarbón contribuye a la biodisponibilidad de N y potencialmente su aplicación, puede disminuir la demanda de fertilizantes nitrogenados (Zheng, Wang, Deng, Herbert y Xiang, 2013).

La aplicación del biocarbón al suelo ha demostrado mejorar el rendimiento en el cultivo de maíz con el paso del tiempo, adicionalmente las dosis altas de biocarbón de 20 t ha^{-1} en una sola aplicación señaló tendencias a incrementar los rendimientos de maíz en suelos oxidados permitiendo que las plantas de maíz puedan incrementar la absorción de nitrógeno hasta en un 15% en comparación con las fertilizadas completamente con agroquímicos lo cual indica un mejor aprovechamiento de los nutrientes y menos pérdida en el suelo (Major, 2006).

Moscoso, Fiallos y Guzmán (2015) evaluaron la aplicación de biocarbón como enmienda en un oxisol y su efecto en el crecimiento de maíz, los resultados fueron que el uso de biocarbón mejoró algunas propiedades químicas del suelo: respecto al pH de 4.8 a 5.9; el porcentaje de Materia Orgánica (MO) de 0.80 % a 1.90% y de 1.20 a 10.60 ppm en Fósforo (P).

En cuanto al rendimiento de cultivos, Liu, Zhang, Ji, Joseph y Bian (2013) realizaron un meta-análisis de datos sobre el efecto de la modificación del suelo con biocarbón en la productividad de los cultivos con tasas generalmente menores a 30 t ha^{-1} , la productividad de los cultivos aumentó en un promedio de 11.0 % con respecto al control no enmendado.

Por otra parte, Alonso, Cruz, Jiménez y Ocampo (2016) evaluaron el efecto de diferentes niveles de biocarbón en la producción de una mezcla forrajera (alfalfa, rye grass y trébol blanco), a medida que se incrementaron los niveles de biocarbón, la producción fue mejorando proporcionalmente desde 13.91 t ha^{-1} (testigo) hasta 15.51 t ha^{-1} de forraje verde a una dosis de 1.5 t ha^{-1} de biocarbón.

1.2. Planteamiento del problema

El uso excesivo de fertilizantes y pesticidas químicos, conjuntamente con la búsqueda de beneficios económicos a corto plazo, en un sistema intensivo de producción (monocultivo), ha provocado la pérdida de la fertilidad, el abandono y posteriormente la degradación de muchos suelos (Hernández, García, Sánchez, Bernal y Carillo, 2014).

La fertilidad de los suelos ha sido impactada por las prácticas agrícolas convencionales, tales como aplicación desmedida de fertilizantes y agroquímicos, las cuales influyen acelerando la acidificación de los suelos haciendo el suelo menos fértil para la agricultura (Aker et al., 2014).

Además, la degradación por erosión del suelo causa la eliminación de depósitos de sedimentos, ricos en materia orgánica y nutrientes, dando como resultado final disminución del contenido de materia orgánica, afectando la productividad y el rendimiento de los cultivos (Akhtar, Khan y Zain, 2016). Ecuador no se escapa de esta realidad, en el país, alrededor del 49% de las tierras está degradadas y un 22% se encuentra en proceso de desertificación (Alarcón, 2018 junio 22).

El grave golpe que conllevará en los años siguientes, como efecto de la problemática de degradación de suelos, será un impacto grave en la soberanía alimentaria, menores extensiones de tierras productivas, generarán menos cantidades de alimento y disminuirá la economía familiar de los agricultores (Alarcón, 2018 junio 22).

1.3. Justificación

La enmienda biocarbón ha demostrado ser útil para la mejora de las propiedades del suelo, respecto a las propiedades físicas como la textura, la estructura, porosidad, el área superficial total y la densidad aparente con repercusión en la aireación, y la capacidad de almacenamiento de humedad, han resultado ser más óptimas con el uso de la enmienda, permitiendo así una mejor penetración de la raíz (Downie, Crosky y Munroe, 2009).

Con respecto a las propiedades biológicas del suelo, el biocarbón sirve como micro hábitat para microorganismos del suelo, 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* (Amonette, 2009).

En relación a las propiedades químicas del suelo, el biocarbón por lo general incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC), por lo tanto, la retención de NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , debido a su elevada superficie específica, alta carga superficial negativa y elevada densidad de carga (Escalante, 2016). El biocarbón es significativamente efectivo para aumentar el carbono orgánico, el contenido de materia orgánica y al mismo tiempo ayuda a neutralizar el pH del suelo (Zulfiqar, Maqsood, Rasul, y Ali, 2015).

De modo que al conocer los efectos positivos que esta enmienda ejerce sobre el suelo y los rendimientos de diversos cultivos y que combinado con abonos orgánicos podría reemplazar parcialmente el uso de los fertilizantes químicos para la producción y reducir los costos de producción. Se evaluará el efecto que tiene en el cultivo de tomate riñón, en combinación con fertilización orgánica y fertilización química para determinar su efecto sobre las propiedades químicas del suelo y el rendimiento final, tomando en cuenta que los costos de producción son cada vez más altos en este cultivo, en cuanto a los costos de fertilización, representan el 26% del costo total (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2016) Debido a esto se pretende incorporar la enmienda biocarbón como una solución para la reducción de fertilizantes y la recuperación de los suelos.

1.4. Objetivos

1.1.1. *Objetivo General*

Evaluar el efecto del biocarbón en el cultivo de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*), Chaltura, Antonio Ante.

1.4.1. *Objetivos Específicos*

- Determinar el efecto de la enmienda biocarbón sobre el rendimiento y calidad de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*) con fertilización química y fertilización orgánica.
- Comparar las propiedades químicas del suelo (pH, CIC, macro y micro nutrientes) bajo la aplicación de biocarbón con los esquemas de fertilización en estudio.
- Analizar los resultados económicos de los tratamientos en estudio.

1.5. Hipótesis

Ho: Ninguna de las combinaciones de la enmienda biocarbón y el tipo de fertilización empleada influyen sobre la variación de las propiedades químicas del suelo y el rendimiento de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*).

Ha: Alguna de las combinaciones de la enmienda biocarbón y el tipo de fertilización empleada infuirá sobre la capacidad de intercambio catiónico (CIC), el pH y la biodisponibilidad de nutrientes e incrementará el rendimiento en el cultivo de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*).

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Cultivo de tomate riñón

2.1.1. Clasificación taxonómica

Clasificación taxonómica del tomate riñón de acuerdo a Heuvelink (2005):

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Familia:	Solanaceae
Género:	<i>Solanum</i>
Especie:	<i>Solanum lycopersicum L.</i>

2.1.2. Descripción botánica

Es una planta perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual, puede desarrollarse de forma rastrera, semi erecta o erecta. Existen variedades de crecimiento limitado (determinadas) y otras de crecimiento ilimitado (indeterminadas) (INIA, 2017).

Morfología. Sistema radicular: El sistema radical del tomate es superficial y está constituido por la raíz principal (corta y débil) que puede alcanzar 60 cm de profundidad, raíces secundarias (numerosas y potentes) y raíces adventicias, que pueden llegar a formar una masa densa (Jaramillo, Rodríguez, Guzmán, Zapata y Rengifo, 2007).

Tallo Principal: Eje de 2 – 4 cm de grosor en su base, sobre el que se desarrollan las hojas, tallos secundarios e inflorescencias. Su estructura, desde fuera hacia dentro, consta de: a. epidermis, de la que parten hacia el exterior los pelos glandulares, b. corteza o cortex, cuyas células más externas son fotosintéticas y las más internas son colenquimáticas, c. cilindro vascular y d. tejido medular.

En la parte distal se encuentra el meristemo apical, donde se inician los nuevos primordios foliares y florales (Tjalling, 2003).

Hojas: Compuesta e imparipinnada con foliolos peciolados, lobulados, con borde dentado y recubiertos de pelos glandulares. Las hojas se disponen de forma alterna sobre el tallo (INIA, 2017).

Flor: La flor del tomate es perfecta, de color amarillo, consta de 5 o más sépalos, 5 o más pétalos y de 5 a 6 estambres; se agrupan en inflorescencias de tipo racimo cimoso, compuesto por 4 a 12 flores (CENTA, 2005).

Fruto: Baya bi o plurilocular que puede alcanzar un peso entre 50 gramos y 600 gramos. Está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas (Heuvelink, 2005).

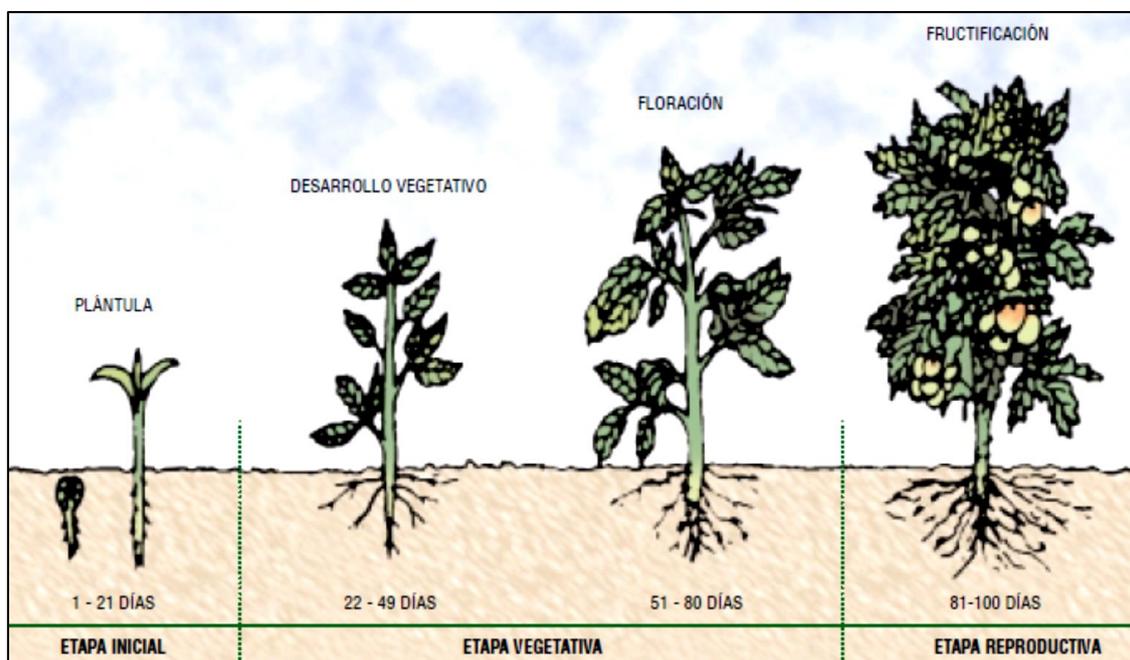
Etapas fenológicas. La fenología del cultivo comprende las etapas que forman su ciclo de vida, dependiendo de la etapa fenológica de la planta, así son sus demandas nutricionales, necesidades hídricas, susceptibilidad o resistencia a insectos y enfermedades (AAIC, 2003).

Según el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal del Salvador, CENTA (2005), en el cultivo del tomate, se observan 3 etapas durante su ciclo de vida, Figura 1:

- a) Inicial: Comienza con la germinación de la semilla. Se caracteriza por el rápido aumento en la materia seca, la planta invierte su energía en la síntesis de nuevos tejidos de absorción y fotosíntesis.
- b) Vegetativa: Esta etapa se inicia a partir de los 21 días después de la germinación y dura entre 25 a 30 días antes de la floración. Requiere de mayores cantidades de nutrientes para satisfacer las necesidades de las hojas y ramas en crecimiento y expansión.
- c) Reproductiva: Se inicia a partir del estado de fructificación, dura entre 30 o 40 días, y se caracteriza porque el crecimiento de la planta se detiene y los frutos extraen los nutrientes necesarios para su crecimiento y maduración.

Figura 1

Etapas fenológicas de tomate riñón (Solanum Lycopersicum L.)



Fuente: (CENTA, 2005)

2.1.3. Requerimientos de climáticos

Temperatura. Para el desarrollo normal del cultivo de tomate riñón a nivel nacional según manifiesta el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP, 2009) se requiere “una temperatura entre los 16 a 18 °C en invernadero, y 18 °C a campo abierto. Adicional, el cultivo requiere de una humedad relativa entre 85 % y 90 %”.

Luminosidad. El tomate es sensible a las condiciones de baja luminosidad, ya que el cultivo requiere un mínimo de 6 horas diarias de luz directa del sol para florecer (Heuvelink, 2005).

La luz afecta a la transpiración de las plantas, al intervenir en la apertura de los estomas, facilitando el intercambio de gases que se produce en la fotosíntesis y en la respiración celular (Tjalling, 2003).

Humedad relativa. El cultivo requiere de una humedad relativa entre 85% y 90% (INIAP, 2008). Una humedad relativa inferior al 50 % es inconveniente porque la planta expulsa el agua en forma de vapor hacia la atmósfera, generando un marchitamiento de

la planta y favorecer el desarrollo del *Oidium*. Valores muy altos pueden reducir la absorción del agua y los nutrientes, y ocasionar déficit de elementos como calcio, induciendo desórdenes fisiológicos que reducen la cosecha. Son óptimos los valores entre 50 y 70% según la Asociación de Agrónomos del Cañar (AAIC, 2003).

2.1.4. Requerimientos agronómicos del cultivo

Riego. El manejo apropiado del riego es esencial para asegurar el alto rendimiento y la calidad. Al aire libre, el tomate puede necesitar hasta 6 000 m³ ha⁻¹ de agua y en invernaderos hasta 10 000 m³ ha⁻¹ (Tjalling, 2003).

La escasez de agua producirá un crecimiento reducido en general, y una absorción escasa de calcio en particular, conduciendo al desequilibrio por deficiencia de calcio. La floración es afectada negativamente y se podrían perder racimos. Por otro lado, demasiada agua causará muerte de la raíz debido la condición anaeróbica del suelo, retraso de la floración y desórdenes en la fructificación (Heuvelink, 2005).

Suelo. El tomate prospera en diferentes tipos de suelo, aunque los más indicados son los suelos sueltos, fértiles, bien aireados y con buen drenaje interno y capacidad de retener humedad, de texturas francas a franco arcillosas, con contenidos de materia orgánica altos, por encima del 5% y buen contenido de nutrientes. El pH del suelo debe oscilar entre 5.8 a 6.8 para garantizar la máxima disponibilidad de nutrientes, debe estar libre de piedras y malas hierbas y, sobre todo, ser uniforme (Jaramillo et al., 2007).

Densidad de siembra. De acuerdo a la Asociación de Agrónomos Indígenas de Cañar (AAIC, 2003) las distancias de siembra más utilizadas entre surcos o hileras y plantas son las siguientes:

- 1.00 m (surco) x 0.20 m (planta) = 50 000 plantas por hectárea.
- 1.10 m (surco) x 0.30 m (planta) = 33 333 plantas por hectárea.
- 1.20 m (surco) x 0.30 m (planta) = 27 777 plantas por hectárea.

De acuerdo al mismo autor, la distancia de siembra más común es de 1.20 x 0.30 m conservando un doble eje por planta.

Fertilización. De acuerdo al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP, 2009) las recomendaciones de fertilización en base a un análisis de suelo previo (Tabla 1).

Tabla 1

Recomendaciones de fertilización según el INIAP

Análisis de suelo	Kg ha ⁻¹			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
Bajo	300 - 400	240 - 300	240 - 300	40 - 60
Medio	200 - 300	160 - 240	160 - 240	20 - 40
Alto	100 - 200	80 - 160	80 - 160	0 - 20

Fuente: (INIAP, 2009)

La extracción y acumulación de nutrientes por el cultivo de tomate aumenta conforme se incrementa el crecimiento de la planta; la floración y fructificación son las etapas en las que se producen los cambios más acentuados en la absorción de los nutrientes. La absorción de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio se incrementa intensamente a partir de la floración (45 días) y hasta el inicio de la maduración de los frutos (90 días).

La tasa máxima de acumulación de nutrientes se logra a los 90 días, y es el potasio el elemento que toma la planta en mayor proporción, ya que aproximadamente el 73.8% lo absorbe en el proceso de fructificación. Por otra parte, estudios realizados acerca de la composición mineral del cultivo en diferentes estadios de crecimiento, encontraron que en el momento de la cosecha (100 días) los frutos habían acumulado 60%, 70% y 75% de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente (Jaramillo et al., 2007).

2.1.5. Rendimiento a nivel nacional

Según MAG (2016) el rendimiento nacional en el año 2016 fue de 31.42 toneladas por hectárea (Figura 2), además se muestran los valores correspondientes a la superficie cosechada por año, para el año 2016 fue de 1 768 hectáreas en todo el Ecuador.

Figura 2

Rendimiento de tomate riñón en el Ecuador.



Nota. rendimiento nacional de tomate riñón durante los años 2017 a 2021.

Fuente: (Sistema de Información Pública Agropecuaria del Ecuador [SIPA], 2021)

2.2. Biocarbón o biochar

La International Biochar Initiative o IBI (2012) define al biocarbón como “un material sólido obtenido de una conversión termoquímica de biomasa en un ambiente limitado de oxígeno”. El biocarbón es un carbón de grano fino alto en carbono orgánico y resistente a la descomposición que se produce a partir de la pirólisis de materias primas vegetales y residuales (Shareef y Zhao, 2017).

Como una enmienda del suelo, el biocarbón crea un grupo de carbono del suelo recalcitrante que es carbono negativo, que actúa como una red de extracción de dióxido de carbono atmosférico almacenado en reservas de carbono del suelo altamente recalcitrantes. La mayor capacidad de retención de nutrientes del suelo modificado con biocarbón no solo reduce los requisitos totales de fertilizantes, sino también el impacto climático y ambiental de las tierras de cultivo (Hernández et al., 2014).

2.2.1. Origen e historia

Este producto tuvo su origen al ser redescubiertas las tierras negras de los indios amazónicos de Brasil, descritas como Terra Preta (tierra negra), por Smith en 1879 y Hartt en 1885. Estos autores consignaron la existencia de unos suelos oscuros y fértiles en la Amazonia brasileña, pero no pudieron precisar su origen (Escalante, 2016).

2.2.2. *Procesos para obtener biocarbón*

Existen diversos métodos para la producción de biocarbón, principalmente se consideran las tecnologías termoquímicas para transformar la biomasa en fuentes de energía renovable. Éstas pueden ser clasificadas en cuatro categorías generales: pirólisis lenta, pirólisis rápida, pirólisis ultrarrápida y gasificación. La pirólisis rápida produce cerca del 12% de biocarbón, la moderada el 20%, la lenta el 35%, la gasificación del 10 al 20% (Amonette, 2009).

Pirólisis. La carbonización o pirólisis es la degradación térmica de la materia orgánica presente en la biomasa. El término pirólisis se centra en los productos volátiles generados; el término carbonización se centra en el residuo sólido obtenido. Dentro de los procesos de transformación termoquímica la carbonización es de carácter fundamental ya que construye un primer paso en procesos de combustión y gasificación de carbonizados. Por medio del proceso de carbonización se obtiene productos sólidos, líquidos y gaseoso que pueden ser utilizados directamente como combustible o procesados para la obtención de productos químicos u otro tipo de combustible. Este proceso se completa a temperaturas de aproximadamente 500° C (Escalante, 2016).

