



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

POSGRADO

## PROGRAMA DE MAESTRÍA EN AGRONOMÍA MENCIÓN NUTRICIÓN VEGETAL

### MODALIDAD DE TITULACIÓN

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado académico de Magister  
en Agronomía. Mención en Nutrición Vegetal

**Tema:** “Influencia del biocarbono sobre la respuesta morfofisiología de  
vitroplantas de *Solanum tuberosum* L. Var Superchola”

**Autor:** Ingeniero, Santiago Alberto Mayorga Romero

**Director:** Ingeniero, Manolo Sebastián Muñoz, PhD.

AMBATO – ECUADOR

2024

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS/ DIRECCIÓN DE**  
**POSGRADO**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN AGRONOMÍA MENCIÓN NUTRICIÓN**  
**VEGETAL**

**INFORMACIÓN GENERAL**

**TEMA:** “Influencia del biocarbono sobre la respuesta morfofisiología de vitroplantas de *Solanum tuberosum* L. Var Superchola”

**AUTOR:** *Santiago Alberto Mayorga Romero*

*Grado académico:* Ingeniero Agrónomo

*Correo electrónico:* artesdemayorga@gmail.com

**DIRECTOR:** Ingeniero, Manolo Sebastián Muñoz, PhD.

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.**

- Línea de investigación aprobada en el programa de posgrado  
Microbiología y Biotecnología

A la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato  
Facultad de Ciencias Agropecuarias.

El tribunal receptor del trabajo de Investigación, presidido por el Ing. Patricio Núñez PhD, e integrado por los señores PhD Michell Leiva Mora y el Ingeniero Jorge Enrique Dobronski, Mg. designados por la Unidad de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptar el trabajo de titulación con el Tema: “Influencia del biocarbono sobre la respuesta morfofisiología de vitroplantas de *Solanum tuberosum* L. Var Superchola” Elaborado por el señor Ingeniero Santiago Alberto Mayorga Romero, para optar por el grado de Magister en Agronomía mención Nutrición Vegetal; una vez escuchada la defensa oral del trabajo de investigación el tribunal aprueba y remite para uso y custodia en las bibliotecas UTA.



Firmado electrónicamente por:  
OSCAR PATRICIO  
NUNEZ TORRES

---

Ing. Patricio Núñez PhD.  
Presidente de Tribunal



Firmado electrónicamente por:  
MICHEL LEIVA MORA

---

Ing. Michel Leiva, PhD.  
Miembro de Tribunal



Firmado electrónicamente por:  
JORGE ENRIQUE  
DOBRONSKI ARCOS

---

Ing. Jorge E. Dobronski, Mg.  
Miembro de Tribunal

## AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Investigación, presentado con el tema: “Influencia del biocarbón sobre la respuesta morfofisiología de vitroplantas de *Solanum tuberosum* L. Var Superchola”, le corresponde exclusivamente al: Ingeniero Santiago Alberto Mayorga Romero, autor, bajo la Dirección del Ingeniero Manolo Sebastián Muñoz, PhD, Director del Trabajo de Investigación, y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

SANTIAGO	SANTIAGO
O	ALBERTO
ALBERTO	MAYORGA
MAYORGA	ROMERO
ROMERO	2024-03-18
	11:45-05:00

---

Ing. Santiago Alberto Mayorga Romero  
C.C. 1802118677  
AUTOR



Firmado electrónicamente por:  
MANOLO SEBASTIAN  
MUÑOZ ESPINOZA

---

Ing. Manolo Sebastián Muñoz, PhD.  
DIRECTOR

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.

SANTIAGO	SANTIAGO
ALBERTO	ALBERTO
MAYORGA	MAYORGA
ROMERO	ROMERO
	2024-03-18
	11:45-05:00

---

Ing. Santiago Alberto Mayorga Romero  
C.C. 1802118677  
AUTOR

## DEDICATORIA

*A Santiago, Renata, Paola, Daniela, Cayetana,  
Joaquín y a nuestro querido Remus.*

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi gratitud hacia las personas de la noble institución que me han ayudado a lo largo de esta investigación y el programa de maestría.

Al Ing. Manolo Muñoz, Director de tesis, por su orientación, apoyo y asesoramiento durante el proceso de investigación, reconozco enfáticamente su contribución a este trabajo, así como a los acertados consejos proporcionados.

A mis Profesores y miembros evaluadores, expreso mi profunda gratitud hacia los profesionales de primer nivel encargados de mi formación, revisión y evaluación de este trabajo, brindando insistentemente una retroalimentación constructiva.

A mis compañeros de clase, gracias por el apoyo a lo largo del programa de maestría, ya sea compartiendo conocimientos, colaborando en las tareas y dando apoyo oportuno en el transcurso de la maestría.

A mis amigos y familia, por su cariño incondicional, comprensión y paciencia mientras me dedicaba a enfrentar este reto a cambio del valioso tiempo en que no los vería.

Al personal del Centro de Investigaciones y laboratorio, por su ayuda en el acceso a espacios, material de investigación y asistencia técnica.

## ÍNDICE

INFORMACIÓN GENERAL .....	II
AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	IV
DERECHOS DE AUTOR .....	V
DEDICATORIA .....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XVII
RESUMEN .....	XX
Abstract.....	XXI
CAPÍTULO I .....	1
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.1. Introducción .....	1
1.2. Justificación .....	3
1.3. Objetivos .....	4
CAPÍTULO II .....	5
ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....	5
2.1 Biocarbono .....	5
2.1.1 Pirólisis .....	6
2.1.2 Pirólisis lenta .....	7
2.1.3 Pirólisis rápida .....	8
2.1.4 Carbonización térmica.....	8
2.2 El Potencial del Biocarbono .....	9
2.3 Biocarbono un recurso innovador para la sostenibilidad agrícola.....	10
2.4 Consideraciones químicas para una aplicación sostenible .....	11
2.5 Impacto químico, obtención y potencial sinérgico para mejora del suelo .....	12
2.6 Vitroplantas de <i>S. tuberosum</i> y biocarbono .....	13
2.7 Influencia del biocarbono en el crecimiento y desarrollo de <i>S. tuberosum</i> .....	14
2.8 Relación del biocarbono con los macro y micronutrientes .....	14
CAPÍTULO III .....	16
MARCO METODOLÓGICO .....	16
3.1. Ubicación.....	16
3.1.1 Ubicación política .....	16
3.1.2 Ubicación geográfica .....	16
3.1.3 Ubicación ecológica.....	16
3.2. Equipos y materiales .....	17

3.2.1. Material experimental.....	17
3.2.2. Material complementario .....	17
3.2.2.1 Biocarbono (Tectopore Pure) .....	17
3.2.2.2. Turba rubia.....	17
3.2.2. Equipos.....	17
3.2.3. Materiales .....	18
3.2.4. Reactivos .....	18
3.3. Tipo de investigación.....	18
3.4. Procesamiento de la información y análisis estadístico .....	18
3.4.1. Factores en estudio .....	18
3.4.2. Tratamientos .....	19
3.4.3. Diseño experimental .....	19
3.4.3.1. Área de investigación .....	20
3.4.3.2. Disposición de las plantas.....	20
3.4.4. Análisis estadístico .....	20
3.5. Variables de estudio.....	21
3.5.1. Variables dependientes.....	21
3.5.1.1. Morfología de la hoja .....	21
3.5.1.1.1. Área foliar.....	21
3.5.1.2 Morfología del tallo.....	21
3.5.1.2.1. Longitud de entrenudos .....	21
3.5.1.2.2. Número de entrenudos.....	21
3.5.1.2.3. Diámetro del tallo .....	21
3.5.1.3. Morfología de la raíz .....	21
3.5.1.3.1. Longitud radicular .....	21
3.5.1.3.2. Número de raíces .....	22
3.5.1.3.3. Volumen de raíces.....	22
3.5.1.4. Masa fresca .....	22
3.5.1.5. Masa seca.....	22
3.5.1.6. Contenido de macro y micro nutrientes.....	22
3.5.2. Variable independiente .....	23
3.5.3. Unidad de investigación .....	23
3.6. Manejo del ensayo .....	23
3.6.1. Preparación de sustratos.....	23
3.6.2. Subcultivo.....	23
3.6.3. Riego .....	23

CAPÍTULO IV .....	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
4.1. Análisis de la influencia de combinaciones de TectoporePure y Turba sobre la respuesta morfológica de <i>S. tuberosum</i> Var. Superchola bajo invernadero. ....	24
4.1.1 Morfología de la hoja .....	24
4.1.1.1 Área foliar en etapa 1 .....	24
4.1.1.2 Área foliar en etapa 2 .....	25
4.1.1.3 Área foliar en etapa 3 .....	26
4.2. Evaluación del efecto del Tectopore y turba en el crecimiento de vitroplantas de <i>S. tuberosum</i> Var. Superchola bajo invernadero. ....	28
4.2.1 Morfología del tallo .....	28
4.2.1.1 Longitud de entrenudos en etapa 1 .....	28
4.2.1.2 Longitud de entrenudos en etapa 2 .....	30
4.2.1.3 Longitud de entrenudos en etapa 3 .....	31
4.2.1.4 Número de entrenudos en etapa 1 .....	33
4.2.1.5 Número de entrenudos en etapa 2 .....	34
4.2.1.6 Número de entrenudos en etapa 3 .....	36
4.2.1.7 Diámetro del tallo en etapa 1 .....	37
4.2.1.8 Diámetro del tallo en etapa 2 .....	39
4.2.1.9 Diámetro del tallo en etapa 3 .....	40
4.2.2 Morfología de la raíz .....	41
4.2.2.1 Longitud radicular en etapa 1 .....	41
4.2.2.2 Longitud radicular en etapa 2 .....	42
4.2.2.3 Longitud radicular en etapa 3 .....	44
4.2.2.4 Número de raíces en etapa 1 .....	45
4.2.2.5 Número de raíces en etapa 2 .....	47
4.2.2.6 Número de raíces en etapa 3 .....	48
4.2.2.7 Volumen de raíces en etapa 1 .....	50
4.2.2.8 Volumen de raíces en etapa 2 .....	51
4.2.2.9 Volumen de raíces en etapa 3 .....	51
4.3 Determinación de la influencia del Biocarbono (Tectopore) en el contenido de macro y micro nutrientes en <i>vitro plantas</i> de <i>S. tuberosum</i> cultivadas en condiciones de invernadero.....	52
4.3.1 Determinación de masa fresca en etapa 1 .....	52
4.3.2 Determinación de masa fresca en etapa 2 .....	54
4.3.3 Determinación de masa fresca en etapa 3 .....	54
4.3.4 Determinación de masa seca en etapa 1 .....	55

4.3.5 Determinación de masa seca en etapa 2.....	57
4.3.6 Determinación de masa seca en etapa 3.....	58
4.3.7 Determinación del contenido de macro y micro nutrientes.....	59
CAPÍTULO V.....	62
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS.....	62
5.1. Conclusiones .....	62
5.2. Recomendaciones .....	63
5.3. Bibliografía .....	64
5.4. Anexos.....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	
<i>Tratamientos experimentales y simbología</i> .....	19
<b>Tabla 2</b>	
<i>Análisis de varianza para la influencia del biocarbono sobre la respuesta morfofisiología de vitroplantas de S. tuberosum L. var superchola.</i> .....	20
<b>Tabla 3</b>	
<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el área foliar de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.</i> .....	24
<b>Tabla 4</b>	
<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el área foliar de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.</i> .....	25
<b>Tabla 5</b>	
<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el área foliar de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza</i> .....	27
<b>Tabla 6</b>	
<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud de entrenudos de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.</i> .....	29
<b>Tabla 7</b>	
<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud de entrenudos de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.</i> .....	30

<b>Tabla 8</b>	
<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud de entrenudos de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza. ....</i>	31
<b>Tabla 9</b>	
<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono y Turba rubia sobre el número de entrenudos de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días en fase de aclimatización utilizando la prueba H de Kruskal Wallis complementada con la prueba U de Mann Whitney para <math>p &lt; 0.05</math> ....</i>	33
<b>Tabla 10</b>	
<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud de entrenudos de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando la prueba H de Kruskal Wallis complementada con la prueba U de Mann Whitney para <math>p &lt; 0.05</math>. ....</i>	35
<b>Tabla 11</b>	
<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el número de entrenudos de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza. ....</i>	36
<b>Tabla 12</b>	
<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre diámetro del tallo de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza. ....</i>	38
<b>Tabla 13</b>	
<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el diámetro del tallo de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza. ....</i>	39
<b>Tabla 14</b>	
<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y</i>	