Gasificación. La gasificación es un proceso de transformación termoquímica en el que un material sólido orgánico es puesto en contacto con una corriente gaseosa oxidante o agente de reacción a altas temperaturas. Durante la gasificación de biomasa se llevan a cabo tres subprocesos: secado, carbonización (o pirólisis) y gasificación. Estos subprocesos se pueden realizar en un solo reactor (gasificación en una etapa) e en reactores separados (gasificación en dos etapas) (Klose, Rincón y Gómez, 2011).

2.2.3. *Propiedades físico – químicas del biocarbón*

En general, los biocarbones son materiales porosos, poco densos, y caracterizados por una elevada área superficial específica, esta propiedad determina la reactividad y la capacidad del biocarbones para retener iones en su superficie. Por su parte, los poros son también responsables de la elevada capacidad de retención de agua. Los biocarbones poseen un contenido elevado de C recalcitrante, en su mayor parte condensado en anillos aromáticos, lo que le confiere su elevado potencial de secuestro de C (Amonette, 2009).

También cabe destacar la presencia de nutrientes asociados a su fracción mineral (K, Ca, Mg, P, S). La mayoría de los biocarbones son alcalinos ($\text{pH} > 7$) y dependiendo de la dosis aplicada al suelo, pueden ejercer un efecto de encalado sobre el mismo (Lehmann y Joseph, 2009).

2.2.4. Aplicación al suelo

La incorporación de biocarbón al suelo puede alterar sus propiedades físicas tales como la textura, la estructura, la distribución del tamaño de poro, el área superficial total, y la densidad aparente, con repercusión en la aireación, capacidad de retención de humedad, crecimiento de las plantas y facilidad de laboreo del suelo. 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 (Downie et al., 2009).

El biocarbón por lo general incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo y, por lo tanto, la retención de NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , lo que se atribuye a su elevada superficie específica, alta carga superficial negativa y elevada densidad de carga, aspectos que no son frecuentemente desarrollados en los estudios sobre biocarbón (Escalante, 2016).

2.2.5. Dosis de aplicación al suelo

En experimentos de campo muestran que las tasas de 2-20 toneladas por acre equivalente a 5 - 50 t ha^{-1} han dado resultados favorables o positivos. El extremo máximo de este rango puede no ser factible o práctico en términos de abastecimiento e incorporación de biocarbón en el suelo y se ha utilizado de forma considerable o efectiva (Shareef y Zhao, 2017).

2.2.6. Métodos de aplicación al suelo

Para aplicar biocarbón al suelo se deben considerar una serie de factores: a. los relacionados con el suelo (tipo y erodabilidad), b. prácticas de cultivo, c. condiciones del entorno (clima, humedad), d. la forma de aplicación (maquinaria o manual, a 0-30 cm o a mayor profundidad > 30 cm, en banda o cerca de las raíces), en términos generales

puede aplicarse en forma de perdigones junto con otro tipo de mejoradores como abonos o compostas, y en ocasiones se requiere humedecerlo para evitar pérdidas en el aire (Major, 2006).

2.3. Marco legal

Dentro del Plan de Creación de Oportunidades establecido por el Gobierno Nacional de Ecuador para el año 2021-2025, el Eje Económico: Objetivo 3: se menciona: Fomentar la productividad y competitividad en los sectores agrícola, industrial, acuícola y pesquero, bajo el enfoque de la economía circular, ejecutando tres políticas: a) mejorar la competitividad y productividad agrícola, acuícola, pesquera e industrial, incentivando el acceso a infraestructura adecuada, insumos y usos de tecnología modernas y limpias; b) impulsar la soberanía y seguridad alimentaria para satisfacer la demanda nacional y c) fomentar la asociatividad productiva que estimule la participación de los ciudadanos en los espacios de producción y comercialización.

Adicionalmente, El art. 15 de la constitución de la República del Ecuador menciona que el estado promoverá el sector privado y público el uso de tecnologías, ambientalmente limpias, y de energías alternativas no contaminantes, y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

En el artículo 281, en el capítulo tercero menciona que la soberanía alimentaria, constituye un objetivo estratégico y una obligación del Estado para garantizar que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades alcancen la autosuficiencia de alimentos sanos y culturalmente apropiado de forma permanente (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

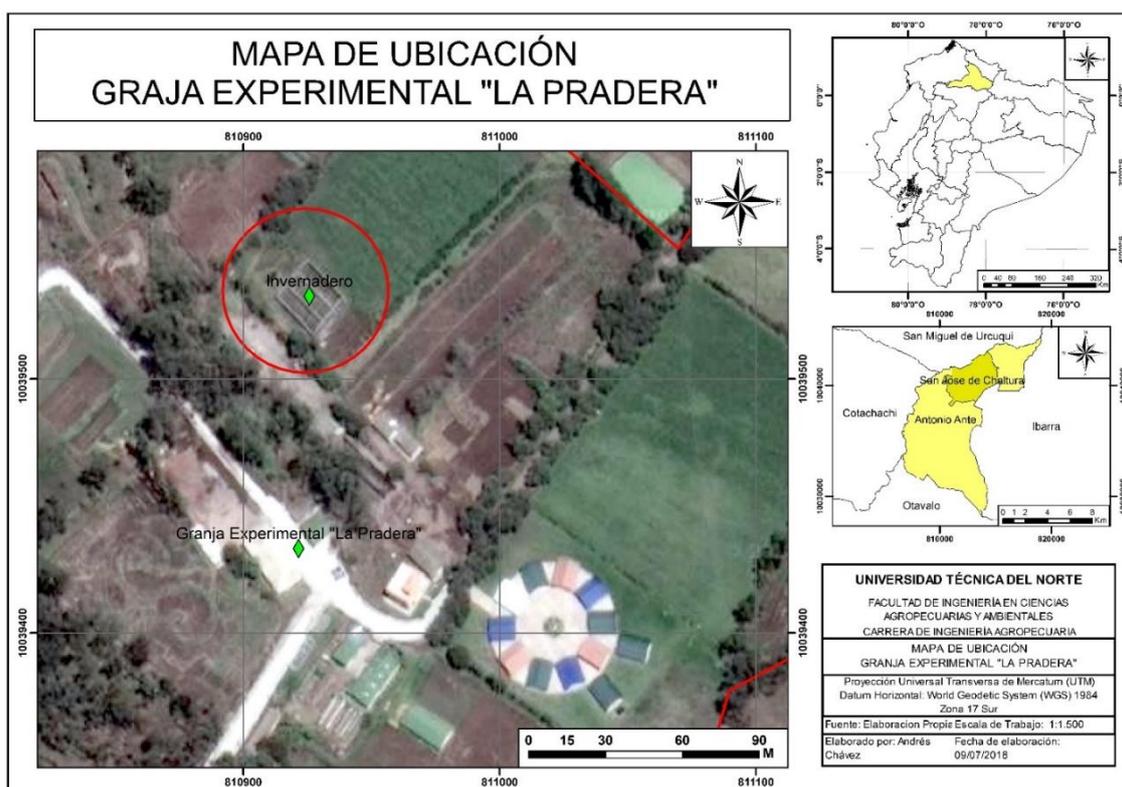
3.1. Caracterización del área de estudio

3.1.1. Ubicación geográfica

El presente proyecto de investigación se realizó en la Granja Experimental La Pradera, ubicada en la parroquia de Chaltura, cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura (Figura 3), en las coordenadas: X= 810913-E; Y=10039425-N.

Figura 3

Mapa de Ubicación Geográfica de la Granja Experimental "La Pradera" de la Universidad Técnica del Norte



1.1.2. Variables climáticas.

En la Tabla 2 se realiza una descripción de las variables climáticas del sector en donde estuvo ubicada la presente investigación.

Tabla 2*Datos climáticos del área de estudio*

Parámetro	Descripción
Altitud	2 350 m s.n.m.
Temperatura promedio anual	16.4 °C
Precipitación anual	600 – 800 mm
Humedad relativa	68.9 %

Fuente: (GAD Municipal de Antonio Ante, 2011)

3.2. Materiales, equipos, insumos y herramientas

Los diferentes materiales y equipos utilizados en el proyecto de investigación de detallan a continuación (Tabla 3).

Tabla 3*Materiales, equipos, insumos y herramientas*

Materiales de campo	Materiales vegetativos	Insumos	Equipos	Herramientas
Infraestructura	Plántulas de	Sustrato	Balanza	Pala
Fundas plásticas	Tomate riñón	Enmienda	electrónica	Rastrillo
Letreros de identificación		biocarbón	Estufa	Azadón
Libreta de campo		Fertilizantes químicos	Horno TLUD	Flexómetro
		Fertilizante orgánico	Balanza	Carretilla
				Bomba de fumigar

3.3. Métodos**3.3.1. Tipo de estudio**

Esta investigación se la cataloga como experimental aplicada de campo; debido a que se trata del manejo de un cultivo agrícola bajo invernadero, y además de la manipulación y evaluación de variables cuantitativas.

3.3.2. Factores en estudio

Los factores en estudio fueron la aplicación de biocarbón como enmienda agrícola y el tipo de fertilización química y fertilización orgánica.

FACTOR A: Enmienda de biocarbón

Niveles

b0 = sin biocarbón

b1 = con biocarbón

FACTOR B: Tipo de fertilización

Niveles

f1 = F. Química

f2 = F. Orgánica

3.3.3. Tratamientos

Los tratamientos obtenidos a partir de los factores en estudio, se detallan a continuación.

Tabla 4

Tratamientos del estudio

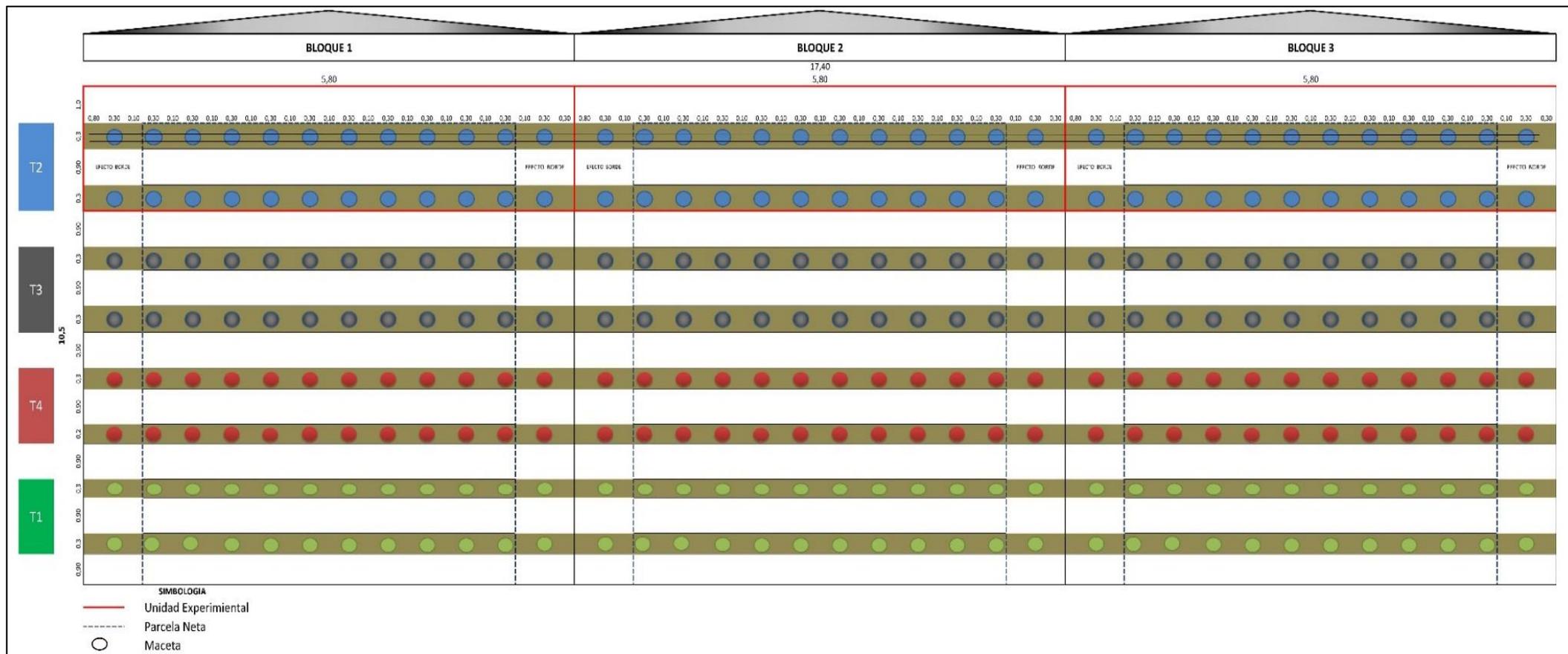
Nº de Tratamiento	Nomenclatura	Descripción
T1	FQ	sin biocarbón + fertilización química
T2	FO	sin biocarbón + fertilización orgánica
T3	B+FQ	con biocarbón + fertilización química
T4	B+FO	con biocarbón + fertilización orgánica

3.3.4. Diseño experimental

Se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), mismo que se muestra en la Figura 4.

Figura 4

Esquema del Diseño Experimental en el Invernadero



Características generales del experimento.

Número de bloques	3
Número de tratamientos	4
Número de unidades experimentales	12
Número de parcelas netas	12
Número total de surcos	8
Número total de fundas	288
Número total de plantas	288
Área total del ensayo:	182.70 m ² (10.50 m x 17.40 m)

Características de la Unidad Experimental.

Área por unidad experimental:	8.20 m ² (2.40 m x 5.80 m)
Número de hileras o surcos:	2
Longitud de las hileras o surcos:	5.80 m
Distancia entre hileras o surcos:	0.90 m
Número de fundas por surcos:	12
Distancia entre fundas:	0.10 m
Diámetro de la fundas:	0.30 m
Número de plantas por unidad experimental:	24

Características por Parcela Neta.

Área de la parcela neta por bloque:	5.40 m ² (1.50 x 3.90 m)
Número de hileras a evaluarse:	2
Longitud de las hileras o surcos:	3.90 m
Distancia entre hileras o surcos:	0.90 m
Número de fundas por surcos:	10
Número de plantas por parcela neta:	20

3.3.5. Análisis estadístico (ANOVA)

Se utilizó el software INFOSTAT para el análisis estadístico de todas las variables evaluadas, mediante el ADEVA con prueba de Fisher al 5%, tal y como se indica en la Tabla 5.

Tabla 5

Análisis de varianza

Fuentes de variación	Grados de Libertad	
Bloques	2	(a-1)
Tratamientos	3	(b-1)
Error experimental	6	ab (n-1)
Total	11	abn-1

3.4. Variables evaluadas

3.4.1. Biomasa

Materia seca. Para la medición de esta variable se utilizó el modelo propuesto por Hunt, Causton, Askew y Shipley (2002), para lo cual se ejecutó el pesaje de todas las partes remanentes de la planta (raíz, tallo, hojas, frutos).

Se evaluaron tres plantas por cada unidad experimental (UE) después de haber cosechado todos los frutos, de esta manera se obtuvo el peso de la materia húmeda (PMH), posteriormente se secó con la utilización de una estufa de laboratorio a 70° C por alrededor de 24 horas, luego se procedió a pesar el resultado para obtener el peso de la materia seca (PMS) y finalmente para obtener el valor de materia seca se aplicó la siguiente fórmula.

$$MS = PMF - (PMF - PMS)$$

Dónde:

MS: materia seca

PMF: peso de la materia fresca

PMS: peso de la materia seca

Índice Tallo / Raíz. El Índice Tallo/Raíz (ITR), se define como la proporción entre el peso seco de la parte aérea (tallo y hojas) y el peso de la raíz. Este índice determina el balance entre la superficie transpirante y la superficie absorbente de la planta. Generalmente, cuando este índice es cercano a 1, se puede sugerir un efecto positivo en las enmiendas aplicadas al suelo. Según Van Willen, una planta que se encuentra en un ambiente favorable del suelo, reduce su gasto de energía en la producción de tejido radicular (Montoya y Cámara, 1996).

Poluektov y Topazh (2005) establecen el procedimiento para el cálculo de esta variable, como primer paso se realizó el pesaje de la parte aérea y la parte subterránea de tres plantas por UE después de haber cosechado todos los frutos, posteriormente se procedió a secar las muestras tanto de la parte aérea como de la parte subterránea, en una estufa de laboratorio a 70 °C por alrededor de 24 horas. Posteriormente se realizó el pesaje de todas las muestras para obtener el peso de la materia seca (PMS). Finalmente, para conseguir el índice Tallo/Raíz se aplicó la siguiente fórmula:

$$ITR = \frac{PMS_{Tallo}}{PMS_{Raíz}}$$

Dónde:

I: Índice tallo/raíz

PMS_{Tallo}: peso de la materia seca del tallo

PMS_{Raíz}: peso de la materia seca de la raíz

3.4.2. Número de frutos por planta

Se efectuó el conteo de los frutos cosechados de las 20 plantas disponibles para trabajar por parcela neta. Posteriormente, se realizó la suma de los frutos de cada cosecha para obtener el número total de frutos cosechados por planta.

3.4.3. Peso del fruto

Desde el inicio de la cosecha (95 días después de la siembra en promedio) se tomaron los datos del peso fresco de todos los frutos cosechados de todas las 20 plantas disponibles para trabajar de cada parcela neta.

3.4.4. *Categoría del fruto*

Se realizó la categorización de los frutos según el tamaño del diámetro ecuatorial, de cada fruto cosechado de todas las 20 plantas establecidas en cada parcela neta. Se utilizó como base la Norma Técnica INEN 1745 (Tabla 6). Hortalizas frescas. Tomate riñón. Requisitos de calidad.

Tabla 6

Categorización del tomate riñón en base a diámetro ecuatorial

Categoría	Diámetro (mm)	
	Mínimo	Máximo
Grande	70	Mayor que
Mediano	56	69
Pequeño	40	55

3.4.5. *Rendimiento*

Para el cálculo de esta variable se realizó la cosecha de las 20 plantas de cada parcela neta de todos los tratamientos para obtener así los kilogramos de frutos por parcela neta. Los rendimientos obtenidos se proyectaron en kilogramos por metro cuadrado y toneladas por hectárea. Tomando en cuenta un ajuste de 10 % menos del valor real (Gabriel, Castro, Valverde y Indacochea, 2017).

3.4.6. *Composición química del suelo (pH, CIC, macro y micro nutrientes)*

Para la medición de esta variable, se realizó un análisis químico de suelo de cada unidad experimental, para lo cual se colectaron 20 sub muestras extrayendo un kilogramo de suelo de cada funda. Estas sub muestras fueron mezcladas para formar una sola muestra de un kilogramo que posteriormente fue enviada a un laboratorio privado. Este proceso se realizó al final del experimento, es decir, una vez retiradas las plantas de las macetas.

3.4.7. *Análisis financiero*

Se realizó el cálculo general de los costos de producción de cada tratamiento. Adicionalmente, la variable de carácter económico denominada: relación beneficio/costo.

3.5. Manejo específico del experimento

3.5.1. Preparación del área de estudio

Para dar inicio a la parte experimental, en primer lugar, se procedió a realizar un mantenimiento general de la estructura del invernadero (Figura 5). Además, se ejecutó una limpieza de malezas tanto en los contornos como en el interior del invernadero.

Figura 5

Readecuación de la cubierta del invernadero, Granja Experimental La Pradera.



3.5.2. Elaboración de la enmienda biocarbón

Posteriormente, se elaboró la enmienda biocarbón con la utilización de un horno TLUD (Top-Lit UpDraft) de aproximadamente 200 litros (Figura 6), con el principio de pirólisis lenta y gasificación basado el diseño elaborado por Thomas B. Reed's (2003).

La materia prima a utilizada fue madera de pino (*Pinus* spp.). El rendimiento obtenido de biocarbón fue del 30%, por lo que para producir 45 kg de biocarbón se necesitaron 150 kg de materia prima. Durante el proceso de carbonización la temperatura que se alcanzó, vario entre 400° C y 600 °C y la duración total del proceso fue de 10 horas.

Figura 6

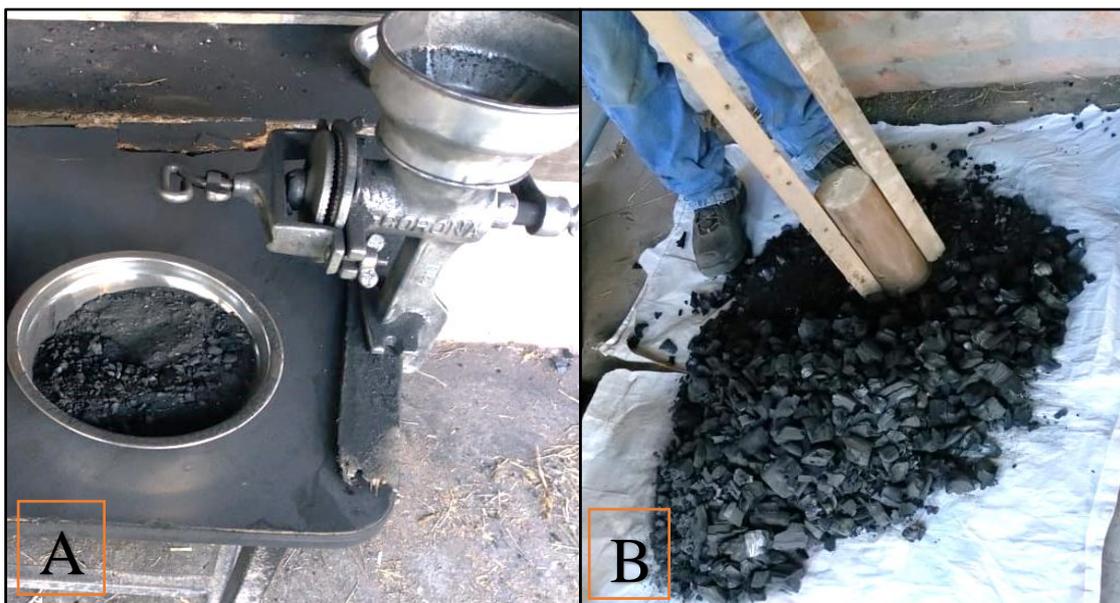
Horno TLUD (Top-Lit UpDraft) de 200 litros



Una vez que se obtuvo el biocarbón se realizó una trituración utilizando un molino casero manual, esto para una mejor aplicación al suelo (Figura 7).

Figura 7

Trituración del biocarbón.



Nota. A) Micro trituración del biocarbón utilizando un molino casero manual; B) Trituración del biocarbón utilizando una base sólida.

3.5.3. *Obtención del suelo*

El suelo utilizado en el presente estudio fue extraído de los lotes agrícolas de la Granja Experimental La Pradera, a una profundidad de 25 cm con el objetivo de que los resultados obtenidos sean aplicados a nivel de campo en el manejo de cultivo tradicional. Posteriormente el suelo fue trasladado a una superficie plana para cubrirlo con plástico transparente y realizar una solarización por 30 días, este proceso, corresponde a una técnica ecológica utilizada para disminuir la incidencia de enfermedades fúngicas y de insectos plaga a nivel de suelo (Arbolea, 2019).

Además, se efectuó una caracterización básica del suelo como se detalla en la Tabla 7, para lo cual se tomó como base el análisis químico de composición de nutrientes del suelo (Anexo 1), que se realizó al inicio del experimento general.

Tabla 7

Características básicas del suelo

	Parámetro	Valor	Unidad
Propiedades físicas	Textura	Limo arenoso – arcilloso	
	Color	7.5YR 4/4 – pardo	
	Orden	Andisol	
Propiedades químicas	Materia orgánica	3.50	%
	pH	7.40	
	Conductividad Eléctrica (CE)	3.18	mS cm ⁻¹
	Capacidad de Intercambio catiónico (CIC)	15.20	%

3.5.4. *Dosis de sustrato por cada funda plástica*

Las fundas plásticas fueron de color negro, de 35 cm de alto por 30 cm de ancho. El suelo que previamente fue preparado y solarizado formo parte de sustrato total, la relación utilizada fue de 75% p/p suelo más la adición de pomina en un 25 % p/p, dando un total de 10 kg de sustrato, la pomina fue necesaria para evitar la compactación del suelo dentro de las fundas plásticas. El cálculo de la cantidad de sustrato necesario se realizó en base a la capacidad de la funda plástica (Anexo 2).

Las macetas fueron distribuidas a razón de que las plantas estén separadas por 0.40 m entre si y en una distancia de 0.90 m por hilera (Figura 8).

Figura 8

Distribución de las fundas de acuerdo a la densidad de siembra establecida



3.5.5. Dosis de biocarbón o biochar

La dosis aplicada de la enmienda biocarbón fue de 30 t ha⁻¹ (Shareef y Zhao, 2017). Esta dosis corresponde al extremo máximo de recomendación, y se utilizó ese alto valor debido a que se deseaba obtener un funcionamiento alto de la enmienda. Se calculó la cantidad de la enmienda en función del área de cada funda (Anexo 3).

3.5.6. Dosis de fertilización orgánica (pollinaza)

Para obtener la dosis de pollinaza (producto comercial) por cada funda, se utilizó como base el análisis químico de suelo (Tabla 8), el análisis completo se lo puede observar en el Anexo 1; Además, se usó la guía de recomendaciones de fertilización del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) para el cultivo de tomate riñón bajo invernadero.

Tabla 8*Resultados e interpretación del análisis de suelo*

Análisis	Unidad	Niveles óptimos ¹	Resultado	Interpretación ¹	
Macronutrientes	Nitrógeno (N)	mg kg ⁻¹	30 - 60	567.0	Alto
	Fósforo (P)	mg kg ⁻¹	30 - 50	74.3	Alto
	Potasio (K)	mg kg ⁻¹	140 - 320	570.0	Alto
	Magnesio (Mg)	mg kg ⁻¹	45 - 135	207.0	Alto
	Calcio (Ca)	mg kg ⁻¹	500 - 1200	670.0	Medio
	Azufre (S)	mg kg ⁻¹	10 - 15	66.1	Alto

Nota. 1) Los niveles óptimos y la interpretación son recomendaciones del laboratorio privado de análisis químico de suelos. Fuente: Agrarprojekt S.A. (2019).

Los resultados del contenido de cada nutriente, obtenidos en el análisis químico de suelo, se muestran en mg por cada kilogramo de suelo, por tal motivo fue necesario convertir esos valores a kg de nutriente por hectárea, además, dichos valores, fueron transformados de nutrientes puros, como indica el análisis, a nutrientes biodisponibles para la planta (Tabla 9), utilizando los factores de conversión para este procedimiento (Anexo 4). Cabe destacar que, estos cálculos se utilizaron para comparar, interpretar y calcular las dosis de fertilizante según las recomendaciones de fertilización del INIAP.

Tabla 9

Conversión de nutrientes puros a nutrientes biodisponibles, transformación de mg de nutrientes por kilogramo de suelo a kilogramos por hectárea e interpretación de resultados

Nutrientes puros	Valor (mg kg ⁻¹)	Conversión	Nutrientes biodisponibles	Valor (mg kg ⁻¹)	Conversión	Valor (kg ha ⁻¹)	Interpretación según INIAP
Nitrógeno (N)	567.00		N	567.00		1771.88	Alto
Fósforo (P)	74.30	→	P ₂ O ₅	170.37	→	532.41	Alto
Potasio (K)	570.00	→	K ₂ O	686.85	→	2146.41	Alto
Magnesio (Mg)	207.00	→	CaO	937.33	→	2929.16	Alto
Calcio (Ca)	670.00	→	MgO	343.21	→	1072.52	Medio
Azufre (S)	66.10		S	66.10		206.56	Alto

Una vez que conocida la interpretación adecuada para cada nutriente, se procedió a seleccionar el rango recomendado para valores altos, tomando como base la recomendación del INIAP (2009) y de Tjalling (2003). La fertilización utilizada en el

ensayo fue 100 kg de N, 80 kg de P₂O₅, 80 kg de K₂O, 250 kg de CaO, 95 kg de MgO y 10 kg de S, todos los valores equivalen a kilogramos por hectárea para cada nutriente.

Tanto la fertilización orgánica como la fertilización química tuvieron que ser igualadas entre sí, para tener homogeneidad en todos los tratamientos y por ende que su comparación sea lo más justa posible. Por tal razón, se calculó la cantidad de pollinaza requerida para cubrir los 100 kg de N por hectárea general (Anexo 5) de la recomendación, tomando en cuenta el porcentaje de contenido que aporta la pollinaza para cada nutriente: 2.74 % N, 1.76 % P₂O₅, 3.63 % K₂O, 4.42 % CaO, 1.06 % MgO y 0.24 % S (INDIA,2019). Cabe destacar que para cubrir los 100 kg de N de la recomendación se necesitó 3.65 toneladas de pollinaza. El cálculo de los demás nutrientes me muestra en la Tabla 10.

Tabla 10

Requerimientos nutricionales para el cultivo de tomate riñón utilizados en el ensayo y el porcentaje de aporte para cada nutriente de la pollinaza cubriendo la necesidad principal Nitrógeno.

	Nutrientes					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S
Requerimientos para el cultivo (rango para resultados altos).	100 ¹	80 ¹	80 ¹	250 ²	95 ²	10 ¹
Dosis de pollinaza necesaria cubrir los 100 kg ha ⁻¹ de N.	3.65 t ha ⁻¹	↓	↓	↓	↓	↓
Porcentaje aportado por la pollinaza de cada nutriente	2.74 %	1.76 %	3.63 %	4.42 %	1.06 %	0.24 %
Aporte real de cada nutriente en 3.65 t de pollinaza.	100	64	132	161	39	9

Nota. 1) Recomendaciones de nutrición para el cultivo de tomate riñón según (INIAP, 2009). 2) Recomendaciones de nutrición para el cultivo de tomate riñón según (Tjalling, 2003).

Una vez que fueron obtenidas las dosis de cada nutriente, se procedió a calcular la dosis de pollinaza por funda. Este cálculo se realizó en función del área de la funda (Anexo 6). En la Tabla 11 se muestran la dosis específica.

Tabla 11*Dosis de fertilización orgánica expresada en kilogramo y gramos por funda*

Dosis	Pollinaza		
	kg ha ⁻¹	kg por funda	g por funda
Dosis por funda	3 650	0.02592	25.92

3.5.7. Aplicación de la fertilización orgánica

La aplicación del fertilizante orgánico (pollinaza) se realizó una semana antes del trasplante (Figura 9) de acuerdo a la dosis establecida.

Figura 9*Aplicación de la enmienda biocarbón más la dosis de fertilización orgánica*

El fraccionamiento de las dosis (Tabla 12) fue en dos partes: la primera una semana antes del trasplante y la segunda a los 45 días, es decir, al inicio del estado de fructificación.

Tabla 12*Fraccionamiento del fertilizante orgánico expresado en porcentaje*

Aplicación de la pollinaza	ddt*	Pollinaza %
Antes del trasplante	0	50
Inicio de la floración	45	50
Total		100

Nota. *ddt: días después del trasplante

3.5.8. Dosis de fertilización química

Para la dosis de fertilización química se consideró un principio de igualdad entre ambos tipos de fertilización, es decir, se utilizó el aporte real de cada nutriente en 3.65 t de pollinaza (Tabla 10), como recomendación de fertilización para la fertilización química. En conclusión, los valores utilizados fueron de 100 kg de N, 64 kg de P₂O₅, 132 kg de K₂O, 161 kg de CaO, 39 kg de MgO y 9 kg de S, todos los valores equivalen a kilogramos por hectárea para cada nutriente.

Debido a que el experimento fue establecido en fundas, se calculó la dosis de los nutrientes en función del área de cada funda (Anexo 7). Este proceso fue utilizando para todos los nutrientes (Tabla 13).

Tabla 13

Dosis de la fertilización química de cada nutriente por funda

Nutrientes	Unidad	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S
Recomendación igualada a la fertilización orgánica	kg ha⁻¹	100	64	132	161	39	9
	kg por funda	0.00071	0.00046	0.00094	0.00115	0.00027	0.00006
	g por funda ¹	0.71	0.46	0.94	1.15	0.27	0.06
Cantidad total para 144 fundas	(g)	102.2	65.7	135.4	164.9	39.6	9.0

Nota. 1) cantidad necesitada por cada funda en gramos

Una vez obtenidas las dosis de cada nutriente, tanto en gramos por funda y también la cantidad total necesaria para las 144 fundas que llevan este tipo de fertilización, se procedió a establecer las cantidades necesarias de cada fertilizante comercial utilizar. El resultado individual para cubrir la cantidad de cada nutriente requerido se puede observar en el Tabla 14.

Las fuentes de fertilizantes utilizadas fueron seis, la cantidad de cada uno se estableció en base a la cantidad total para aplicar a las 114 fundas que llevaron dicho tipo de fertilización. En conclusión, se utilizó 634.40 g de nitrato de calcio, 44.75 g de sulfato de magnesio, 126.25 g fosfato mono potásico, 29.75 g de nitrato de potasio, 131.90 g de muriato de potasio y 28.35 g de quelato de Mg.

Tabla 14

Cantidades y fuentes de fertilizante comercial a ocupar para cubrir la dosis de nutrientes seleccionada

		(g)	Cantidad requerida para 144 fundas (g)					
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S
			102.2	65.7	135.4	164.9	39.6	9.0
Fertilizante comercial	Nitrato de calcio	634.40	98.3	-	-	164.9	-	-
	Sulfato de magnesio	44.75	-	-	-	-	11.2	9.0
	Fosfato mono potásico	126.25	-	65.7	42.9	-	-	-
	Nitrato de potasio	29.75	4.0	-	13.4	-	-	-
	Muriato de potasio	131.90	-	-	79.1	-	-	-
	Quelato de Mg	28.35	-	-	-	-	28.4	-

3.5.9. Aplicación de la fertilización química

Los fertilizantes químicos fueron agregados de manera sólida de acuerdo a la dosis establecida para cada funda y al fraccionamiento recomendado (Tabla 15).

Figura 10

Aplicación de la enmienda biocarbón más la dosis de fertilización química



Tabla 15*Fraccionamiento de fertilización por etapa expresada en porcentaje*

Etapa	Aplicación del fertilizante	ddt*	Porcentaje (%) aplicado					
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S
1	Antes del trasplante	0	50	50	50	50	50	50
2	Inicio de la floración	45	50	50	50	50	50	50
	Total		100	100	100	100	100	100

Nota. *ddt: días después del trasplante

3.5.10. *Trasplante*

Una vez realizada la adición de biocarbón, y los diferentes tipos de fertilización para cada tratamiento, se procedió a efectuar el trasplante de las plántulas de tomate riñón de la variedad Pietro.

En esta actividad se procuró que cada plántula este establecida en el centro de cada funda tal como se muestra en la Figura 11.

Figura 11*Plántula de tomate riñón trasplantada en la funda*

3.5.11. Riego

Se instaló un sistema de riego por goteo de acuerdo al área designada. Antes de iniciar el riego se realizó una calibración general de todo sistema de riego (Figura 13). Cada riego se efectuó en la mañana (07:00 – 09:00) y en la tarde (15:00 – 17:00), para poder cumplir con la necesidad hídrica del cultivo de tomate de 2 litros por metro cuadrado por día (Tjalling, 2003), además se tomó como base un monitoreo visual de la capacidad de campo del sustrato.

Figura 12

Sistema de riego instalado en el invernadero



3.5.12. Podas

Las podas se ejecutaron a partir del día 30 después del trasplante, dejando dos ejes. Además, mediante la utilización de una tijera de podar desinfectada se eliminaron los brotes axilares (yemas) y el exceso de hojas senescentes o enfermas.

3.5.13. Tutorado

Para la realización del tutorado se tensaron cables industriales en la parte superior de cada hilera, a una altura de 2.15 m. Para realizar el tutorado se utilizó cinta comercial de tutorado y se procedió a sujetar en el tallo, sin demasiada presión, antes de la división de los ejes, para luego sujetar el otro extremo de la cinta en el cable.

3.5.14. Controles fitosanitarios

Se realizó un monitoreo constante cada semana para observar la presencia de plagas y enfermedades en el cultivo y así realizar un oportuno manejo de plagas (Anexo 8) y enfermedades (Anexo 9) basado en la guía de manejo integrado propuesto por la FAO (2013) y el Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile, INIA (2017).

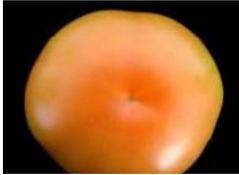
3.5.15. Cosecha

La cosecha se inició a los 99 ddt y se finalizó a los 194 ddt, con el objetivo de mantener un principio de igualdad entre cada uno de los tratamientos y que su comparación sea lo más precisa posible.

La cosecha se realizó de forma manual de cada una de las 20 plantas disponibles para trabajar de cada parcela neta. Para la recolección de los frutos se tomó en cuenta su madurez fisiológica y su estado de maduración (Tabla 16). Todos los frutos fueron cosechados en el grado de maduración N° 3 y 4.

La cosecha total se realizó dos veces por semana por un periodo de tres meses exactos. El tiempo de cosecha fue igual para todos los tratamientos.

Tabla 16*Estados de madurez del fruto de tomate*

Estados de madurez	Descripción	Imagen
1	Toda la superficie del fruto es verde, no hay rojo visible.	
2	Hay un ligero cambio de color verde a canela-amarillo, rosado o rojo.	
3	Más del 10%, pero menos del 30% de la superficie muestra un cambio definitivo a canela-amarillo, rojo o una combinación de estos colores.	
4	Más del 30%, pero menos del 60% de la superficie muestra un cambio definitivo a canela-amarillo, rojo.	
5	Más del 60%, pero menos del 90% de la superficie del fruto muestra un color rojo.	
6	Más del 90% de la superficie del fruto muestra un color rojo.	