<i>Turba rubia sobre el diámetro del tallo de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza. ....</i>	40
--	----

**Tabla 15**

<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud radicular de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza. ....</i>	41
---	----

**Tabla 16**

<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud radicular de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza. ....</i>	43
---	----

**Tabla 17**

<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud radicular de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza. ....</i>	44
---	----

**Tabla 18**

<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el número de raíces de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Kruskal Wallis complementada con la prueba U de Mann Whitney para <math>p &lt; 0.05</math>. ....</i>	46
--	----

**Tabla 19**

<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el número de raíces de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza. ....</i>	47
---	----

**Tabla 20**

<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el número de raíces de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización</i>	
--	--

<i>utilizando Tukey al 95% de confianza. ....</i>	48
<b>Tabla 21</b>	
<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre volumen de raíces de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza. ....</i>	50
<b>Tabla 22</b>	
<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el volumen de raíces de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza. ....</i>	51
<b>Tabla 23</b>	
<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el volumen de raíces de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza. ....</i>	52
<b>Tabla 24</b>	
<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el contenido de masa fresca en vitro plantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza. ....</i>	53
<b>Tabla 25</b>	
<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el contenido de masa fresca en vitro plantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza. ....</i>	54
<b>Tabla 26</b>	
<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el contenido de masa fresca en vitro plantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza. ....</i>	55
<b>Tabla 27</b>	
<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y</i>	

<i>Turba rubia sobre el contenido de masa seca en vitro plantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza. ....</i>	56
---	----

**Tabla 28**

<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el contenido de masa seca en vitro plantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza. ....</i>	57
--	----

**Tabla 29**

<i>Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el contenido de masa seca en vitro plantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza. ....</i>	58
--	----

**Tabla 30**

<i>Análisis foliar, contenido de macro- y microelementos en masa seca (macroelementos en %, microelementos en ppm equivalente a mg/k o <math>\mu\text{m/g}</math>). ....</i>	61
--	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

### **Figura 1**

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el área foliar de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización. ....* 25

### **Figura 2**

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el área foliar de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización. ....* 26

### **Figura 3**

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el área foliar de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización. ....* 27

### **Figura 4**

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud de entrenudos de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización. ....* 29

### **Figura 5**

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud de entrenudos de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización. ....* 30

### **Figura 6**

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud de entrenudos de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización. ....* 32

### **Figura 7**

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el número de entrenudos de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de* 34

<i>aclimatización.</i> .....	
<b>Figura 8</b>	
<i>Influencia de diferentes combinaciones de biocarbóno (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud de entrenudos de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización.</i> .....	35
<b>Figura 9</b>	
<i>Influencia de diferentes combinaciones de biocarbóno (TectoporePure) y Turba rubia sobre el número de entrenudos de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización.</i> .....	37
<b>Figura 10</b>	
<i>Influencia de diferentes combinaciones de biocarbóno (TectoporePure) y Turba rubia sobre el diámetro del tallo de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización.</i>	38
<b>Figura 11</b>	
<i>Influencia de diferentes combinaciones de biocarbóno (TectoporePure) y Turba rubia sobre el diámetro del tallo de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización.</i>	39
<b>Figura 12</b>	
<i>Influencia de diferentes combinaciones de biocarbóno (TectoporePure) y Turba rubia sobre el diámetro del tallo de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización.</i>	40
<b>Figura 13</b>	
<i>Influencia de diferentes combinaciones de biocarbóno (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud radicular de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización.</i>	42
<b>Figura 14</b>	
<i>Influencia de diferentes combinaciones de biocarbóno (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud radicular de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización.</i>	43
<b>Figura 15</b>	
<i>Influencia de diferentes combinaciones de biocarbóno (TectoporePure)</i>	

*y Turba rubia sobre la longitud radicular de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización.* 45

**Figura 16**

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el número de raíces de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización.* 46

**Figura 17**

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el número de raíces de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización.* 48

**Figura 18**

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el número de raíces de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización.* 49

**Figura 19**

*Determinación del volumen de raíces empleando el sistema radicular desarrollado en diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola posterior a los días de plantadas en fase de aclimatización.* 50

**Figura 20**

*Preparación de las muestras para la determinación de masa fresca las vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola cultivadas en diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia en fase de aclimatización. Esta preparación se efectuó en todos los casos.* 53

**Figura 21**

*Preparación de las muestras para la determinación de masa fresca las vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola cultivadas en diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia en fase de aclimatización. Esta preparación se efectuó en todos los casos.* 56

**Figura 22**

*Preparación de las muestras para la determinación del peso de la masa seca de las vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola cultivadas en diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia en fase de aclimatización. Este protocolo se aplicó en todos los casos.* 57

## RESUMEN

El estudio aborda la influencia del biocarbono en vitroplantas de *Solanum tuberosum* L. Var Superchola en condiciones de invernadero. En un contexto global de desafíos agrícolas, el biocarbono se presenta como una estrategia sostenible para mejorar la productividad y reducir emisiones de gases de efecto invernadero. El biocarbono, derivado de residuos orgánicos como la teca, mejora la fertilidad del suelo, incrementa la retención de humedad y aumenta la capacidad de intercambio de cationes. El estudio se centra en la variedad Superchola, importante en la dieta y economía ecuatoriana, con el objetivo de evaluar cómo las vitroplantas responden a sustratos con biocarbono de teca. La investigación se llevó a cabo en la Universidad Técnica de Ambato. Con base en los resultados obtenidos, revelaron que la combinación de biocarbono y turba afecta la respuesta morfofisiológica de las vitroplantas. Las mezclas con menor proporción de biocarbono muestran mejores resultados, destacando Tb1-Bc0 (100% Turba rubia + 0% Biocarbono). Además, se observó que altas cantidades de biocarbono afectan negativamente al crecimiento de las plantas. La extracción de nutrientes varió según las combinaciones de sustratos, siendo recomendable optimizar la elección de mezclas para promover una respuesta morfofisiológica favorable. Se destaca la importancia del monitoreo del uso de biocarbono y se sugiere investigar más a fondo la interacción de éste con la morfología de las plantas y la extracción de nutrientes. Como hemos visto, el estudio ofrece pautas para mejorar la producción sostenible de papas, especie vital para la alimentación y economía en Ecuador, enfatizando la necesidad de un manejo cuidadoso y estratégico del biocarbono.