Nota. Descripción de los parámetros para identificar el estado fisiológico del fruto de tomate riñón para la cosecha. Fuente: (Heuvelink, 2005).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Biomasa (materia seca)

Los resultados del análisis estadístico muestran que existe una diferencia significativa en el factor tratamiento relacionados con el estudio de la variable materia seca ($F=3.85$; $gl=3, 30$; $p=0.0191$) (Tabla 17).

Tabla 17

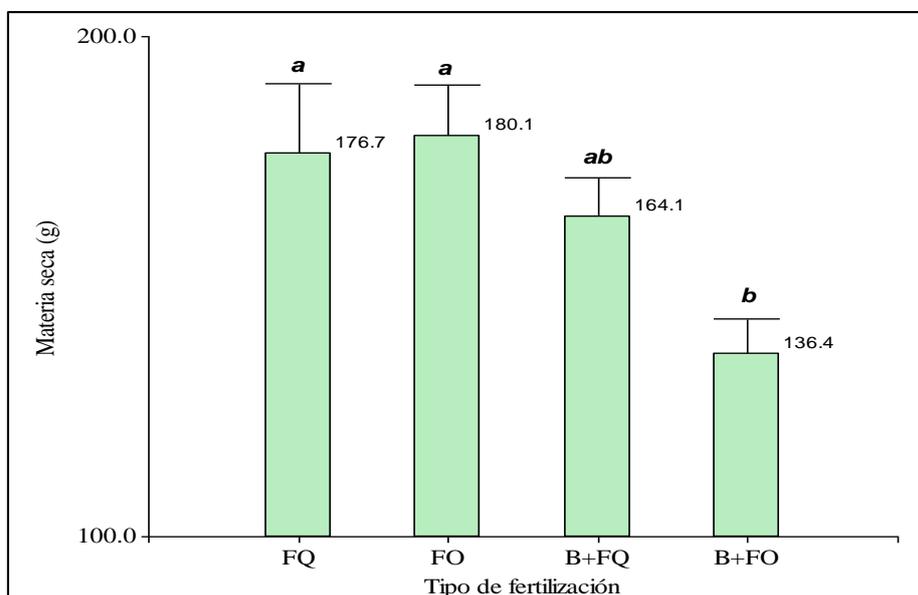
Análisis de varianza para la variable materia seca.

Fuentes de variación (FV)	Grados libertad (GL)	Grados de error (EE)	Valor F (F)	Valor P (P)
Tratamiento	3	30	3.85	0.0191

En la figura 13 se puede observar que los tratamientos con fertilización química y orgánica sin biocarbón acumularon mayor cantidad de materia seca que el resto de los tratamientos, en el tejido remanente después de haber cosechado sus frutos a 195 días después del trasplante (ddt). A su vez, esta materia seca fue similar para ambos tratamientos, alcanzando un promedio de 178.4 g por planta, mismo que es superior a los tratamientos B+FQ y B+FO por 8.71% y 30.79% respectivamente. Adicionalmente, el tratamiento B+FQ fue superior al tratamiento B+FO por 20.3%.

Figura 13

Contenido de materia seca (g) por cada tratamiento de estudio



La distribución de la materia seca entre los diferentes órganos de la planta tiene un papel fundamental en la producción de un cultivo, ya que el rendimiento de este viene dado por la capacidad de acumular biomasa en los órganos que se destinan a la cosecha (Barrientos Llanos et al., 2015).

En condiciones de manejo de fertilización química convencional y bajo invernadero, el contenido de materia seca por planta reportada por Barrientos Llanos et al. (2015), fue de 179.8 g a los 120 ddt; conforme al tema Omaña y Peña (2015) establecieron un contenido de 255.83 g en promedio por planta a los 98 ddt. Por otra parte, Alemán Pérez et al. (2016) evaluaron un manejo de fertilización completamente orgánica, aplicando únicamente compost, en el que reporta un contenido de materia seca de 106.44 g por planta. Estos valores muestran, lo que en términos generales se obtiene normalmente de materia seca por cada planta de tomate riñón tanto para fertilización química como para fertilización orgánica.

Los valores obtenidos en la presente investigación fueron superiores a los encontrados por Guo L, Yu H, Kharbach M, Zhang W y Wang J. (2021) con 40.36 g (\pm 0,13 Ab) de materia seca por planta, datos que fueron medidos de una manera similar, en condiciones semejantes y utilizando las misma dosis de la biocarbón (30 t ha¹), así mismo los autores utilizaron una fertilización de 170 kg de nitrógeno por hectárea, superior a la

evaluada en el presente estudio. Al mismo tiempo, dichos resultados muestran una tendencia diferente; en estos se denota que existió una alta variación con el tratamiento de solo fertilización química (30.32 g) respecto al tratamiento en el que se adiciono el biocarbón. Es decir, el tratamiento con biocarbón fue superior en 33.11% respecto al tratamiento con solo fertilización química. Por su parte Balta (2019) reporta valores que obedecen a la tendencia anterior, encontrando un contenido de materia seca por planta de 23.17 g en promedio, este valor supera en 23.46 % al tratamiento no enmendado.

4.2. Categoría de fruto

Los resultados estadísticos de la Tabla 18 indican el análisis de contingencia de valores para la variable categoría de fruto, donde se muestra el número total de frutos cosechados por tratamiento asignados a cada categoría.

Tabla 18

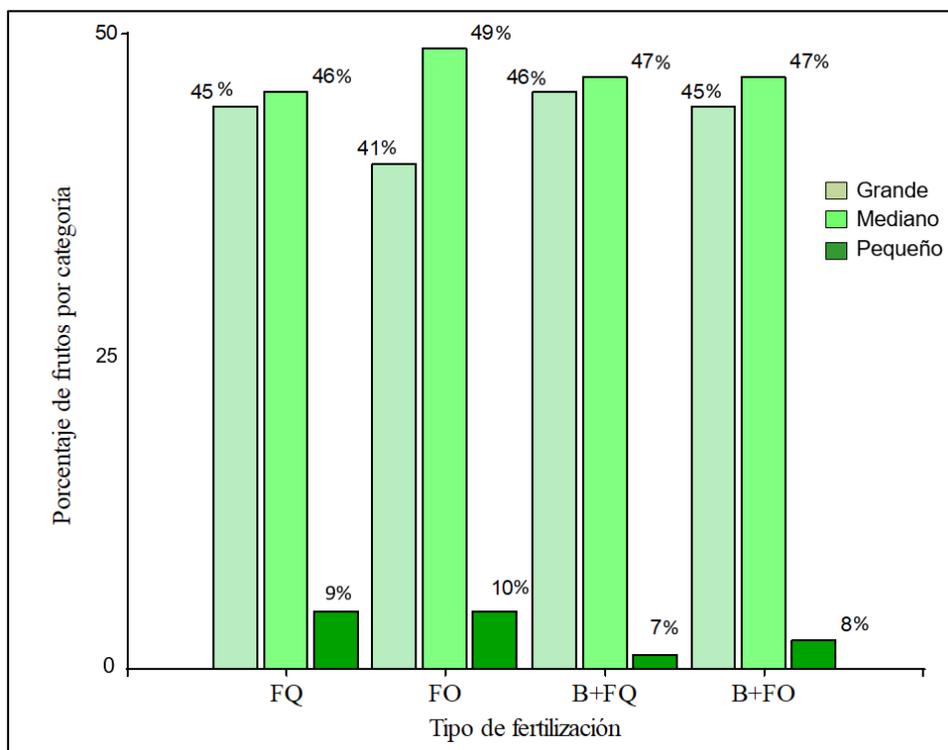
Análisis de contingencia de categoría de frutos, expresando el número total de frutos cosechados de cada tratamiento

Tratamiento	Categoría			Total
	Grande < 70 mm	Mediano 56 – 69 mm	Pequeño 40 – 55 mm	
T1: FQ	752	770	164	1686
T2: FO	671	817	164	1652
T3: B+FQ	780	804	128	1712
T4: B+FO	755	798	139	1692
Total	2958	3189	595	6742

La figura 14 muestra los resultados en porcentaje del total de frutos de acuerdo a la categoría evaluada. En términos generales, todos los tratamientos superan una producción del 90% de las categorías de interés económico como son grande y mediana, debido a que estos dos tipos de categoría son retribuidos al mismo precio de venta, a diferencia de la categoría pequeña que se comercializa a un menor precio (dos por uno). El tratamiento de fertilización orgánica por si solo arroja un porcentaje de 10% de frutos para la categoría pequeña, el más alto de todos los tratamientos. Sin embargo, al adicionar biocarbón a la fertilización química, este valor disminuye a 8%. Lo cual resulta positivo para la rentabilidad a corto y largo plazo. Se puede observar la misma tendencia en la fertilización química (9% de la categoría pequeña), que al agregar biocarbón a dicho tipo de fertilización se reduce a 7% de categoría pequeña.

Figura 14

Porcentaje de cada categoría de frutos cosechados de acuerdo a su diámetro ecuatorial por cada tratamiento



4.3. Rendimiento

Los resultados del análisis estadístico muestran que existe una diferencia significativa en el factor tratamiento con ($F=5.16$; $gl=3, 6$; $p=0.0423$) respecto al estudio de la variable rendimiento (Tabla 19).

Tabla 19

Análisis de varianza para la variable rendimiento.

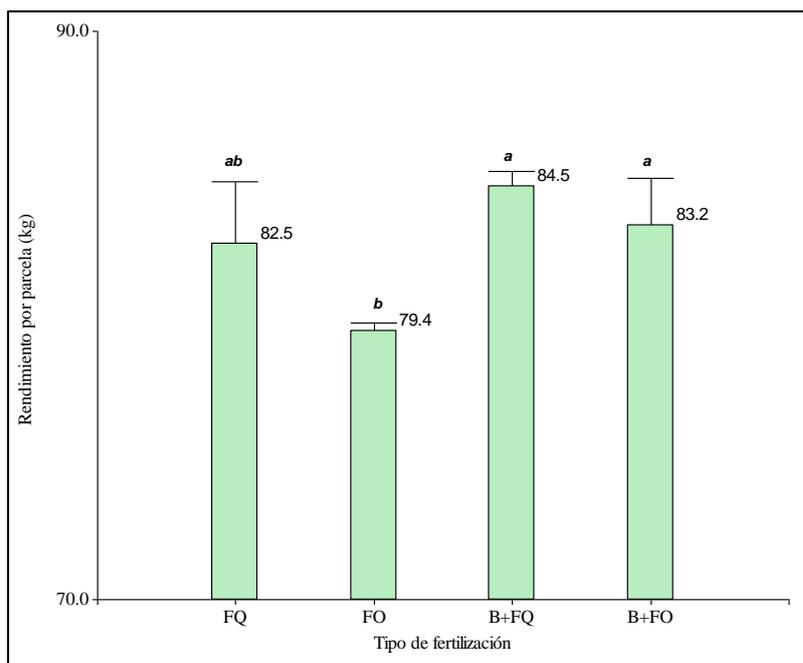
Fuentes de variación (FV)	Grados libertad (GL)	Grados de error (EE)	Valor F (F)	Valor P (P)
Tratamiento	3	6	5.16	0.0423

En la figura 15 se puede observar que los tratamientos con fertilización química y orgánica con adición de biocarbón, y la fertilización química obtuvieron un mayor rendimiento por parcela neta que el tratamiento de fertilización orgánica. Cabe destacar que este rendimiento fue similar para los tres tratamientos, alcanzando 83.40 kg por

parcela neta para B+FQ, 83.20 kg para B+FO y 82.50 para FQ, Es decir, los tres tratamientos obtuvieron 83.85 kg en promedio. Como consecuencia, dicho valor fue superior únicamente en 5% para el tratamiento de fertilización orgánica.

Figura 15

Rendimiento de cada tratamiento por parcela neta (5.40 m²)



Los rendimientos obtenidos para cada tratamiento fueron de 1137.52, 132.30, 140.85 y 138.69 t ha⁻¹ para FQ, FO, B+FQ, B+FO, respectivamente (Tabla 20).

Las diferencias observadas en el rendimiento muestran similitudes con otro estudio, en el cual se utilizó biocarbon a base de cascarilla de trigo, donde se obtuvo un rendimiento de 114 t ha⁻¹ en tomate (Maienza et al., 2015), de igual manera Barrientos Llanos et al. (2015) presento un rendimiento de 22.6 kg m⁻².

Los resultados del presente estudio, son altamente superiores al rendimiento reportado por Guo L, et al. (2021) de 85.91 t ha⁻¹, en donde se utilizó la misma dosis de biocarbón (30 t ha⁻¹), en ambiente protegido y 170 kg de nitrógeno como base de fertilización. Sin embargo, es necesario acotar que el autor evidencio una alta variación del rendimiento del tratamiento en que se usó biocarbón (85.91 t ha⁻¹), respecto al tratamiento de solo fertilización química (56.52 t ha⁻¹), siendo superior en 51.99%. Por lo que se deduce que el biocarbón sigue la tendencia esperada al elevar el rendimiento y la

producción de los cultivos. En la presente investigación tanto la fertilización química y la fertilización orgánica en adición de biocarbón siguen en mismo comportamiento, siendo superiores a su respectivo tratamiento de control al menos en 2.42%.

Tabla 20

Rendimiento por cada tratamiento evaluado, convertido de kg por parcela y expresado en kg m⁻², t ha⁻¹

Tratamiento	kg por parcela (5.40 m ²)	Rendimiento	
		kg m ⁻²	t ha ⁻¹ *
T1: FQ	82.50	15.28	137.52
T2: FO	79.40	14.70	132.30
T3: B+FQ	84.50	15.65	140.85
T4: B+FO	83.20	15.41	138.69

Nota. Valores ajustados en 10 % menos del valor real.

4.4. Composición química del suelo

En la Tabla 21 se puede observar los resultados estadísticos de las sub variables de la composición química del suelo, se evidencia las propiedades químicas como la capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH, conductividad eléctrica (CE) y los macronutrientes tanto primarios como secundarios.

Tabla 21

Propiedades químicas y macronutrientes a nivel de suelo de cada tratamiento con sus media y error estándar

	Unidad	Valor inicial	FQ	FO	FQ+B	FO+B	Valor P
CIC	meq/100 g	15.2	10.57 ± 0.09 C	11.30 ± 0.29 a	11.37 ± 0.26 a	10.90 ± 0.06 b	0.0427
CE	mS/cm	3.18	0.21 ± 0.01 A	0.16 ± 3.3 x 10 ⁻³ b	0.19 ± 0.01 a	0.22 ± 0.03 a	0.0017
pH	—	7.10	7.63 ± 0.03 A	7.70 ± 0.06 a	7.77 ± 0.03 a	7.60 ± 0.06 a	0.0205
N	mg/kg	567.00	13.57 ± 0.30 A	9.67 ± 0.15 b	13.90 ± 0.44 a	14.17 ± 0.66 a	<0.0001
P	mg/kg	74.30	64.65 ± 0.72 A	57.47 ± 2.05 b	58.13 ± 0.58 b	65.50 ± 0.58 a	0.0004
K*	mg/kg	570.00	83.00 ± A	87.33 ± a	83.37 ± a	85.27 ± a	0.4304
Mg	mg/kg	207.00	140.50 ± b	131.00 ± b	147.50 ± a	135.00 ± b	0.0001
Ca	mg/kg	610.00	360.50 ± A	352.00 ± a/b	346.50 ± b	344.00 ± b	<0.0001
S	mg/kg	66.10	4.90 ± A	3.30 ± b	5.37 ± a	5.80 ± a	<0.0001

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). cada valor es el valor medio de cuatro repeticiones, ± error estándar.

4.4.1. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Los resultados estadísticos de la Tabla 22 indican que, el factor tratamiento muestra una diferencia significativa con ($F=3.43$; $gl=3, 6$; $p=0.0427$) respecto a la variable CIC en los diferentes tratamientos.

Tabla 22

Análisis de varianza de la capacidad de intercambio catiónico (CIC).

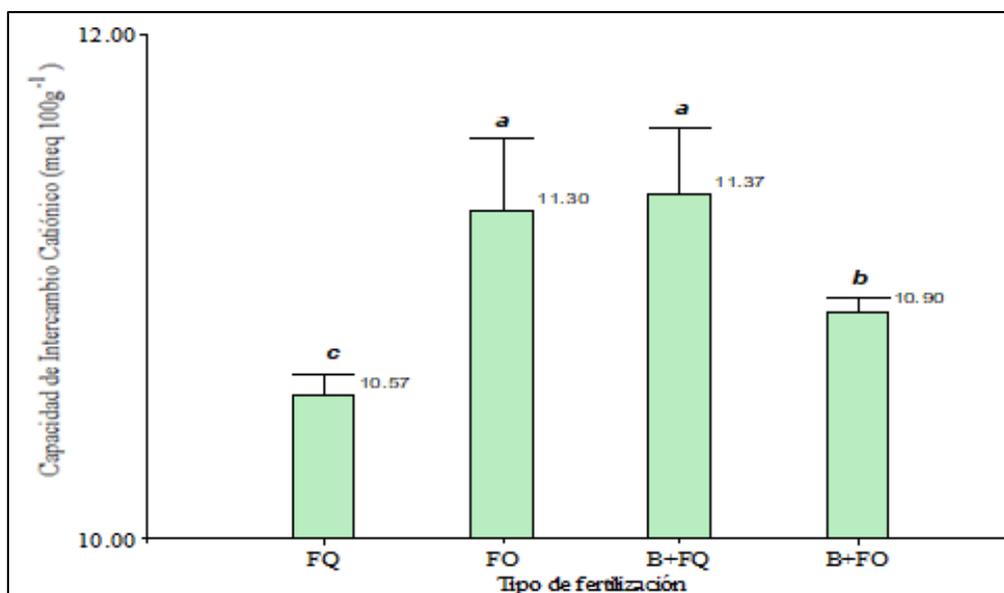
Fuentes de variación (FV)	Grados libertad (GL)	Grados de error (EE)	Valor F (F)	Valor P (P)
Tratamiento	3	6	3.43	0.0427

En la Figura 16 se puede apreciar la capacidad de intercambio catiónico (CIC) evaluada en los diferentes tipos de fertilización, observando que B+FQ (11.37 meq 100 g⁻¹) y FO (11.30 meq 100 g⁻¹) son similares entre sí y se encuentran dentro del mismo rango. Sin embargo, ambos tratamientos son superiores para B+FO y para FQ. A su vez B+FO es superior a FQ en 3.12%.

Cabe destacar que el nivel óptimo recomendado de CIC para el cultivo de tomate riñón según Agrarprojekt S.A. (2019) debe ser mayores a 15 meq 100 g⁻¹. Adicionalmente, Garrido Valero (2005) menciona que la CIC ideal para la mayoría de cultivos se debe situar entre 20 – 35 meq 100g⁻¹. Esta capacidad del suelo es lo que permite retener los elementos necesarios para nutrir a las plantas, que de otra forma estarían en la solución del suelo fácilmente disponibles para su lavado en profundidad. Así, cuanto mayor sea esta «capacidad» mayor será la fertilidad natural del suelo.

Figura 16

Capacidad de intercambio catiónico de cada tratamiento.



El biocarbón por lo general incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y, por lo tanto, la retención de NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , debido a que su elevada superficie específica, alta carga superficial negativa y elevada densidad de carga (Escalante, 2016).

Así mismo, Jien y Wang (2013) evaluaron el biocarbón sobre las propiedades del suelo y la erosión potencial en un suelo altamente degradado, mencionan que la capacidad de intercambio catiónico mejoró de 7.41 a 10.8 cmol kg^{-1} utilizando una dosis de aplicación de 5% (p/p).

La CIC en la presenta investigación, obtuvo una variación positiva respecto al valor del análisis inicial de suelo (9.9 meq 100 g^{-1}). Sin embargo, dicha variación se alteró únicamente en 1.47 u respecto al mejor tratamiento. No obstante, se pudo evidenciar que el biocarbón si cumple su función de elevar la CIC.

4.4.2. Conductividad eléctrica

Los resultados estadísticos de la Tabla 23 indican que, el factor tratamiento indica una diferencia significativa con ($F=19.58$; $gl=3, 6$; $p=0.0017$) respecto a la conductividad eléctrica en los diferentes tratamientos.

Tabla 23

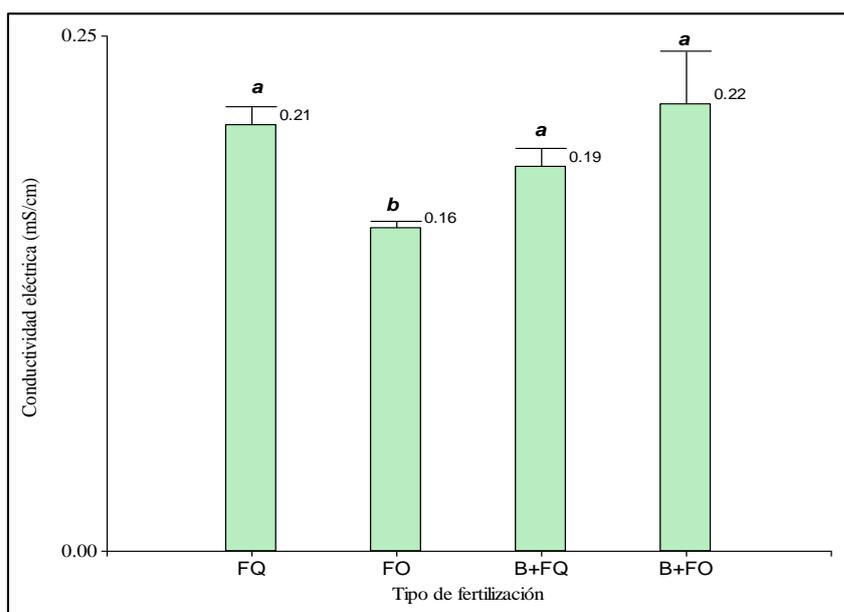
Análisis de varianza sobre la conductividad eléctrica en los tratamientos.

Fuentes de variación (FV)	Grados libertad (GL)	Grados de error (EE)	Valor F (F)	Valor P (P)
Tratamiento	3	6	19.58	0.0017

En la Figura 17, se puede observar la conductividad eléctrica de todos los tratamientos evaluados, tenemos que FQ (0.21 mS/cm), B+FQ (0.19 mS/cm) y B+FO (0.22 mS/cm) se encuentran dentro del mismo rango de datos, es decir, sus resultados son similares entre sí. Los tres tratamientos mencionados anteriormente, obtuvieron un valor promedio de 0.207 mS/cm. Dicho valor fue superior a FO en 22.71 %.

Figura 17

Evaluación de la conductividad eléctrica para el cultivo de tomate riñón bajo invernadero.



Cabe destacar que los niveles óptimos recomendados de CE para el cultivo de tomate riñón según Agrarprojekt S.A. (2019) se sitúan entre 0.2 - 1.2 mS/cm. Con lo que se puede inferir que los valores de los niveles estudiados se encuentran en un rango óptimo, mientras baja sea la conductividad eléctrica, incluso menores a 1 facilita el manejo de fertilización y evita problemas de fitotoxicidad en los cultivos (Bárbaro et al., 2013).

El tomate es relativamente tolerante a la salinidad. Para no reducir su rendimiento potencial, la CE en el extracto saturado del suelo debe ser: $EC_{se} < 2,5$ mS/cm y la CE del agua de riego $< 1,7$ mS/cm. Por ejemplo, un $EC_{se} = 3,5$ mS/cm reduce el rendimiento potencial en 10%. Sin embargo, en algunos casos se desea una CE más alta para mejorar el sabor, °Brix (ej. tomate cherry) y vida de post-cosecha (Tjalling, 2003).

4.4.3. pH

Los resultados estadísticos de la Tabla 24, muestran una diferencia significativa en el factor tratamiento con ($F=19.58$; $gl=3, 6$; $p=0.0017$) respecto al potencial hídrico en los diferentes tratamientos.

Tabla 24

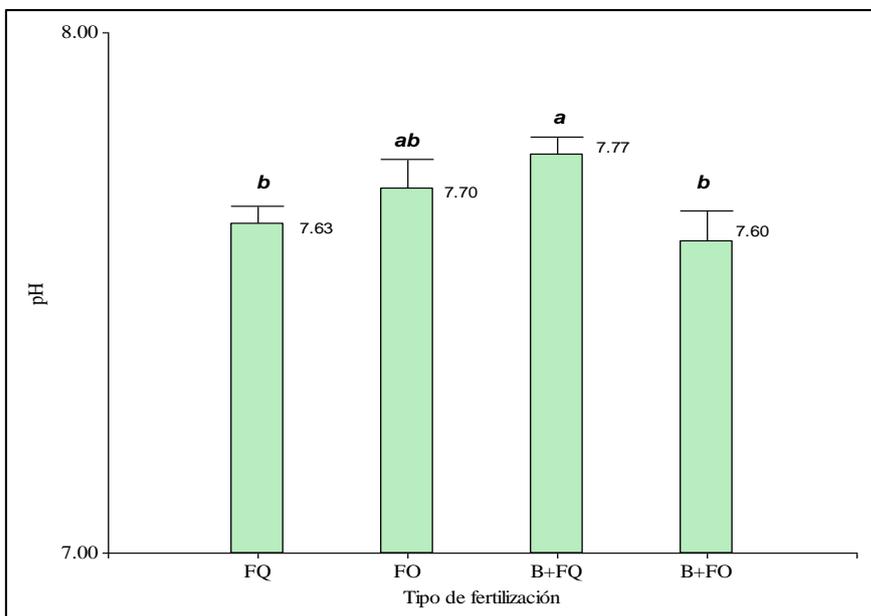
Análisis de varianza sobre el potencial hídrico en los tratamientos

Fuentes de variación (FV)	Grados libertad (GL)	Grados de error (EE)	Valor F (F)	Valor P (P)
Tratamiento	3	6	7.22	0.0205

La Figura 18 indica la relación del pH y el tipo de fertilización evaluados en el cultivo de tomate riñón bajo invernadero. El pH encontrado en la combinación de B+FQ (7.77) presenta la mayor concentración y muestra una ligera similitud al tratamiento de FO (7.70). Por otra parte, FQ (7.63) y B+FO (7.60) presentan valores muy similares entre sí, ambos tratamientos al igual que B+FQ comparten similitud en sus valores al tratamiento FO. En términos generales los resultados se muestran dentro del rango de valores comprendido de 7.60 a 7.77.

Figura 18

Evaluación del potencial hídrico en los tratamientos



El valor del pH al iniciar la presente investigación fue de 7.10 (Tabla 21), valor obtenido mediante análisis de suelo (Agrarprojekt S.A., 2019). Y como se puede observar en la Figura 18, se obtuvo un pH promedio final de 7.68, arrojando un incremento de 8.17 %.

La mayoría de los biocarbones son alcalinos ($\text{pH} > 7$) y dependiendo de la dosis aplicada al suelo, pueden ejercer un efecto de encalado sobre el mismo (Lehmann y Joseph, 2009). Corroborando a lo anterior, Chintala et al. (2014) evaluaron el efecto del biocarbón a base de rastrojo de maíz (*Zea mays L.*) y pasto varilla (*Panicum virgatum L.*) sobre las propiedades químicas del suelo ácido, aplicando una dosis de 104 t ha^{-1} para ambos tratamientos; obteniendo que la enmienda aumento el pH del suelo respecto al control no enmendado: de 4.78 a 5.77 para el biocarbón de rastrojo de maíz y a 5.52 para el biocarbon de pasto varilla.

4.4.4. Nitrógeno

Los resultados estadísticos de la Tabla 25 muestran el análisis de varianza sobre el nitrógeno evaluado en los tratamientos.

Tabla 25

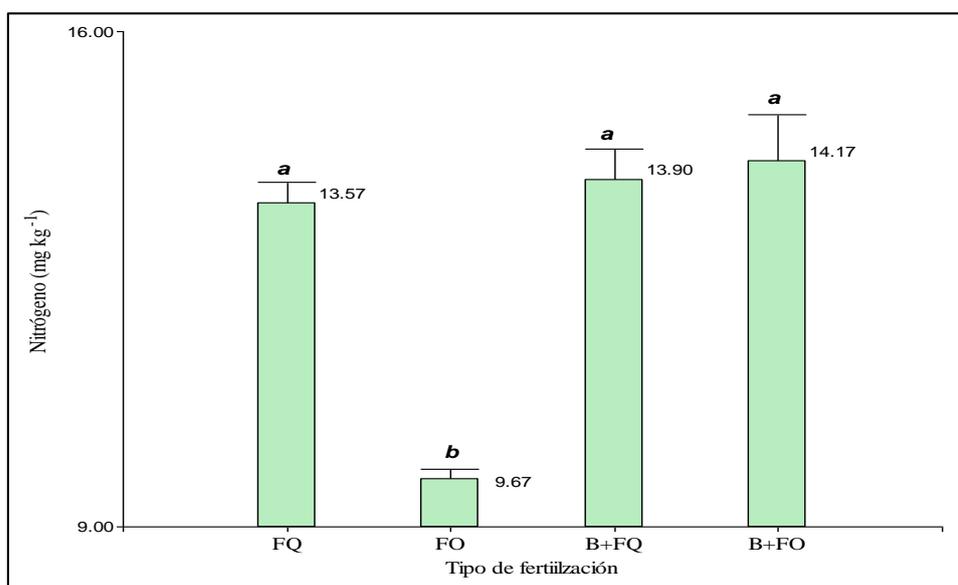
Análisis de varianza sobre el nitrógeno evaluado en los tratamientos

Fuentes de variación (FV)	Grados libertad (GL)	Grados de error (EE)	Valor F (F)	Valor P (P)
Tratamiento	3	6	219.88	<0.0001

La figura 19 muestra el contenido residual de nitrógeno a nivel de suelo, después de la extracción de nutrientes, para cada tratamiento evaluado. El tratamiento de fertilización química (13.57 mg kg^{-1}) comparte una alta similitud tanto con la combinación de biocarbón más la fertilización química (13.90 mg kg^{-1}), como con la combinación de biocarbón más la fertilización orgánica (14.17 mg kg^{-1}). Es decir, los tres tratamientos están dentro del mismo rango de valores, obteniendo un valor promedio de 13.88 mg kg^{-1} , dicho valor es superior al tratamiento de solo fertilización orgánica (9.67 mg kg^{-1}) en 43.54%.

Figura 19

Evaluación del contenido de nitrógeno residual (suelo) en el cultivo de tomate riñón bajo invernadero.



El nitrógeno contenido en el suelo es absorbido por las plantas como dos tipos de molécula: nitratos y amonio; el nitrato es la forma más asimilable de nitrógeno para las plantas (Curt, 2010). Cabe recalcar que, para la presente investigación, mientras mayor sea el valor del contenido de nutrientes encontrados en el suelo, significa menor cantidad del nutriente absorbido por las plantas al momento de muestreo.

Los resultados muestran que la pollinaza encontrada en el tratamiento FO es altamente inferior a los demás tratamientos, Hernández Rodríguez et al., (2010) explican que dicho abono es uno de los abonos orgánicos con mayor tasa de mineralización. Esto la hace una excelente fuente para el aporte de nitrógeno a los cultivos, pues tan solo en tres semanas el nitrógeno orgánico de la gallinaza se mineraliza en un 75 % aproximadamente. Al comparar dichos datos, con su tratamiento de control B+FO, se puede evidenciar que existe una retención del N para su gradual liberación posteriormente. Tal y como establece Zheng et al., (2013) que la adición de biocarbón puede mejorar la biodisponibilidad de N en los suelos agrícolas. Por lo tanto, la reducción de N la lixiviación y el aumento de la retención y biodisponibilidad de N en los suelos agrícolas pueden reducir potencialmente la demanda de fertilizantes nitrogenados para el crecimiento de los cultivos.

4.4.5. Fósforo

Los resultados estadísticos de la Tabla 26 indican una diferencia significativa en el factor tratamiento con ($F=32.92$; $gl=3, 6$; $p=0.0004$) respecto al fósforo encontrado en los diferentes tratamientos.

Tabla 26

Análisis de varianza sobre el fósforo evaluado en los tratamientos.

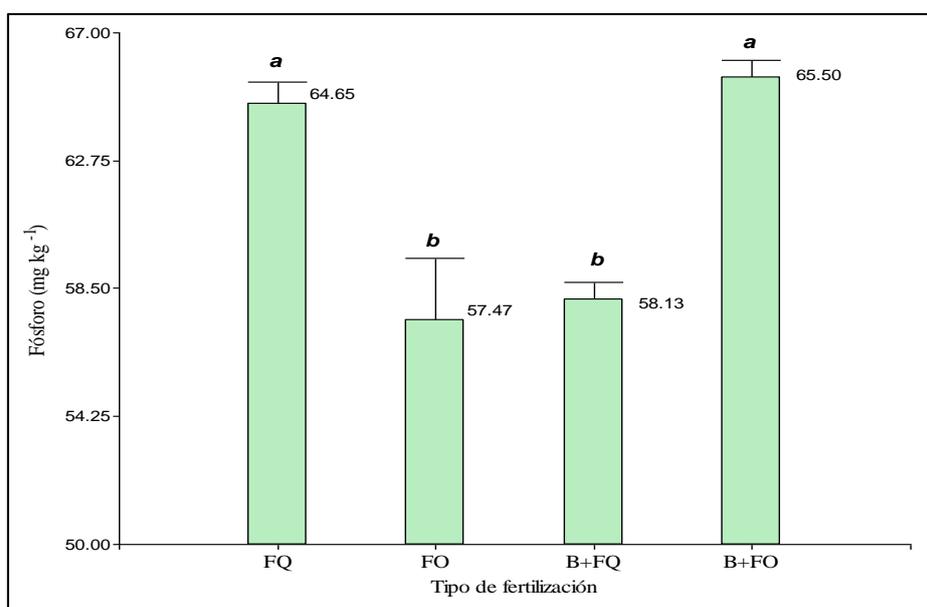
Fuentes de variación (FV)	Grados libertad (GL)	Grados de error (EE)	Valor F (F)	Valor P (P)
Tratamiento	3	6	32.92	0.0004

En la figura 20 se puede apreciar el contenido residual del fosforo a nivel de suelo. El tratamiento de fertilización química (64.65 mg kg^{-1}) y la fertilización orgánica en adición de la enmienda (65.50 mg kg^{-1}) comparten una alta similitud en sus valores, y obtuvieron un promedio de 65.08 mg kg^{-1} . Por otro lado, y simultáneamente los

tratamientos de fertilización orgánica (57.47 mg kg^{-1}) y fertilización química más biocarbón (58.13 mg kg^{-1}) son también altamente equivalentes entre sí, obteniendo un promedio de 57.80 mg kg^{-1} . Por tal razón, existe una diferencia entre ambos promedios de 12.59%.

Figura 20

Evaluación del fósforo en los tratamientos aplicados en el cultivo del tomate riñón bajo invernadero.



4.4.6. Potasio

Los resultados estadísticos de la Tabla 27 no muestran una diferencia significativa en el factor tratamiento con ($F=1.07$; $gl=3, 6$; $p=0.4304$) respecto al potasio encontrado en los diferentes tratamientos.

Tabla 27

Análisis de varianza sobre el potasio evaluado en los tratamientos bajo invernadero

Fuentes de variación (FV)	Grados libertad (GL)	Grados de error (EE)	Valor F (F)	Valor P (P)
Tratamiento	3	6	1.07	0.4304

La prueba de medias de Fisher 5% (Tabla 28) indica que, el mejor tratamiento con la mayor cantidad de potasio es la combinación de biocarbón más fertilización química, seguido por el tratamiento de fertilización química únicamente, posteriormente se encuentra el tipo de fertilización de biocarbón más fertilización orgánica con diferencias poco notables. Finalmente, la menor cantidad se encuentra en la fertilización química.

Tabla 28

Análisis de medias sobre el potasio evaluado en los tratamientos bajo invernadero.

Tratamiento	Medias/E.E.	
FQ	83.00 ± 4.33	A
FO	87.33 ± 1.01	A
FQ+B	83.37 ± 2.46	A
FO+B	85.27 ± 2.45	A

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

4.4.7. Magnesio

Los resultados estadísticos de la Tabla 29 muestran una diferencia significativa en el factor tratamiento con ($F=48.67$; $gl=3, 6$; $p=0.0001$) respecto al magnesio en los diferentes tratamientos.

Tabla 29

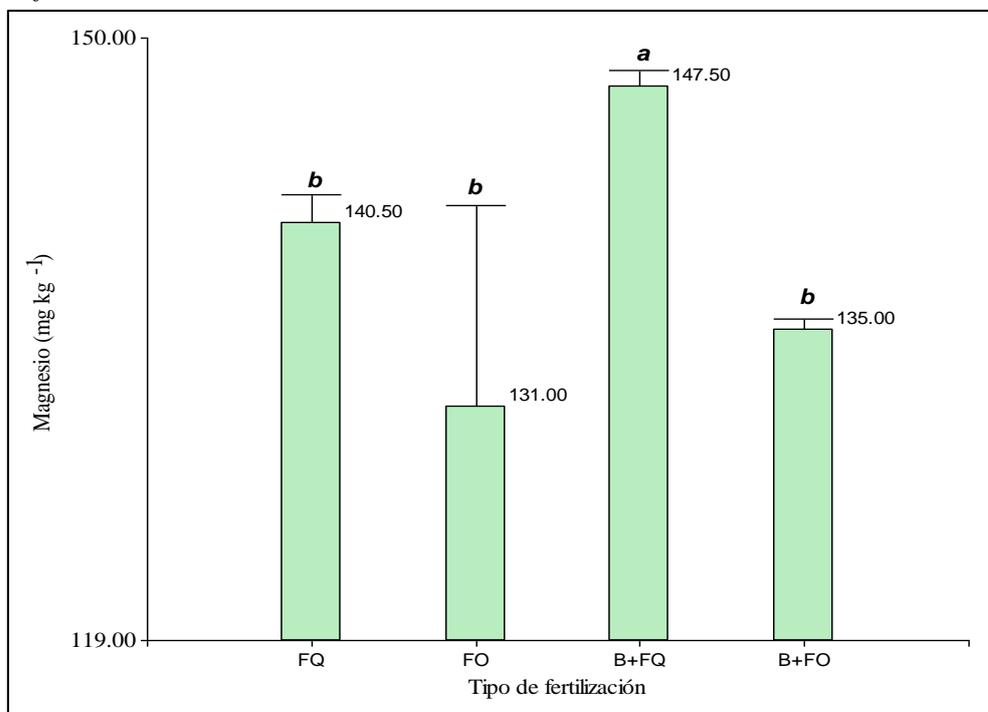
Análisis de varianza sobre el magnesio evaluado en los tratamientos.