**Palabras Claves:** Biocarbono, Vitroplantas, Morfofisiología, Nutrientes y Producción sostenible.

## **Abstract**

The study addresses the influence of biocarbon in vitroplants of *Solanum tuberosum* L. Var Superchola under greenhouse conditions. In a global context of agricultural challenges, biocarbon is presented as a sustainable strategy to improve productivity and reduce greenhouse gas emissions. Biocarbon, derived from organic residues such as teak, improves soil fertility, increases moisture retention and increases cation exchange capacity. The study focuses on the Superchola variety, important in the Ecuadorian diet and economy, with the objective of evaluating how vitroplants respond to teak biocarbon substrates. The research was carried out at the Technical University of Ambato. Based on the results obtained, they revealed that the combination of biocarbon and peat affects the morphophysiological response of vitroplants. Mixtures with a lower proportion of biocarbon showed better results, with Tb1-Bc0 (100% blond peat + 0% biocarbon) standing out. In addition, it was observed that high amounts of biocarbon negatively affect plant growth. Nutrient extraction varied according to substrate combinations, being advisable to optimize the choice of mixtures to promote a favorable morphophysiological response. The importance of monitoring biocarbon use is emphasized and further investigation of its interaction with plant morphology and nutrient extraction is suggested. As we have seen, the study offers guidelines to improve the sustainable production of potatoes, a vital species for food and economy in Ecuador, emphasizing the need for a careful and strategic management of biocarbon.

**Key words:** Biochar, Vitroplants, Morphophysiology, Nutrients and Sustainable production.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Introducción

La producción agrícola mundial se enfrenta a una serie de desafíos, incluyendo la creciente demanda de alimentos debido al crecimiento de la población, la escasez de agua y tierra cultivable, y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. De lo tratado, naturalmente, nuestro país no es la excepción, por lo tanto, en este contexto, el uso de biocarbono se ha propuesto como una estrategia sostenible para mejorar la productividad agrícola y reducir la huella de carbono (Preston, 2013).

Se espera que los resultados de este estudio contribuyan a comprender los efectos del biocarbono en la producción de vitroplantas de papa y, por lo tanto, proporcionen información importante para mejorar los suelos, por tanto; la producción agrícola y la sostenibilidad ambiental. Además, los resultados de este estudio pueden ser de interés para los productores y los investigadores que trabajan en la producción agrícola sostenible (Escalante Rebolledo et al., 2016).

El biocarbono es un producto derivado de la transformación de residuos orgánicos, agrícolas, en carbono estabilizado que puede ser utilizado como enmienda para el suelo. El uso de biocarbono como en el suelo ha demostrado que mejora la fertilidad del suelo, la retención de humedad, la capacidad de intercambio de cationes y la capacidad de almacenamiento de carbono en el suelo (Camarena Daniela et al., 2022).

Para nuestro caso en particular, el biocarbono obtenido, será a partir de la teca que, es un tipo de carbón vegetal producido a partir de la biomasa de *T. grandis*, conocido como Tectopore. El proceso de producción de biocarbono implicaría la pirolisis (calentamiento a alta temperatura en ausencia de oxígeno) de la teca, lo que da como resultado un material sólido carbonoso con una alta proporción de carbono (Présiga-López et al., 2020).

El biocarbono tiene diversas aplicaciones, como la mejora de la calidad del suelo, la purificación de agua y aire, y la producción de energía. Además, el uso de

biocarbono como una alternativa sostenible al carbón mineral tradicional puede ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y combatir el cambio climático. En este sentido, es importante destacar que la producción de biocarbono debe ser realizada de manera sostenible y responsable, garantizando la conservación de los recursos naturales y el bienestar de las comunidades locales (Preston, 2013).

La papa *Solanum tuberosum* L. es un cultivo importante en todo el mundo y es una fuente importante de carbohidratos y proteínas. La producción de papa es vulnerable a una serie de problemas, incluyendo enfermedades, plagas y cambios ambientales. Por lo tanto, la mejora de la calidad de las vitroplantas de papa puede ser una estrategia importante para mejorar la producción agrícola y reducir los costos de producción (De los Santos, 2021).

No obstante, el biocarbono puede tener varios efectos beneficiosos en los suelos utilizados para el cultivo de papas. Al agregar biocarbono al suelo, se puede mejorar su estructura, aumentar su capacidad de retener agua y nutrientes, y promover el crecimiento de microorganismos beneficiosos. Además, el biocarbono puede aumentar la capacidad del sustrato para retener el fósforo, un nutriente esencial para el crecimiento de las papas. La adición de biocarbono al suelo también puede reducir la acidez del suelo, lo que es especialmente beneficioso para las papas, que prefieren un pH ligeramente ácido (Chavez García, 2022).

Otro beneficio importante del uso de biocarbono en los cultivos de papa es que puede reducir la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos por el suelo. La adición de biocarbono al suelo puede aumentar la cantidad de carbono almacenado en el suelo, lo que a su vez puede ayudar a reducir la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera. Sintetizando, la adición de biocarbono al suelo utilizado para el cultivo de papas puede mejorar la calidad del suelo, aumentar la retención de nutrientes, reducir la acidez del suelo y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero lo que puede llevar a un cultivo de papas más saludable y sostenible (De los Santos, 2021).

En concordancia con la problemática planteada, en el presente trabajo se pone a consideración como hipótesis la evaluación de la Influencia del biocarbono y turba sobre la respuesta morfofisiología de vitroplantas de *S. tuberosum* L. Var

Superchola, en condiciones de invernadero y, la respuesta de estas, al efecto del sustrato que contiene biocarbono extraído de la corteza de *T. grandis*.

Considerando que la utilización del carbón de origen vegetal tiene como referencia de su utilización, la incorporación de este elemento de manera ancestral. Frente a esta expectativa hemos propuesto el estudio que comprende la evaluación del sustrato de biocarbono obtenido a partir de la pirólisis de *T. grandis* en diferentes tipos y tiempos para la aclimatización de vitroplantas de *S. tuberosum* variedad Superchola.

## **1.2. Justificación**

El cultivo de papa es muy importante en nuestro país por varias razones, una de ellas, la alimentación pues, es uno de los alimentos básicos en nuestra dieta. Como sabemos, es rica en carbohidratos, vitaminas y minerales y, su consumo es esencial para la nutrición de la población (Hossain et al., 2020).