Fuentes de variación (FV)	Grados libertad (GL)	Grados de error (EE)	Valor F (F)	Valor P (P)
Tratamiento	3	6	48.67	0.0001

En la Figura 21 se puede observar que el tratamiento de biocarbón más la fertilización química ($147.50 \text{ mg kg}^{-1}$) tiene el mayor contenido de magnesio. Sin embargo, los tres restantes tratamientos: fertilización química ($140.50 \text{ mg kg}^{-1}$), fertilización orgánica ($131.00 \text{ mg kg}^{-1}$) y la combinación de biocarbón más fertilización orgánica ($135.00 \text{ mg kg}^{-1}$), mostraron que se encontraban dentro del mismo rango, y obtuvieron en promedio un valor de $135.50 \text{ mg kg}^{-1}$. Este último valor es inferior en 8.85 % al tratamiento más sobresaliente (fertilización química).

Figura 21

Evaluación del magnesio en los tratamientos aplicados en el cultivo del tomate riñón bajo invernadero.



4.4.8. Calcio

Los resultados estadísticos de la Tabla 30 muestran una diferencia significativa en el factor tratamiento con ($F=121.81$; $gl=3, 6$; $p<0.0001$) respecto al calcio en los diferentes tratamientos.

Tabla 30

Análisis de varianza sobre el calcio evaluado en los tratamientos.

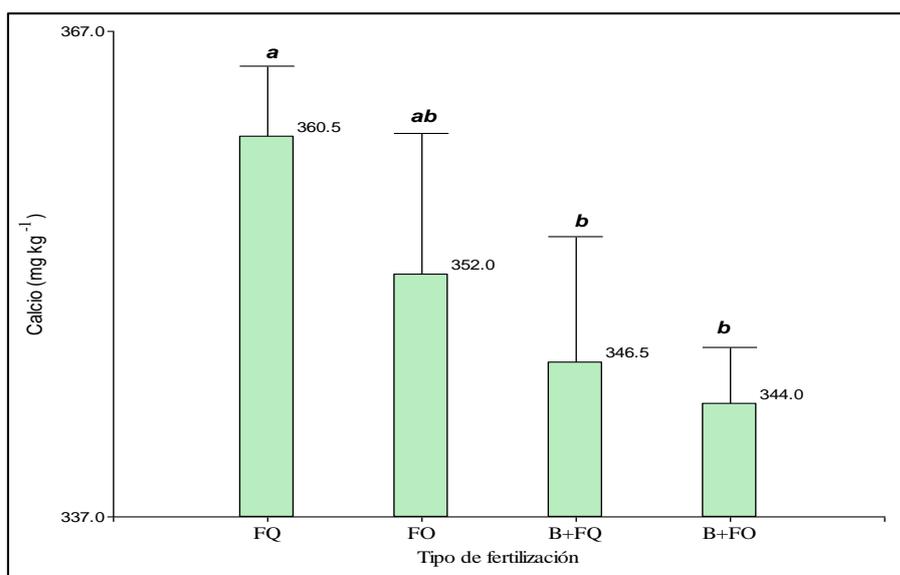
Fuentes de variación (FV)	Grados libertad (GL)	Grados de error (EE)	Valor F (F)	Valor P (P)
Tratamiento	3	6	121.81	<0.0001

En la Figura 22 se puede observar que la fertilización química ($360.50 \text{ mg kg}^{-1}$) tiene la mayor cantidad de calcio residual en el suelo. Sin embargo, comparte una similitud con el tratamiento de la fertilización orgánica ($352.00 \text{ mg kg}^{-1}$) con una

diferencia poco notable de 2.41 % entre sí. También se muestra que, los tratamientos de biocarbón combinado con la fertilización química ($346.50 \text{ mg kg}^{-1}$) y el biocarbón más la fertilización orgánica ($344.00 \text{ mg kg}^{-1}$) tiene una alta semejanza en su rango de valores, obteniendo un promedio de $345.25 \text{ mg kg}^{-1}$.

Figura 22

Evaluación del calcio en los tratamientos aplicados en el cultivo del tomate riñón bajo invernadero.



4.4.9. Azufre

Los resultados estadísticos de la Tabla 31 indican una diferencia significativa en el factor tratamiento con ($F=99.19$; $gl=3, 6$; $p<0.0001$) respecto al azufre en los diferentes tratamientos.

Tabla 31

Análisis de varianza sobre el azufre evaluado en los tratamientos.

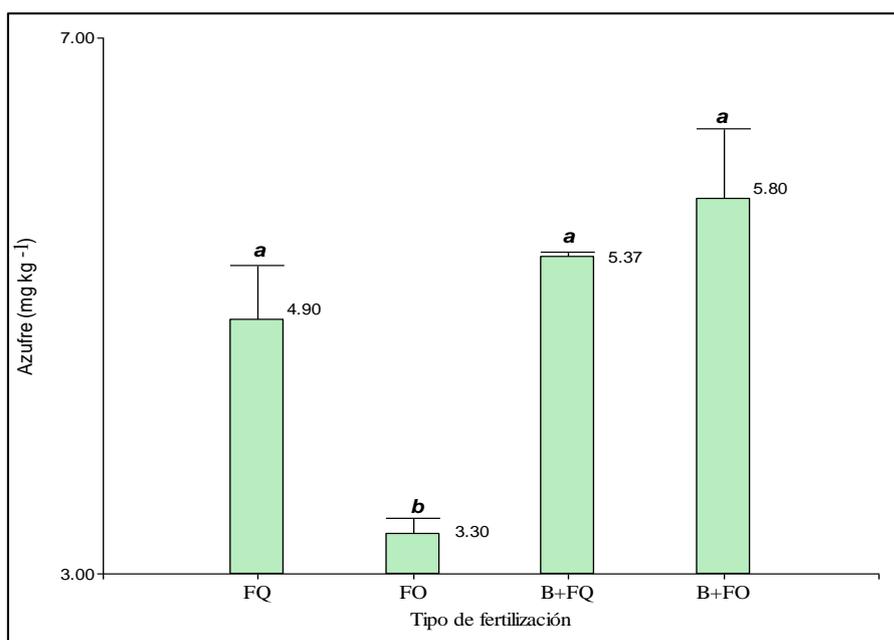
Fuentes de variación (FV)	Grados libertad (GL)	Grados de error (EE)	Valor F (F)	Valor P (P)
Tratamiento	3	6	99.19	<0.0001

La figura 23 muestra el nivel residual de azufre a nivel de suelo, después de la extracción de nutrientes, para cada tratamiento evaluado. El tratamiento de fertilización química (4.90 mg kg^{-1}) comparte una alta similitud tanto con la combinación de biocarbón

más la fertilización química (5.37 mg kg^{-1}), como con la combinación de biocarbón más la fertilización orgánica (5.80 mg kg^{-1}). Es decir, los tres tratamientos están dentro del mismo rango de valores, obteniendo un valor promedio de 5.36 mg kg^{-1} , dicho valor es superior al tratamiento de solo fertilización orgánica (3.30 mg kg^{-1}) en 62.42 %.

Figura 23

Evaluación del azufre en los tratamientos aplicados en el cultivo del tomate riñón bajo invernadero.



Olmo et al. (2016) encontraron que la disponibilidad de nutrientes del suelo aumentó con el contenido de biocarbón, el mayor contenido de P, Ca y K del suelo podría atribuirse a los altos niveles de estos nutrientes en biocarbón, además que el biocarbón puede modificar la disponibilidad de nutrientes del suelo mediante procesos como la sorción, desorción y precipitación, que están fuertemente influenciados por cambios en el pH.

4.5. Análisis financiero

4.5.1. Costos de producción

Para el análisis financiero, se calculó en primer lugar los costos de producción para cada tratamiento. La tabla 32 muestra los costos de producción de tomate riñón bajo invernadero con manejo de fertilización química. Estos valores muestran el costo de

producción convencional sin tomar en cuenta el costo variable de la aplicación de la enmienda biocarbón.

Dentro de los costos de producción, se consideró la readecuación del invernadero, la preparación del terreno, actividades de siembra, labores culturales y cosecha, los insumos utilizados como fungicidas, insecticidas, y la depreciación de los costos indirectos.

Tabla 32

Costos fijos de producción del tomate riñón bajo invernadero por hectárea por ciclo con manejo de fertilización química

Concepto	Unidad	Cantidad	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
A. Costos directos				
1. Preparación del suelo				
Arada y rastrada (con tractor)	Hora/tractor	12	20.00	240.00
2. Mano de obra				
Adecuación del terreno	jornal	8	12.00	96.00
Siembra	jornal	15	12.00	180.00
Tutorado	jornal	30	12.00	360.00
Labores culturales	jornal	75	12.00	900.00
Aplicación de fumigaciones	jornal	15	12.00	180.00
Riego	jornal	15	12.00	180.00
Cosecha	jornal	100	12.00	1200.00
3. Insumos				
Plántulas	unidad	30000	0.15	4500.00
Piola tomatera	cono	80	4.50	360.00
4. Fumigaciones				
Desinfección	aplicación	1	150.00	150.00
Insecticidas	aplicación	30	35.00	1050.00
Fungicidas	aplicación	60	15.00	900.00
Foliares	aplicación	30	15.00	450.00
Coadyuvantes	aplicación	15	8.00	120.00
5. Fertilización química				
10-30-10	saco 50kg	5	45.00	225.00
8-20-20	saco 50kg	10	43.00	430.00
18-46-0	saco 50kg	5	55.00	275.00
Yaramila complex	saco 50kg	6	60.00	360.00
Novatec premiun	saco 50kg	6	75.00	450.00

Sulfato de potasio	saco 25kg	5	35.00	175.00
Nitrato de potasio	saco 25kg	5	35.00	175.00
Nitrato de calcio	saco 25kg	5	35.00	175.00
Hakaphos naranja	saco 25kg	5	65.00	325.00
B. Costos indirectos				
				Depreciación
Invernadero metálico				7500.00
Reservorio de geo membrana				801.60
Sistema de riego				437.50
TOTAL				22195.10

Por otra parte, la Tabla 33 muestra los costos de producción de tomate riñón bajo invernadero con manejo de fertilización orgánica, del mismo modo, sin considerar el costo de la enmienda biocarbón.

Tabla 33

Costos fijos de producción del tomate riñón bajo invernadero por hectárea por ciclo con manejo de fertilización orgánica

Concepto	Unidad	Cantidad	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
A. Costos directos				
1. Preparación del suelo				
Arada y rastrada (con tractor)	hora/tractor	12	20.00	240.00
2. Mano de obra				
Adecuación del terreno	jornal	8	12.00	96.00
Siembra	jornal	15	12.00	180.00
Tutorado	jornal	30	12.00	360.00
Labores culturales	jornal	75	12.00	900.00
Aplicación de fumigaciones	jornal	15	12.00	180.00
Riego	jornal	15	12.00	180.00
Cosecha	jornal	100	12.00	1200.00
3. Insumos				
Plántulas	unidad	30000	0.15	4500.00
Piola tomatera	cono	80	4.50	360.00
4. Fumigaciones				
Desinfección	aplicación	1	150.00	150.00
Insecticidas	aplicación	30	35.00	1050.00
Fungicidas	aplicación	60	15.00	900.00

Foliares	aplicación	30	15.00	450.00
Coadyuvantes	aplicación	15	8.00	120.00

5. Fertilización orgánica

Eco abonaza	saco 25kg	300	4.25	1275.00
-------------	-----------	-----	------	---------

B. Costos indirectos

	Unidad	Costo unitario	Costo total	Depreciación
Invernadero metálico	m2	15.00	150000.00	7500.00
Reservorio de geo membrana	m3	8.35	4008.00	801.60
Sistema de riego	m2	0.45	4500.00	437.50
TOTAL				20880.10

Además, se calculó el costo de elaboración de la enmienda biocarbón (Tabla 34). El costo total obtenido fue de 33.50 USD, correspondiente a una producción de 45 kg de biocarbón, es decir, que el costo por cada kilogramo de enmienda fue de 0.74 USD. Para una hectárea, se necesitaron 6000 kg de enmienda equivalentes a 4 440.00 USD.

Tabla 34

Costo variable de la elaboración de 45 kg biocarbón

Concepto	Unidad	Cantidad	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
Materia Prima (leña)	kg	150	0.05	7.50
Horno TLUD	unidad	1	depreciación	5.00
Gas	unidad	1	3.50	3.50
Mano de obra de la trituración	jornal	0.5	15.00	7.50
Alquiler de la trituradora	hora	1	10.00	10.00
			Total	\$ 33.50

Respecto a los ingresos, en la Tabla 35 se puede observar el ingreso total en base al precio promedio de venta del agricultor de acuerdo (Sistema de Información Pública Agropecuaria [SIPA], 2022) en el mercado mayorista de Quito. Los ingresos fueron calculados de acuerdo al rendimiento de cada tratamiento. Los precios considerados fueron de 0.40, 0.32, y 0.22 USD por kg de tomate de acuerdo a la categoría grande, mediana y tercera, respectivamente, en este caso se utilizó el precio promedio de 0.31 USD por kg de tomate.

Tabla 35*Ingresos de acuerdo al precio y el rendimiento por cada tratamiento*

Tratamiento	Rendimiento t ha ⁻¹	Ingresos USD ha ⁻¹
T1: FQ	137.52	42631.20
T2: FO	132.30	41013.00
T3: B+FQ	140.85	43663.50
T4: B+FO	138.69	42993.90

4.5.2. Relación beneficio costo (B/C)

En la Tabla 36, se puede observar el análisis económico de cada tratamiento estudiado, donde se muestra los costos de producción variables y fijos, el ingreso total y la relación beneficio costo (B/C), en la producción del cultivo de tomate riñón.

Tabla 36*Relación beneficio/costo en una hectárea del cultivo de tomate riñón para cada tratamiento*

		Tratamientos			
		FQ	FO	B+FQ	B+FO
Total costos fijos de producción	USD ha ⁻¹	22195.10	20880.10	22195.10	20880.10
Total costo variables de la enmienda	USD ha ⁻¹	-	-	4440.00	4440.00
Total costos de producción	USD ha ⁻¹	22195.10	20880.10	26635.10	25320.10
Ingreso total	USD ha ⁻¹	42631.20	41013.00	43663.50	42993.90
Relación beneficio costo (B/C)		1.92	1.96	1.64	1.70

La relación beneficio/costo fue calculada para cada tratamiento, y muestran en general valores superiores a 1, considerado como una relación con rentabilidad positiva, es decir, con ganancia (FAO, 2013). Los resultados presentes en la Tabla 36 muestran que todos los tratamientos generaron réditos económicos. FO obtuvo una mayor ganancia de 1.96, siendo superior a FQ únicamente por 2.29 %. Sin embargo, los tratamientos de interés B+FQ y B+FO, fueron superados por 16.51 % y 13.20 %, respectivamente. Esto se debe al incremento de los costos de producción de la enmienda, la misma que se utilizó en el rango más alto de dosis (30 t ha⁻¹), posiblemente, sí la dosis de la enmienda fuese menor la relación beneficio/costo podría aumentar. En términos generales, estos valores concuerdan con los realizados por Varela (2018), quien realizó un estudio de producción y comercialización de tomate riñón en la provincia de Imbabura, obtuvo un beneficio/costo de 1.42 y 1.71 USD, siendo los valores más cercanos en los mercados de Ibarra y Quito.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- a) El biocarbón se elaboró, a partir de madera de pino (*Pinus spp.*), y se obtuvo un rendimiento de 30 % considerado como óptimo, el costo por cada kilogramo de enmienda fue de 0.74 ctvs.
- b) Respecto al rendimiento del cultivo, los tratamientos de interés que contenían la enmienda biocarbón, fueron superiores a su respectivo tratamiento de control. La evidencia más clara se pudo denotar en los tratamientos de fertilización orgánica, el tratamiento B+FO fue superior a FO en 4.56%.
- c) La capacidad de intercambio catiónico, obtuvo una variación positiva respecto al valor del análisis inicial de suelo. Sin embargo, dicha variación se alteró únicamente en 1.47 u respecto al mejor tratamiento. No obstante, se pudo evidenciar que el biocarbón si cumple su función de elevar la CIC.
- d) El pH tuvo una variación notable en el tratamiento de la combinación de la enmienda biocarbón más la fertilización química, arrojando un 5,37% más respecto al análisis preliminar del suelo. Asegurando un efecto de encalado sobre el mismo.
- e) Al evaluar el nitrógeno residual a nivel de suelo, se evidencio que, en los tratamientos de fertilización orgánica, existe una retención del N para su gradual liberación posteriormente, al momento de agregar la enmienda biocarbón.

- f) De acuerdo en los resultados estadísticos obtenidos, al presentarse diferencias entre tratamientos se acepta la hipótesis alternativa: “El uso de biocarbón combinado con la fertilización química mejorará la capacidad de intercambio catiónico (CIC), el pH y la biodisponibilidad de nutrientes e incrementará el rendimiento en el cultivo de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L*)”.

5.2. Recomendaciones

- a) Se recomienda realizar una activación previa de la enmienda biocarbón, utilizando abonos orgánicos con alto contenido de nutrientes, y así incrementar la liberación gradual de nutrientes.
- b) Es aconsejable realizar un análisis de composición química del suelo lo más fraccionado posible dependiendo de las etapas fenológicas del cultivo para generar la recolección de más datos.
- c) Se recomienda evaluar el efecto de la enmienda biocarbón con diferentes dosis superiores a 30 t ha⁻¹ como también la evaluación en otro tipo de cultivos.

6. REFERENCIAS

- AAIC. (2003). *El cultivo de tomate riñón en invernadero*. Quito: Asociación de Agrónomos Indígenas del Cañar AAIC - Editorial Ayala.
- Aker Narváez, C. E., Soto, G., Imbach, A., Castillo, X., y Garro, F. (2014). Efecto de la aplicación de biocarbón, gallinaza y fertilizantes sintéticos en la retención de humedad y otras características del suelo en el rendimiento de maíz (*Zea mays*), en tres texturas de suelo en León, Nicaragua. *Catie*, 66, 15–33.
- Akhtar, K., Khan, Z., y Zain, M. (2016). Biochar como mejorador de suelos, *Technology Times*.
- Alarcón, I. (2018, junio 22). La mitad de las tierras en Ecuador muestran signos de degradación. *El Comercio*.
<https://www.elcomercio.com/tendencias/ambiente/degradacion-suelo-planetaeideas-ecuador-desertificacion.html>
- Albuquerque, J., Calero, J., Barrón, J., Torrent, J., Del Campillo, M., Gallardo, A., y Villar, R. (2013). Effects of biochars produced from different feedstocks on soil properties and sunflower growth. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 1–10. doi:10.1002/jpln.201200652
- Alcañiz Baldellou, J., y Abenza, D. (2012). *Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta*. Barcelona: Tesis Doctoral - CREAM Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales - Universidad Autónoma de Barcelona.
- Alemán Pérez, R. D., Domínguez Brito, J., Rodríguez Guerra, Y., y Soria Re, S. (2016). Indicadores morfológicos y productivos del cultivo del tomate en Invernadero con manejo agroecológico en las condiciones de la Amazonía Ecuatoriana. *Centro Agrícola*, 43(1), 71–76.
- Alonso Gómez, L., Cruz Domínguez, A., Jiménez Madrid, D., y Ocampo Duran, Á. (2016). Biochar como enmienda en un oxisol y su efecto. *Revista U.D.C.A*

Actualidad y Divulgación Científica, 19(2), 341–349.

- Amonette, J. (2009). An introduction to biochar: Concept, processes, properties, and applications. *Harvesting Clean Energy 9. Special Workshop*.
- Arboleya, J. (2019). Solarización: una técnica de manejo integrado de malezas y plagas en horticultura. In *INIA Serie técnica*. <https://doi.org/10.35676/inia/st.245>
- Balta, R. (2019). El carbon activado y el biocarbon en la asimilacion del cadmio por el tomate. *Unalam*.
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3874/balta-crisologo-rafael-ananias.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bárbaro, L. A., Karlanian, M. A. y Mata, D. A. (2013). Importancia del pH y la conductividad eléctrica (CE) en los para la planta. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. INTA.
- Barrientos Llanos, H., del Castillo Gutiérrez, C. R., y García Cárdenas, M. (2015). Análisis De Crecimiento Funcional , Acumulación De Biomasa Y Translocación De Materia Seca De Ocho Hortalizas Cultivadas En Invernadero. *Revista de Investigacion e Innovacion Agropecuario y de Recursos Naturales*, 2(1), 76–86.
- CENTA. (2005). *Guía Técnica - Cultivo de Tomate*. El Salvador: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA) .
- Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T. E., Malo, D. D., y Julson, J. L. (2014). Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(3), 393–404. <https://doi.org/10.1080/03650340.2013.789870>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2010). *Más de 60% de las tierras en algunos países podrían degradarse en el 2100*. Quito: CEPAL.
- Curt, M.D. 2010. Nutrición mineral y fertilización. Enciclopedia Práctica de la Agricultura y la Ganadería. Barcelona. ES. Editorial Océano. p. 79
- Escalante Rebolledo, Ariadna Pérez López, Guadalupe Hidalgo Moreno, C., López Collado, J., Campo Alves, J., y Valtierra Pacheco, Esteban Etchevers Barra, J. D. (2016). Biobarbon (Biochar) I Naturaleza, fabricación y uso en el suelo. *Red de*

Revistas Científicas de América Latina, Volumen 34, Numero 3, 367–382.

- Downie, A., Crosky, A., y Munroe, P. (2009). Physical properties of biochar. *Biochar for environmental management: Science and technology. Earthscan. London, UK.*, pp. 13-30.
- FAO. (2013). *Cultivo de tomate con buenas prácticas agrícolas en la agricultura urbana y periurbana*. Paraguay: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- GAD Municipal de Antonio Ante. (2011). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2011-2031 Del Cantón Antonio Ante*. Atuntaqui: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.
- Gabriel, J., Castro, C., Valverde, A., & Indacochea, B. (2017). Diseños Experimentales, Teoría y práctica para experimentos agropecuarios. In *Grupo COMPAS, Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM)* (Primera).
- Garrido Valero, M. S. (2005). Interpretación y análisis de suelos. *Investigaciones Geográficas*, 1(4). <https://doi.org/10.14350/rig.58865>
- Guo L, Yu H, Kharbach M, Zhang W, Wang J, N. W. (2021). El biocarbón mejora la planta de tomate del suelo, la producción de tomate y los beneficios económicos con la aplicación reducida de nitrógeno en el noroeste de China. *Plants (Basel)*, 7(4). doi: 10.3390/plants10040759.
- Hernández Rodríguez, O. A., Ojeda Barrios, D. L., Lopez Diaz, J. C., & Arras Vota, A. M. (2010). Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. *Tecnociencia Chihuahua*, IV(1), 1–6.
- Hernández, M., García, C., Sánchez, F., Bernal, M., y Carillo, R. (2014). *De Residuo a Recurso: El camino hacia la sostenibilidad*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Heuvelink, E. (2005). Tomatoes. *Crop Production Science in Horticulture CAB International*.
- Hunt, R., Causton, D. R., Askew, B., y Shipley, A. P. (2002). A Modern Tool for Classical Plant Growth Analysis. *Annals of Botany* 90, (July), 485–488.

hdoi.org/10.1093/aob/mcf214

- INIA. (2017). *Manual de cultivo del tomate bajo invernadero*. Santiago - Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias - Boletín INIA N° 12, ISSN 0717 - 4829.
- INIAP. (2002). *Recomendaciones de fertilización y nutrición de cultivos. Boletín Técnico N° 01*. Quito: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- Jaramillo, J., Rodríguez, V., Guzmán, M., Zapata, M., y Rengifo, T. (2007). *Manual Técnico de Buenas Prácticas Agrícolas en la producción de tomate bajo condiciones protegidas*. Antioquía - Colombia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria -CORPOICA-, Centro de Investigación La.
- Jien, S. H., y Wang, C. S. (2013). Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. *Catena*, 110, 225–233. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.06.021>
- Klose, W., Rincón, S., y Gómez, A. (2011). *Gasificación de biomasa residual de procesamiento agroindustrial*. Kassel, Alemania: Universidad de Kassel .
- Lehmann, J., y Joseph, S. (2009). Biochar for environmental management. *Science and technology. Earthscan. UK-USA*.
- Liu, X., Zhang, A., Ji, C., Joseph, S., y Bian, R. (2013). Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions--a meta-analysis of literature data. *Plant and Soil*, 373(1-2),
- Maienza, A., Baronti, S., Pusceddu, E., Cornali, S., Di Lonardo, S., Genesio, L., Vaccari, F. P., Pozzi, A., Ranieri, R., & Miglietta, F. (2015). The biochar - A solution to enhance processing tomato production. *Acta Horticulturae*, 1081, 209–214.
- Major, J. (2006). *El Biocarbón : Una herramienta para el manejo sostenible de suelos y la producción de energía*. 20–24.
- McLaughlin, H. (2010). 1G Toucan TLUD for Biochar Production. *Alterna Biocarbon Inc.*

- Ministerio del Ambiente. (2014). “*Reporte de la Huella Ecológica Nacional y Sectorial del Ecuador – Año 2013*”. QUITO: MAE.
- Molina, V., León, J., y Chávez, R. (2015). Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas, como complemento a la fertilización química en la producción de pimiento (*Capsicum annum L.*), en la zona de Babahoyo. Babahoyo - Ecuador: European Scientific Journal. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n9p289>
- Montoya, J., y Cámara, M. (1996). *La planta y el vivero forestal*. España: Ediciones Mundi– prensa. 127 p.
- Morales, C. (2012). *Los costos de la inacción ante la desertificación y degradación de las tierras en escenarios alternativos de cambio climático*. Quito: CEPAL.
- Moscoso Gómez, E., Fiallos Ortega, R. L., y Guzmán Chinlle, D. L. (2015). Efecto de diferentes niveles de carbón vegetal en la producción de una mezcla forrajera de *medicago sativa* (alfalfa) *lolium perenne* (rye grass) y *trifolium repens* (trébol blanco). *N Revista de Investigación Talentos II*, (2), 28–38.
- Muñoz, C., Gongora, S., y Zagal, E. (2016). Use of Biochar As a Soil Amendment: a Brief Review. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, 32(Special Issue 1), 37–47.
- Olmo, M., Lozano, A. M., Barrón, V., & Villar, R. (2016). Spatial heterogeneity of soil biochar content affects soil quality and wheat growth and yield. *Science of the Total Environment*, 562, 690–700. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.089>
- Omaña, H. G., & Peña, H. (2015). Acumulación de materia seca y balance de nutrientes en tomate (*Solanum lycopersicum L.*) cultivado en ambiente protegido. *Bioagro*, 27(2), 111–120.
- Poluektov, R. A., & Topazh, A. G. (2005). *Calculation of the Root / Shoot Ratio in the Models of Higher Plant Organogenesis*. 52(5), 685–686.
- Shareef, T. M. E., & Zhao, B. (2017). Review Paper: The Fundamentals of Biochar as a Soil Amendment Tool and Management in Agriculture Scope: An Overview for Farmers and Gardeners. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*,

06(01), 38–61. <https://doi.org/10.4236/jacen.2017.61003>

SIPA. (2021). *Sistema de Información Pública Agropecuaria del Ecuador*. Obtenido de http://sipa.agricultura.gob.ec/boletines/situacionales/2021/boletin_situacional_tomate_rinon_2021.pdf

Suppadit, T., Phumkokrak, N., & Poungsuk, P. (2012). The Effect of using Quail Litter Biochar on Soybean (*Glycine max* L. Merr.) Production. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 72(2), 244–251. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392012000200013>

Tjalling, H. (2003). *Guía de Manejo: Nutrición Vegetal de especialidad Tomate*. Santiago de Chile: Sociedad Química y Minera de Chile (SQM).

Varela, A. (2018). Estudio de la producción y comercialización del tomate riñón (*Lycopersicum esculentum*) en el cantón Pimampiro, de la Provincia de Imbabura. [Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Universidad Técnica del Norte.

Zheng, H., Wang, Z., Deng, X., Herbert, S., & Xing, B. (2013). Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. *Geoderma*, 206, 32–39. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.04.018>

Zulfiqar, U., Maqsood, M., Rasul, F., y Ali, L. (4 de October de 2015). *Biochar: A vital soil amendment for degraded land*. Obtenido de Technology Times.

7. ANEXOS

Anexos 1

Resultados del análisis inicial de suelo

RESULTADOS

Código Agrarprojekt:

UTN-17-04-19

Pág 2/2

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA	
Tipo de Muestra:	Suelo
Cultivo:	Tomate Riñón
Número de Muestra:	# 1
Información Proporcionada por el Cliente:	Muestra de Suelo

Contenido de macro- y microelementos en mg / kg de suelo seco

	Análisis	Unidades	*Método de Extracción	*Niveles Óptimos para Tomate Riñón - Cultivo Intensivo	Resultado
Características del Suelo	Materia Orgánica	%	-	3 - 15	3.5
	Textura	-	-	"arena limosa" hasta "limo arenoso-arcilloso"	limo arenoso-arcilloso
	Capacidad de Intercambio Catiónico - CIC	%	-	> 15	15.2
	Conductividad (CE)	mS/cm	Vol. 1:2	0.5 - 1.2	3.18
	pH (en H ₂ O)	-	Vol 1:2	-	7.4
	pH (en KCl)	-	Vol 1:2	6.0 - 6.5	7.1
	Macronutrientes	Nitrato (NO ₃ -N)	mg/kg	Extracto Agua	-
Amonio (NH ₄ -N)		mg/kg	NaCl 0.05 M	-	1.3
(NO ₃ +NH ₄)-N		mg/kg	-	30 - 60	567
Fósforo (P)		mg/kg	NaHCO ₃ 0.5M	30 - 50	74.3
Potasio (K)		mg/kg	NaCl 0.05 M	140 - 320	570
Magnesio (Mg)		mg/kg	NaCl 0.05 M	45 - 135	207
Calcio (Ca)		mg/kg	NaCl 0.05 M	500 - 1200	670
Azufre (SO ₄ -S)		mg/kg	Extracto Agua	10 - 15	66.1
Micronutrientes	Hierro (Fe)	mg/kg	DTPA/CaCl ₂	25 - 50	45.2
	Manganeso (Mn)	mg/kg	DTPA/CaCl ₂	6 - 30	11.6
	Cobre (Cu)	mg/kg	DTPA/CaCl ₂	0.8 - 4.0	2.8
	Zinc (Zn)	mg/kg	DTPA/CaCl ₂	1.2 - 6.0	10.3
	Boro (B)	mg/kg	Extracto Agua	0.15 - 0.60	0.21
Peligro de Salinidad	Sodio (Na)	mg/kg	Extracto Agua	< 140	139
	Cloruro (Cl ⁻)	mg/kg	Extracto Agua	< 210	356
	Sales Totales	mg/kg	Extracto Agua	< 2000	2649

* Fuente: Soil Science Society of America Inc. (Ed.). 2001. Methods of Soil Analysis. 1390 pp. ■

Anexos 2

Calculo de la cantidad de sustrato necesario en base a la capacidad de la funda plástica y a la densidad aparente del suelo

$$MS_M = V_M (cm^3) \times DA \left(\frac{g}{cm^3}\right)$$

Dónde

MS_M: masa del sustrato por funda (Kg)

V_M: volumen de la funda (m³)

DA: densidad aparente del suelo (1.25 g/cm³)

– constante experimental

$$MS_M = V_M (cm^3) \times DA \left(\frac{g}{cm^3}\right)$$

$$MS_M = 8000 cm^3 \times 1.25 \frac{g}{cm^3}$$

$$MS_M = 10000 \frac{g}{funda} = 10 \text{ kg}$$

Anexos 3

Calculó la cantidad de la enmienda biocarbón en función del área de cada funda

Datos:

Dosis recomendada de la enmienda: 30 t ha⁻¹ = 30 000 kg 10 000 m⁻²

Área de la funda: 0.071 m²

Dosis de biocarbón por funda: X

Dosis biocarbón (kg)	Área (m ²)
30 000 kg	10 000 m ²
X	0.071 m ²

$$X = \frac{30\,000 \text{ kg} \times 0.071 \text{ m}^2}{10\,000 \text{ m}^2}$$

$$X = 0.21 \text{ kg} = 210 \frac{\text{g biocarbón}}{\text{maceta}}$$

Anexos 4

Factores de conversión de nutrientes y nutrientes biodisponibles

FACTORES DE CONVERSIÓN DE EXPRESION DE FERTILIZANTES

Para transformar	Multiplique x	Para transformar	Multiplique x
NH ₄ a N	0,777	N a NH ₄	1,287
NO ₃ a N	0,226	N a NO ₃	4,425
P ₂ O ₅ a P	0,436	P a P ₂ O ₅	2,293
K ₂ O a K	0,83	K a K ₂ O	1,205
CaO a Ca	0,715	Ca a CaO	1,399
MgO a Mg	0,603	Mg a MgO	1,658
SO ₄ a S	0,322	S a SO ₄	3,105
SO ₃ a S	0,4	S a SO ₃	2,5
FeO a Fe	0,78	Fe a FeO	1,29
MnO a Mn	0,77	Mn a MnO	1,29
CuO a Cu	0,79	Cu a CuO	1,25
B ₂ O ₃ a B	0,31	B a B ₂ O ₃	3,22
ZnO a Zn	0,79	Zn a ZnO	1,25

Anexos 5

Calculo de la cantidad de pollinaza requerida para cubrir los 100 kg N de la recomendación

Datos:

Aporte de N de la pollinaza: 2.74 %

Cantidad de pollinaza para cubrir 100 kg de N: X

Pollinaza (kg).	Nitrógeno (kg)
100 -----	2.74
X -----	100

$$X = \frac{100 \text{ kg} \times 100 \text{ kg N}}{2.74 \text{ kg N}}$$

$$X = 3\,650 \text{ kg de pollinaza}$$

Anexos 6

Calculo de la dosis de pollinaza por funda en función del área de la maceta

<p>Datos:</p> <p>Dosis de pollinaza recomendada: $3.65 \text{ t ha}^{-1} = 3\ 650 \text{ kg } 10\ 000 \text{ m}^{-2}$</p> <p>Área de la maceta: 0.071 m^2</p> <p>Dosis de pollinaza por funda: X</p>							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Pollinaza (kg).</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Área (m²)</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$3\ 650 \text{ kg}$</td> <td>$10\ 000 \text{ m}^2$</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>0.071 m^2</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Pollinaza (kg).</i>	<i>Área (m²)</i>	$3\ 650 \text{ kg}$	$10\ 000 \text{ m}^2$	X	0.071 m^2	$X = \frac{3\ 650 \text{ kg} \times 0.071 \text{ m}^2}{10\ 000 \text{ m}^2}$ $X = 0.02592 \text{ kg} = 25.92 \frac{\text{g Pollinaza}}{\text{funda}}$
<i>Pollinaza (kg).</i>	<i>Área (m²)</i>						
$3\ 650 \text{ kg}$	$10\ 000 \text{ m}^2$						
X	0.071 m^2						

Anexos 7

Calculo de la dosis de fertilización química (de nitrógeno) por funda en función del área de la maceta

<p>Datos</p> <p>Dosis de fertilizante $100 \text{ kg N ha}^{-1} = 100 \text{ kg } 10\ 000 \text{ m}^{-1}$</p> <p>Área de la funda: 0.071 m^2</p> <p>Dosis de N por maceta: X</p>							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Dosis de Fertilizante (kg).</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Área (m²)</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100 kg</td> <td>$10\ 000 \text{ m}^2$</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>0.071 m^2</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Dosis de Fertilizante (kg).</i>	<i>Área (m²)</i>	100 kg	$10\ 000 \text{ m}^2$	X	0.071 m^2	$X = \frac{100 \text{ kg} \times 0.071 \text{ m}^2}{10\ 000 \text{ m}^2}$ $X = 0.00071 \text{ kg} = 0.71 \frac{\text{g de N}}{\text{maceta}}$
<i>Dosis de Fertilizante (kg).</i>	<i>Área (m²)</i>						
100 kg	$10\ 000 \text{ m}^2$						
X	0.071 m^2						

Anexos 8

Estrategia de control integrado de plagas

ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRADO DE TOMATE			
PLAGA	CRITERIOS DE INTERVENCIÓN	MÉTODOS DE CONTROL	MEDIDAS PREVENTIVAS / CULTURALES
Araña roja <i>(Tetranychus urticae, T. turkestanii, T. evansi)</i>	El inicio de las “suestras” de OCB se comienza al detectar la primera presencia de araña roja.	Organismos de Control Biológico (OCB) - <i>Phytoseiulus persimilis-T:</i> (raza especial adaptada al cultivo del tomate). No ejerce control sobre <i>T. evansi</i> . - <i>Macrolophus caliginosus.</i> <i>Nesidiocoris tenuis.</i> - <i>Feltiella acarisuga:</i> de forma curativa solo en los focos. Productos fitosanitarios (sustancias activas) de posible uso por su compatibilidad con los OCB -Abamectina -Azufre en espolvoreo -Clofentezin. -Fenbutaestan. -Oxamilo: -Piridaben: -Spiromesifen: -Tebufenpirad	Evitar dispersión mediante operaciones culturales. En parcelas con problemas anteriores de esta plaga se tendrá un especial cuidado en su detección. Es una plaga que se desarrolla en focos, por lo cual es importante realizar una detección precoz.
Ácaros <i>Aculops lycopersici</i>	Se realizará el control de la plaga desde el momento de localizar su presencia.	Productos fitosanitarios (sustancias activas) de posible uso por su compatibilidad con los OCB -Abamectina: -Abamectina -Aceite de verano: -Azufre en espolvoreo: -Azufre mojable. -Oxamilo: -Spiromesifen:	-Evitar dispersión mediante operaciones culturales. -Eliminar plantas muy afectadas. -En parcelas con antecedentes se tendrá un especial cuidado en su detección. -Es una plaga que se desarrolla en focos, por lo cual es importante realizar una detección precoz.