Nuestro país es considerado uno de los centros de origen y diversidad de la papa, por lo que su cultivo contribuye a la conservación de la biodiversidad agrícola del país, es decir; la papa; contribuye como una especie, dentro de los cultivos andinos, siendo parte importante de la riqueza fitogenética nacional. Sin embargo, esta riqueza y diversidad, puede irse perdiendo por falta de un manejo adecuado, circunstancia que permite, en la actualidad, buscar nuevos sustratos que contribuyan en el rendimiento de los cultivos (Elizabeth Velázquez Cabañas et al., 2021).

La papa es un cultivo que se adapta bien a una amplia variedad de condiciones climáticas y geográficas, lo que lo convierte en una opción importante para los agricultores en un contexto de cambio climático. Los rangos de altura en que se desarrolla el cultivo, dentro de la región interandina y, la respuesta de las variedades a estos cambios, se evidencia en la diversidad de variedades que se cultivan considerando esta capacidad adaptativa de las variedades de papa. En Ecuador se cultiva papa entre los 2 800 hasta los 3 500 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) (Araujo et al., 2021).

En la economía, la producción de papa es una importante fuente de ingresos para los agricultores y contribuye significativamente a la economía del país, por lo tanto;

es una de las principales fuentes de empleo, su cultivo requiere una gran cantidad de mano de obra, en síntesis, dinamiza la cadena agroproductiva. de acuerdo con datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), en el año 2019 la superficie cultivada fue de 21 107 hectáreas (ha) con una producción de 517 655 toneladas métricas (t) y un rendimiento de 23.42 t/ha. Aproximadamente el 81% de la producción se comercializa para consumo en fresco y el resto es utilizado por la industria de procesamiento (Araujo et al., 2021).

En vista de la importancia que el cultivo de papa, variedad Superchola, en nuestro país, presentamos características agronómicas sobresalientes de la variedad en cuestión: su maduración es tardía, el rendimiento promedia unas 30 t/ha, es susceptible a lancha, medianamente resistente a roya. Tolerante al nematodo del quiste de la papa. El contenido masa seca promedia un 24%, la gravedad específica: 1.098. En consumo en fresco: locro, sopas, puré. En consumo procesadas: papas fritas (tipo hojuelas y bastones) (Araujo et al., 2021).

En consecuencia, con lo expuesto, el objetivo de nuestra investigación fué evaluar cómo las vitroplantas de papa *S. tuberosum* L. variedad Superchola responden al efecto del sustrato que contiene biocarbón obtenido a partir de la corteza de *T. grandis* en condiciones de invernadero.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. General**

Evaluar cómo las vitroplantas de *S. tuberosum* L. Var. Superchola en condiciones de invernadero responden al efecto del biocarbón (Tectopore) y turba en diferentes proporciones sobre la respuesta morfofisiología de vitroplantas de *S. tuberosum* L. Var Superchola.

#### **1.3.2. Específicos**

- Analizar la influencia de combinaciones de Tectopore-Pure y turba sobre la respuesta morfológica de *S. tuberosum* Var. Superchola bajo invernadero.
- Evaluar el efecto de Tectopore-Pure y turba en el crecimiento de vitroplantas de *S. tuberosum* variedad superchola en invernadero.
- Determinar como el Tectopore-Pure, influye en el contenido de macro y micro nutrientes en las plantas cultivadas en invernadero.

## CAPÍTULO II

### ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

#### 2.1 Biocarbono

El biochar, también llamado biocarbono, está compuesto por elementos como carbono, hidrógeno, azufre, oxígeno y nitrógeno, así como minerales presentes en la fracción de cenizas. Se produce a partir de residuos de biomasa, cultivos, estiércol, residuos de madera, desechos forestales y verdes, utilizando pirólisis.

Además de absorber sustancias orgánicas, nutrientes y gases, proporcionan un hábitat para bacterias, actinomicetos y hongos micorrízicos, que se incluyen en estrategias de manejo de cultivos. Cuando se utilizan tanto el biocarbono con hongos, se puede lograr un efecto sinérgico que mejora la calidad del suelo de manera significativa (De los Santos Coronel, 2021).

El biocarbón es el resultado de procesos de carbonización de la biomasa, principalmente de origen vegetal. En comparación con otras fuentes de materia prima, ofrece beneficios importantes, como una alta renovabilidad, disponibilidad y accesibilidad. Debido a las propiedades del biocarbón producido a partir de biomasa vegetal, como su alta capacidad de adsorción, área superficial, porosidad y capacidad de intercambio catiónico, puede ser una opción sostenible para remediar sitios contaminados con diferentes tipos de contaminantes.

Además, puede mejorar la calidad del suelo y la productividad agrícola, así como fomentar el secuestro de carbono y el compostaje de residuos sólidos orgánicos en sitios degradados (Camarena Daniela et al., 2022).

El biocarbono puede influir en el comportamiento hidrológico del suelo por alteraciones en la geometría de los poros, incluso si la densidad del suelo no varía demasiado. Los valores de porosidad total están altamente correlacionados con la densidad aparente, lo que sugiere que una mayor densidad resulta en una menor porosidad total (Pt).

El aumento de macroporos en la capa superficial puede deberse a la actividad biológica, especialmente de la macrofauna como las lombrices y los residuos dejados por las raíces de las plantas, según han indicado otros estudios. La

condición física del suelo tiene un impacto en la facilidad de penetración de las raíces, la aireación, el almacenamiento, drenaje de agua, retención de nutrientes, y estructura (Bravo Medina et al., 2019).

El biocarbono es un producto derivado de la pirólisis de biomasa y se presenta como una alternativa prometedora para la mejora de la calidad del suelo y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura. Se ha demostrado que la aplicación de biocarbono al suelo puede aumentar la retención de agua, nutrientes, mejorar la estructura del suelo y promover la actividad microbiana del suelo.

En consecuencia, la utilización de biocarbono en la agricultura puede ayudar a reducir la dependencia de fertilizantes químicos y pesticidas, lo que a su vez puede disminuir los costos de producción y mejorar la calidad de los cultivos (Lehmann, J., y Joseph, S. 2019).