<p>Mosca blanca</p> <p>Mosca blanca de los invernaderos</p> <p><i>Trialeurodes vaporariorum</i></p> <p>Mosca blanca del tabaco</p> <p><i>Bemisia tabaci</i></p>	<p>Debido al riesgo de contagio de virosis (TYLCV), se podrán utilizar los “productos fitosanitarios de posible uso por su compatibilidad con los OCB con objeto de no retrasar la introducción de OCB para controlar eficazmente la plaga.</p> <p>Distribuir la “seltas” en todo el cultivo, concentrando la misma en las zonas más propensas</p> <p>Cuando el nivel de plaga sea muy alto y esté limitado a una zona o se produzcan entradas puntuales, se podrán realizar tratamientos localizados.</p>	<p>Organismos de control biológico</p> <p>Se regulará la introducción de OCB en función de la posible entrada de forma natural, procedente de cultivos anteriores o de fincas colindantes.</p> <p><i>Eretmocerus mundus</i>: Control de <i>Bemisia tabaci</i>.</p> <p><i>Encarsia formosa</i>: Control de <i>Trialeurodes vaporariorum</i>.</p> <p><i>Macrolephus caliginosus</i>.</p> <p><i>Eretmocerus eremicus</i>: Control de <i>Trialeurodes vaporariorum</i>.</p> <p>Productos fitosanitarios (sustancias activas) de posible uso por su compatibilidad con los OCB</p> <ul style="list-style-type: none"> -Aceite de verano -Azadiractin -<i>Beauveria bassiana</i> -Buprofezin. -Butoxido de piperonilo+piretrinas -Oxamilo -Pimetrozina -Piridaben -Piriproxifen. -Sales potásicas de ácidos grasos vegetales. -Spiromesifen: -Teflubenzuron -Tiacloprid: -Tiametoxam: -<i>Verticillium lecanii</i> 1×10^{10} esp/g: añadir aceite coadyuvante. 	<p>Trampas:</p> <p>-Cromotrópicas Amarillas de monitoreo:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Colocarlas antes de implantar el cultivo y en los puntos críticos. ▪ Mantenerlas en todo el ciclo. <p>-Cromotrópicas Amarillas de Control:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Colocarlas antes de implantar el cultivo con una densidad elevada. ▪ Con la introducción de OCB el nº de éstas se limitará a los puntos críticos de la parcela.
<p>Trips</p> <p><i>Frankliniella occidentalis</i></p>	<p>Las primeras “seltas” de organismos de control biológico se realizarán al detectar la primera presencia de plaga, teniendo especial cuidado en plantaciones de tomate <i>Cherry</i>.</p>	<p>Organismos de Control Biológico</p> <p><i>Nesidiocoris tenuis</i>: Empleo de huevos de <i>Ephestia sp.</i> para favorecer su establecimiento.</p> <p><i>Hypoaspis miles</i>: Se recomienda en el momento del trasplante o bien previo a este, aplicándolo en las líneas de cultivo.</p> <p>Productos fitosanitarios (sustancias activas) de posible uso por su compatibilidad con los OCB</p> <ul style="list-style-type: none"> -Aceite de verano -Azadiractin. -Butoxido de piperonilo+piretrinas -Lufenuron. -Oxamilo -Spinosad 	<p>Trampas:</p> <p>-Cromotrópicas Azules de Monitoreo:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Colocarlas antes de implantar el cultivo y en los puntos críticos. ▪ Mantenerlas en todo el ciclo. <p>-Cromotrópicas Azules de Control:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Colocarlas antes de implantar el cultivo con una densidad elevada. ▪ Con la introducción de OCB el nº de éstas se limitará a los puntos críticos de la parcela. <p>-Feromonas específicas en placas azules:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Colgar las placas a 30-50 cm por encima del cultivo pegando el

			<p>emisor en la parte central de la placa. Colocarlas a tresbolillo dejando 8-10 m entre ellas y 5m a partir de la banda.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Dosis de 100 feromonas/ha en placas azules. ▪ Colocar la feromona cuando se hayan capturado de 3 a 5 trips /placa.
<p>Nematodos</p> <p>(<i>Meloidogyne javanica</i>, <i>M. incognita</i>, <i>M. arenaria</i>.)</p>	<p>Las primeras aplicaciones se realizarán al aparecer los primeros daños en la planta.</p> <p>En parcelas con problemas anteriores de esta plaga las primeras aplicaciones se podrán realizar incluso antes.</p>	<p>Productos fitosanitarios (sustancias activas) de posible uso por su compatibilidad con los OCB o por su efecto conocido sobre los mismos.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Etoprofos -Fenamifos -Oxamilo: -<i>Nesidiocoris</i>. 	<p>Combinación de las siguientes medidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Biofumigación. - Solarización. - Mantenimiento de un nivel adecuado de materia orgánica en el suelo. - Empleo de variedades resistentes y/o injertadas.
<p>Orugas</p> <p>Heliotis (<i>Helicoverpa armigera</i>, <i>Heliothis peltigera</i>)</p> <p>Plusia (<i>Chrysodeixis chalcites</i>, <i>Autographa gamma</i>, <i>Trichoplusia ni</i>)</p> <p>Rosquilla negra (<i>Spodoptera littoralis</i>)</p> <p>Rosquilla verde (<i>Spodoptera exigua</i>)</p> <p>Polilla del tomate (<i>Tuta absoluta</i>)</p>	<p>Se observará en cada una de las plantas muestreadas la presencia de huevos, larvas, daños recientes y frutos con daños.</p> <p>Las primeras medidas de control se aplicarán al detectar la presencia de la plaga en el cultivo.</p>	<p>Organismos de Control Biológico</p> <p><i>Nesidiocoris tenuis</i>: Se podrán emplear de huevos de <i>Ephestia sp.</i>, para favorecer su establecimiento. Al tratarse de un organismo de hábitos fitófagos, niveles de población elevados pueden producir daños en planta y fruto.</p> <p><i>Trichogramma achaeae</i> (<i>Tuta absoluta</i>) <i>Steinernema carpocapsae</i> y <i>Poly D glucosamina Steinernema carpocapsae</i></p> <p>Productos fitosanitarios (sustancias activas) de posible uso por su compatibilidad con los OCB o por su efecto conocido sobre los mismos.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Abamectina [EW] -Azadiractin. -<i>Bacillus thuringiensis Aizawai</i> -<i>Bacillus thuringiensis Kurstaki</i> -Butóxido de piperonilo+piretrinas -Etofenprox -Flufenoxuron -Indoxacarb -Lufenuron -Metoxifenocida -Spinosad -Tebufenocida -Teflubenzurón 	<p>Colocación de trampas con feromonas, específicas para cada especie en el interior o en los márgenes de la parcela, rodeadas con trampas adhesivas azules.</p> <p>Eliminación de frutos dañados.</p> <p>Medidas específicas para <i>Tuta absoluta</i>:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Trampas para muestreo: tipo "delta" con feromona sexual: 4-6 por ha. - Trampas para captura masiva: <ul style="list-style-type: none"> • de agua con feromona sexual: 4-8 por ha. Colocadas a poca altura del suelo. • de luz: utilizar sólo en estructuras con buena hermeticidad. Colocadas a poca altura del suelo, y tapadas, evitado que la luz se proyecte hacia arriba. <p>Limpieza selectiva de órganos dañados y aislamiento en bolsas de plástico.</p> <p>Se dará un tratamiento previo a arrancar el cultivo dañado, con un producto fitosanitario adulticida y un larvicida.</p> <p>Solarización mínimo 2 semanas</p>

			<p>para control de las pupas existentes en el suelo.</p> <p>Aislar los restos vegetales con daños con una cubierta plástica lo más hermética posible (preferente dentro del invernadero) mínimo 2 semanas.</p>
--	--	--	--

Anexos 9

Estrategia de control integrado de enfermedades

ENFERMEDADES	CRITERIOS DE INTERVENCIÓN	MÉTODOS DE CONTROL	MEDIDAS PREVENTIVAS / CULTURALES
<p>Podredumbre de cuello y raíces</p> <p>(<i>Phytophthora sp.</i>, <i>Pythium sp.</i>, <i>Rhizoctonia sp.</i>, <i>Fusarium f.sp. radicis lycopersici</i>)</p>	<p>Detección de plantas con síntomas.</p> <p>Presencia de plantas con síntomas y condiciones favorables para su desarrollo:</p> <p>-Alta humedad en suelo.</p> <p>En parcelas con antecedentes de la enfermedad podrán realizarse tratamientos preventivos a criterio del técnico responsable.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Etridiazol - Fosetil + Propamocarb Propamocarb Quinosol - Metil tiofanato (<i>Fusarium</i>) - Metil tolclofos (<i>Rizoctonia</i>) Pencicuron (<i>Rizoctonia</i>) - Procloraz (<i>Fusarium</i>) - <i>Trichoderma harzianum</i> + <i>Trichoderma viride</i> 	<ul style="list-style-type: none"> -Cubrir balsas y conducciones. -Manejo adecuado de la ventilación y riego evitando encharcamiento sobre todo en el momento de la siembra o trasplante. -Identificar el agente causal en un laboratorio especializado. -Tratamientos localizados al cuello de las plantas. -Controlar que el agua de riego esté libre de patógenos. -Abonado nitrogenado equilibrado. -Eliminación de plantas enfermas y malas hierbas. -Solarización. -Biofumigación.
<p>Oidio</p> <p>Oidiopsis</p> <p>(<i>Leveillula taurica</i>)</p> <p>Oidium</p> <p>(<i>Oidium neolycopersici</i>)</p>	<p>Detección de plantas con síntomas.</p> <p>Presencia de plantas con síntomas y condiciones ambientales favorables para su desarrollo.</p> <p>En parcelas con antecedentes de la enfermedad, podrán realizarse tratamientos preventivos a criterio técnico responsable.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Azoxistrobin (<i>Oidiopsis</i>) - Azufre - Bupirimato - Ciproconazo - Flutriafol (<i>Oidiopsis</i>) - Kresoxim-metil - Metil tiofanato - Metil tiofanato + Triflumizol - Miclobutanil (<i>Oidiopsis</i>) - Penconazol (<i>Oidiopsis</i>) - Tebuconazol (<i>Oidiopsis</i>) - Tetraconazol (<i>Oidiopsis</i>) - Triadimenol 	<ul style="list-style-type: none"> -Eliminación de hojas viejas basales dañadas. -Eliminación de malas hierbas y restos de cultivo. -Manejo adecuado de la ventilación.

<p>Podredumbre gris (<i>Botrytis cinerea</i>)</p>	<p>Detección de plantas con síntomas.</p> <p>Presencia de plantas con síntomas y las condiciones ambientales favorables para su desarrollo.</p> <p>En parcelas con antecedentes de esta enfermedad, podrán realizarse tratamientos preventivos a criterio del técnico responsable.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Captan - Ciprodinil + Fludioxonil Clortalonil - Dietofencarb Iprodiona - Mepanipirim Metil tiofanato - Pirimetanil Tebuconazol 	<ul style="list-style-type: none"> -Evitar la presencia de agua libre sobre el cultivo. -Aplicación de pastas fungicidas en tallos. -Con riesgo bajo (HR baja) utilizar fungicidas generales. Si el riesgo es elevado (HR alta, elevada concentración de inóculo), fungicidas específicos. -Manejo adecuado de la ventilación y riego. -Eliminación de plantas, órganos y frutos enfermos de la parcela. -Cuidado especial con podas, deshojados (realizar a ras del tallo y con HR no elevada) y amarre de rafia. -Solarización tras el cultivo afectado. -Biofumigación.
<p>Podredumbre blanca (<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>)</p>	<p>Detección de plantas con síntomas.</p> <p>Presencia de plantas con síntomas y las condiciones ambientales favorables para su desarrollo.</p> <p>En parcelas con antecedentes de esta enfermedad, podrán realizarse tratamientos preventivos a criterio del técnico responsable.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ciprodinil + Fludioxonil Metil tolclofos Tebuconazol - <i>Trichoderma harzianum</i> + <i>Trichoderma viride</i> 	<ul style="list-style-type: none"> -Evitar la presencia de agua libre sobre el cultivo. -Aplicación de pastas fungicidas en tallos. -Manejo adecuado de la ventilación y riego. -Eliminación de plantas órganos y frutos enfermos de la parcela. -Cuidado especial con podas, deshojados (realizar a ras del tallo y con HR no elevada) y amarre de rafia. -Abonado equilibrado para evitar exceso de vigor. -Solarización tras el cultivo afectado. -Biofumigación. -Retirar inmediatamente de las parcelas plantas, órganos y frutos

			enfermos y destruirlos.
<p>Alternariosis de las solanáceas</p> <p><i>(Alternaria dauci f.sp. solani)</i></p>	<p>Detección de plantas con síntomas.</p> <p>Presencia de plantas con síntomas y condiciones favorables para su desarrollo: noches húmedas seguidas de días soleados.</p> <p>En parcelas con antecedentes de la enfermedad, podrán realizarse tratamientos preventivos en época de riesgo a criterio del técnico responsable.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Benalaxil + Oxiclورو de cobre Benalaxil + Cimoxanilo + mancozeb* Benalaxil + mancozeb - Captan - Carbonato básico de cobre + mancozeb + oxiclورو de cobre + sulfato cuprocalcico - Cimoxanilo + mancozeb* + oxiclورو de cobre + sulfato de cobre - Cimoxanilo + mancozeb* + oxiclورو de cobre - Cimoxanilo + mancozeb* + sulfato cuprocalcico - Difenconazol - Fosetil-Al + mancozeb* + Hidróxido cúprico - Hidróxido cúprico + mancozeb* Mancozeb* + oxiclورو de cobre Mancozeb* - Mancozeb* + metalaxil M Mancozeb* + sulfato cuprocalcico Maneb - Maneb + Oxiclورو de cobre Maneb + Sulfato cuprocálcico Metiram - Oxiclورو cuprocalcico Oxiclورو de cobre 	<ul style="list-style-type: none"> - Empleo de plántulas sanas. - Eliminación y retirada de la parcela de los frutos y otras partes de la planta con síntomas de la enfermedad. - Manejo adecuado de la ventilación y riego.

		<ul style="list-style-type: none"> - Oxicloruro de cobre + Sulfato cuprocálcico Oxido cuproso - Propineb - Sulfato cuprocalcico Sulfato de cobre - Sulfato tribasico de cobre <p>(*) Los productos formulados con mancozeb se emplearán teniendo en cuenta el efecto tóxico sobre fitoseidos.</p>	
<p>Mildiu del tomate <i>(Phytophthora infestans)</i></p>	<p>Presencia de plantas con síntomas y condiciones favorables para su desarrollo: HR: 90% $10^{\circ} < T^{\circ}(\text{C}) < 25^{\circ}$</p> <p>En parcelas con antecedentes de la enfermedad, podrán realizarse tratamientos preventivos en época de riesgo a criterio del técnico responsable, basados en condiciones climáticas y estado de desarrollo de la planta.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Azufre micronizado + captan - Benalaxil + cimoxanilo + mancozeb* - Benalaxil + mancozeb* - Benalaxil + Oxicloruro de cobre - Captan - Cimoxanilo + fosetil-Al + mancozeb* - cuprocálcico Cimoxanilo + propineb - Mancozeb* + metalaxil-M - Mancozeb* + sulfato cuprocálcico - Maneb - Maneb + Oxicloruro de cobre - Maneb + Sulfato cuprocálcico - Metalaxil-M + Oxicloruro de cobre - Metiram - Oxicloruro cuprocálcico - Oxido cuproso - Sulfato cuprocálcico Sulfato de cobre - Sulfato tribásico de cobre - <i>Trichoderma asperellum</i>+<i>Trichoderma gamsii</i> <p>(*) Los productos formulados con mancozeb se emplearán teniendo en cuenta el efecto tóxico sobre fitoseidos</p>	<p>-Evitar la presencia de agua libre sobre el cultivo.</p> <p>-No utilizar más de dos veces la misma sustancia activa de propiedades sistémicas en toda la campaña.</p> <p>-Manejo de la ventilación.</p> <p>-Eliminación de plantas y frutos enfermos.</p>

<p>Fusariosis vascular del tomate (<i>Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici</i>)</p>	<p>Detección de plantas con síntomas.</p> <p>Presencia de plantas con síntomas y condiciones favorables para su desarrollo:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Alta temperatura . 	<ul style="list-style-type: none"> - Ditanona - Dodina - Etridiazol - Himexazol - Metil-Tiofanato - Procloraz - <i>Trichoderma harzianum</i> + <i>Trichoderma viride</i> 	<p>Combinación de las siguientes medidas.</p> <p>Biofumigación</p> <p>Solarización</p> <p>Mantenimiento de un nivel adecuado de materia orgánica en el suelo</p> <p>Empleo de variedades resistentes</p> <p>Empleo de protainjertos</p> <p>Rotación de cultivos</p>
<p>Bacteriosis Chancro bacteriano del tomate (<i>Clavibacter michiganensis</i>) Mancha negra del tomate (<i>Pseudomonas syringae pv tomate</i>) Podredumbre blanda (<i>Erwinia carotovora subsp .carotovora</i>) Roña bacteriana (<i>Xanthomonas campestris pv. versicatoria</i>)</p>	<p>Detección de plantas con síntomas.</p> <p>Presencia de plantas con síntomas y condiciones favorables para su desarrollo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Acibenzolar-S-Metil - Hidróxido cúprico - Oxicloruro cuprocálcico - Oxicloruro de cobre - Oxido cuproso Sulfato cuprocálcico - Sulfato de cobre - Sulfato tribásico de cobre 	<ul style="list-style-type: none"> -Uso de pastas con cobre en heridas y daños en tallo. -Manejo adecuado de la ventilación y riego. -Reducir al máximo la humedad ambiental e impedir que sobre las plantas exista la presencia de agua libre. -Desinfección de herramientas. -Eliminar órganos enfermos. -Evitar heridas de poda. -Evitar exceso de vigor de la planta por exceso de nitrógeno. -Cuidado especial en podas (realizar a ras del tallo y con HR no elevada).

Fuente: (FAO, 2013; INIA, 2017)