### **2.1.1 Pirólisis**

La pirolisis es un proceso termoquímico que implica la descomposición de materiales orgánicos en ausencia de oxígeno o con cantidades limitadas de este. El material se calienta generalmente en un rango de 400 a 800 grados Celsius, y se descompone en gases, líquidos y sólidos. Utiliza madera, paja, cáscaras de nuez y otros residuos orgánicos que, los convierte en productos como biocombustibles y carbón vegetal. en la producción de materiales avanzados, como carbono activado y nanotubos de carbono.

Es un proceso importante en la gestión sostenible de recursos. Se obtiene a través del proceso de pirólisis, que es una descomposición térmica de la biomasa en un ambiente con poco oxígeno, lo que lo convierte en un producto beneficioso para su uso en el suelo (De los Santos Coronel, 2021).

La pirólisis o termólisis es un método para descomponer sustancias orgánicas mediante la aplicación de calor en ausencia de oxígeno, lo que rompe los enlaces de carbono y da lugar a moléculas más pequeñas de cadenas de carbono. Este proceso ocurre típicamente en un rango de temperatura de 300°C a 800°C y puede generar productos útiles en forma de líquidos, sólidos y gases (Fernando Balseca-Sampedro et al., 2021).

Otro estudio publicado en la revista "Biomass and Bioenergy" en 2020 también concluyó que la pirólisis puede ser una técnica eficaz para producir biocarbono de alta calidad a partir de una variedad de materiales de biomasa, y que el biocarbono producido mediante pirólisis puede mejorar la fertilidad del suelo y reducir la necesidad de fertilizantes químicos.

En resumen, la pirólisis es una técnica prometedora para producir biocarbono para la agricultura, que puede mejorar la calidad del suelo, aumentar la productividad de los cultivos y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. (Liu, Z., y Wang, G. 2020).

### **2.1.2 Pirólisis lenta**

Los residuos se calientan a temperaturas menores o iguales a 30°C/min, de esta manera se forma carbón. Por tanto, el tiempo requerido de pirolisis es superior al tiempo de reacción de la misma (Fernando Balseca-Sampedro et al., 2021).

La pirólisis lenta, conocida como tradicional o convencional, ha sido empleada para la producción de carbón, mediante un horno denominado "de colmena", dentro de estos se acumulan fragmentos de madera que posteriormente son cubiertas con suelo del lugar y, por una rejilla se procede a encender la parte interior, al centro del horno (De et al., 2019).

Según un estudio publicado en la revista "Energy Conversion and Management" en 2019, la pirólisis lenta puede ser una técnica efectiva para producir biocarbono de alta calidad a partir de una variedad de materiales de biomasa. El estudio mostró que la calidad del biocarbono producido mediante pirólisis lenta puede ser influenciada por varios factores, como la temperatura de pirólisis, el tiempo de residencia y el tamaño de partícula de la biomasa (Sun, Y., y Li, J. 2019).

Otro estudio publicado en la revista "Journal of Analytical and Applied Pyrolysis" en 2018 también concluyó que la pirólisis lenta puede producir biocarbono con una estructura porosa y una alta capacidad de adsorción, lo que lo hace útil para la eliminación de contaminantes del suelo y el agua (Xu, G., Chen, H., y Sun, Y. 2018).

### **2.1.3 Pirólisis rápida**

Los residuos se calientan a temperaturas superiores a 150°C/min; dónde el vapor de pirólisis resultante se elimina rápido del reactor, induciendo la generación de una parte líquida en porcentaje mayor que de la sólida (Fernando Balseca-Sampedro et al., 2021).

La pirólisis rápida, tiene como fin producir bioaceite. En este caso la velocidad para calentar el horno es elevada, oscila entre los 10 a 200°C/s y no debe pasar los 650°C si el objetivo es producir bioaceite. El principio de rápido calentamiento y enfriamiento, permiten las características para la obtención del producto mencionado. Este producto se consigue utilizando hornos pirolíticos con lecho fluidizado (De et al., 2019).

En el mismo tema, la pirólisis rápida es una técnica de conversión térmica que se utiliza para producir biocombustibles líquidos, gases y biocarbono a partir de materiales de biomasa. En la pirólisis rápida, la biomasa se calienta rápidamente a altas temperaturas, generalmente entre 500 y 1000°C, en ausencia de oxígeno o en condiciones de baja concentración de oxígeno. Esto provoca la descomposición térmica de la biomasa en una mezcla de gases y líquidos volátiles, que pueden ser condensados y utilizados como biocombustibles, y una fracción sólida de biocarbono (Liu, S., Jin, Y., y Wu, W. 2021).

### **2.1.4 Carbonización térmica**

El material utilizado (biomasa) es sometido a calentamiento lento, prácticamente sin presencia de oxígeno a temperaturas que oscilan entre los 400-500°C por prolongados espacios de tiempo. Precisamente en estos espaciados períodos temporales, la biomasa que sigue deshidratándose continúa transformándose hasta solidificarse, el producto finalmente será conocido como carbón vegetal (De et al., 2019).

Dentro de las técnicas termoquímicas para obtener biocarbono, existen la pirólisis. Además de la gasificación, y carbonización hidrotérmica. Estas técnicas de pirólisis se sirven de la biomasa o residuos de vegetales para obtener biocarbono por el método de la carbonización hidrotérmica (Pérez-Cabrera et al., 2021).

La carbonización térmica es un proceso mediante el cual se somete material orgánico a altas temperaturas en ausencia de aire, lo que resulta en la formación de carbono y otros subproductos como gases y líquidos. Este proceso es utilizado en diversas aplicaciones, como la producción de carbón vegetal, la eliminación de residuos orgánicos y la síntesis de materiales carbonosos para aplicaciones electrónicas y energéticas (Huang, H., Wang, Y., Sun, Y., y Guo, X. 2019).

## **2.2 El Potencial del Biocarbono**

Se considera en la actualidad como avance clave, a la utilización de biomasa, con el fin de transformarlas en materiales como el biocarbono, cuyo potencial alcanza beneficios utilitarios en diversos campos, la biomedicina, la remediación ambiental, por supuesto la agricultura, entre otros. La transformación de la biomasa se produce en ausencia del oxígeno mediante un proceso conocido como pirólisis o carbonización, llevando a los materiales orgánicos sometidos a este proceso a la obtención de biocarbono, carbono amorfo y grafito según la temperatura a la que hayan sido sometidos estos bio materiales (Sankaranarayanan et al., 2021).

La búsqueda bibliográfica, para el caso del biocarbono, da cuenta de que con su aplicación se puede alcanzar producciones sostenibles al capturar el carbono, mejorar el suelo y el crecimiento de las plantas. La producción de biocarbono también puede generar varios subproductos beneficiosos, como hidrógeno, bioaceite, gas de síntesis, a través de la pirólisis. También, se considera que el efecto del biocarbono en el crecimiento de las plantas ha sido ampliamente estudiado (Lozano et al., 2020).

Un metanálisis reciente que incluyó 177 estudios individuales, encontró que la incorporación de biocarbón al suelo tuvo un efecto beneficioso en el crecimiento de las plantas, en contraste con un sólo estudio que mostró efectos negativos. Los efectos del biocarbono indicaron un aumento promedio de la productividad de los cultivos de alrededor del 10% como resultado de las enmiendas con este. Sin embargo, este aumento parece ser pequeño debido a la amplia variedad de tipos de biocarbono y sustratos utilizados en condiciones muy variables (Schulz et al., 2013).

Otros autores, se refieren a la aplicación de compuestos carbonados en el suelo como una mejora en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, lo que aumenta

la productividad de los cultivos. Estos compuestos actúan como reservorio de carbono a largo plazo, retrasando su liberación a la atmósfera como CO<sub>2</sub>, lo que contribuye a la reducción de las emisiones y se convierte en un beneficio adicional.

### **2.3 Biocarbono un recurso innovador para la sostenibilidad agrícola**

La materia prima utilizada para su producción son residuos orgánicos que, de otra manera, podrían causar problemas de contaminación. Debido a la necesidad de remediar estos residuos, se han desarrollado nuevas tecnologías que se enfocan en la desintoxicación y la eliminación de contaminantes. Entre estas tecnologías, la biorremediación es una de las que tiene un gran potencial para lograr la sostenibilidad, ya que interviene mediante diversas estrategias (Freitez y Villanueva, 2019).

La adición de biocarbono (conocido como carbono pirogénico) al suelo aporta un cambio en varias propiedades físicas y químicas del suelo, como el pH, retención de agua, nutrientes y agregación de partículas. "El efecto Biochar", parece estar relacionado con cambios en la estructura, diversidad y actividad microbiana del suelo, por interacciones complejas del sistema suelo/planta/biocarbón (Pérez-Cabrera et al., 2021)

Aunque es demasiado caro para aplicarlo a tasas superiores a 5 toneladas por hectárea. Esto se debe al alto costo de operación y mantenimiento de las plantas de pirólisis. Para superar estas barreras económicas se han desarrollado fertilizantes compuestos biocarbón-químicos (BCF) en la última década. Estos BCF contienen entre un 20% y un 80% de biocarbón, así como arcilla, otros minerales, aglutinantes orgánicos y compuestos químicos que contienen nitrógeno, fósforo y potasio. Los FBC (fertilizantes biocarbono) pueden influir en la absorción de cationes y aniones de nutrientes, especialmente nitratos (Chew et al., 2020).

Desde tiempos precolombinos, los amazónicos han utilizado el biocarbono para aumentar la fertilidad del suelo. Este material se obtiene a través de la pirólisis, carbonización hidrotermal y gasificación. La pirólisis es el método más utilizado debido a su simplicidad. El biocarbono resultante se puede utilizar para enmiendas, tratamiento de aguas residuales y mitigación del cambio climático por evitar la liberación de gases de efecto invernadero (De et al., 2019).

La modificación del biocarbono o las condiciones de pirólisis pueden afectar las propiedades físicas y químicas del material, puede mejorar su capacidad para adsorber o degradar contaminantes específicos. Los avances recientes en la producción y modificación pirolítica de biocarbono, centran su atención en aplicaciones de remediación del suelo y la mejora de la fertilidad. Se sugieren varias direcciones de investigación y campos para la combinación de estrategias novedosas y la extensión de la aplicabilidad del biocarbón (Wang et al., 2020).

Los suelos agrícolas son cruciales para los cultivos; sin embargo, la captura de carbono es baja. La pérdida de suelo y materia orgánica contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero y a la pérdida de nutrientes del suelo, por lo que su contenido es importante para la fertilidad y productividad. El carbón negro [biocarbono] es una enmienda utilizada desde hace tiempo para mejorar la calidad del suelo, ya que es un producto natural que aumenta la retención de agua, previene la erosión, favorece la biomasa microbiana y reduce la disponibilidad de oligoelementos tóxicos (Fernando Balseca-Sampedro et al., 2021).

#### **2.4 Consideraciones químicas para una aplicación sostenible**

Se introduce el término "biocarbón" como una forma de referirnos al de carbono negro de uso en la agricultura, este es producido por pirólisis, y su enmienda puede mejorar la productividad del suelo y la retención de carbono a largo plazo. Sin embargo, su uso en grandes cantidades puede reducir la disponibilidad de nutrientes, por lo que se debe evaluar cuidadosamente sus efectos en las propiedades del suelo y el rendimiento de los cultivos, idealmente en condiciones de campo con tasas de aplicación adecuadas (Knoblauch et al., 2021).

En relación a las características químicas, la utilización de biocarbono influye en el pH, la conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico del suelo. Estas propiedades químicas influyen en la interacción de los nutrientes, el pH puede ser modificado con la aplicación de biocarbono, mejorando así la disponibilidad de los nutrientes. Es importante destacar que el pH del biocarbono es un factor crucial en la agricultura, el cual puede variar dependiendo de la velocidad del proceso de carbonización, la temperatura pirolítica y el tipo de materia prima utilizada (Bravo Medina et al., 2019).

## **2.5 Impacto químico, obtención y potencial sinérgico para mejora del suelo**

Durante la pirólisis, el biocarbono produce ácidos orgánicos que afectan el pH del producto final. El biocarbono tiene un pH alcalino que oscila entre 6.52 y 12.64, valores que se correlacionan con la temperatura pirolítica. Además, el biocarbono contiene altas cantidades de sales solubles, lo que le otorga una mayor conductividad eléctrica. Los nutrientes solubles que se encuentran disponibles son  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$ . Sin embargo, el exceso de sales o alta conductividad eléctrica puede ser perjudicial para las plantas debido a una disminución en el potencial osmótico (Hossain et al., 2020).

El biochar, también conocido como biocarbono, está compuesto por elementos como carbono, hidrógeno, azufre, oxígeno y nitrógeno, así como minerales presentes en la ceniza. Se produce mediante pirólisis, un proceso térmico que descompone la biomasa en un ambiente limitado en oxígeno, lo que lo hace beneficioso para su uso en el suelo (De los Santos Coronel, 2021).

El biocarbono se obtiene a partir de residuos de biomasa, como desechos de cultivos, estiércol, madera y desechos forestales y verdes, mediante tecnología moderna de pirólisis. Se puede utilizar para adsorber sustancias orgánicas, nutrientes y gases, y también ofrece un hábitat para bacterias, actinomicetos y hongos micorrízicos que a menudo se utilizan en estrategias de gestión de cultivos. Cuando se utilizan tanto el biocarbono como los hongos micorrízicos en conjunto según las prácticas de gestión adecuadas, pueden crear una sinergia potencialmente beneficiosa para la calidad del suelo (De los Santos Coronel, 2021).

En el mismo tema, se hace referencia a que en variadas ocasiones, los estudios realizados han demostrado que el biocarbono está en capacidad de capturar nitrógeno (nitritos, nitratos y urea), además de fósforo como ortofosfato, potasio y materia orgánica presentes en soluciones acuosas, entre estos: lixiviados de vertederos, residuos anaeróbicos, aguas residuales de explotaciones ganaderas, todas estas, como enmiendas para el suelo, no obstante; el biocarbono presenta algunas ventajas, aporta mayor textura al suelo, además de carbono, promueve la retención de nutrientes, incrementa la capacidad de intercambio catiónico, fomenta la actividad microorgánica que, a su vez; incrementa la mineralización y disponibilidad de elementos nutritivos en los suelos intervenidos (Kizito et al.,

2019).

## **2.6 Vitroplantas de *S. tuberosum* y biocarbono**

La producción de vitroplantas de *S. tuberosum* en sustratos con biocarbono ha sido objeto de estudio en la investigación agrícola reciente. Estudios han demostrado que el uso de biocarbono como componente del sustrato puede mejorar significativamente el crecimiento y la calidad de las vitroplantas de patata. En particular, la aplicación de biocarbono al sustrato ha demostrado aumentar la germinación de las semillas, mejorar la formación de raíces y aumentar la biomasa de las plantas.

Se ha demostrado que la presencia de biocarbono en el sustrato puede mejorar la absorción de nutrientes por las plantas y reducir la necesidad de fertilizantes químicos. En general, la inclusión de biocarbono en el sustrato para la producción de vitroplantas de *S. tuberosum* parece ser una práctica prometedora para mejorar la calidad y la sostenibilidad de la producción agrícola (Oracz et al., 2020).

La inclusión de biocarbono en sustratos para la producción de vitroplantas de *S. tuberosum* también ha sido investigada por otros autores, y se han encontrado resultados similares. Por ejemplo, en un estudio reciente se demostró que la adición de biocarbono al sustrato de cultivo de vitroplantas de patata aumentó la germinación de las semillas, mejoró el desarrollo de las raíces y aumentó la biomasa de las plantas en comparación con el sustrato sin biocarbono.

Se observó que las plantas cultivadas en sustratos con biocarbono mostraron una mayor absorción de nutrientes, lo que sugiere que el biocarbono puede mejorar la disponibilidad de nutrientes para las plantas. En general, estos resultados sugieren que la inclusión de biocarbono en el sustrato de cultivo de vitroplantas de *S. tuberosum* puede ser una práctica prometedora para mejorar la calidad y la sostenibilidad de la producción agrícola (Haque et al., 2021).

Otro estudio reciente también ha explorado la influencia del biocarbono en el sustrato de cultivo de vitroplantas de *S. tuberosum*. En este estudio, se demostró que la inclusión de biocarbono al sustrato de cultivo mejoró significativamente el crecimiento y la calidad de las plantas, lo que se atribuyó a la capacidad del biocarbono para mejorar la disponibilidad de nutrientes en el sustrato.

Observó además que, el biocarbono mejoró la actividad enzimática de las plantas y aumentó la capacidad antioxidante de las mismas, lo que sugiere que el biocarbono también puede tener un efecto beneficioso sobre la salud de las plantas. En general, estos resultados respaldan la idea de que el uso de biocarbono en el sustrato de cultivo de vitroplantas de *S. tuberosum* puede ser una práctica prometedora para mejorar la calidad y la sostenibilidad de la producción agrícola (Choudhury et al., 2021).

## **2.7 Influencia del biocarbono en el crecimiento y desarrollo de *S. tuberosum***

Como hemos visto, la pirolisis que es la transformación de la biomasa, para nuestro caso de *T. grandis*, empleando temperaturas de moderadas a altas en prácticamente si presencia de oxígeno, puede ser utilizado como material denominado “ligno-celulósico” de los biomateriales propuestos para mejorar las características de los sustratos; así como otros productos orgánicos, pudiendo intervenir dentro del sustrato a manera de promotor de crecimiento y desarrollo de *S. tuberosum*, además de las especies propuestas originalmente en este estudio (Lozano et al., 2020).

El biocarbono, también conocido como carbón vegetal, ha sido objeto de estudio por su potencial como fertilizante y su capacidad para mejorar la calidad del suelo. Varios estudios han demostrado que la aplicación de biocarbono al suelo puede mejorar el crecimiento de las plantas, aumentando la disponibilidad de nutrientes y mejorando la retención de agua en el suelo (Choudhury et al., 2021).

El biocarbono también puede aumentar la actividad microbiana del suelo, lo que puede ayudar a la descomposición de la materia orgánica y la liberación de nutrientes. En general, el uso de biocarbono puede mejorar la salud y el rendimiento de las plantas (Hass et al., 2019).

## **2.8 Relación del biocarbono con los macro y micronutrientes**

Como hemos visto, el biocarbono, también conocido como carbón vegetal, se ha utilizado como enmienda del suelo en diversas prácticas agrícolas debido a su capacidad para mejorar la calidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas. En el suelo, el biocarbono actúa como un sorbente de nutrientes, lo que significa que puede unirse a los nutrientes en el suelo y evitar que se pierdan por lixiviación o fijación en el suelo. Además, el biocarbono puede mejorar la retención

de agua en el suelo, lo que a su vez puede mejorar la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Sarkhot et al., 2020).

Los estudios han demostrado que la aplicación de biocarbono al suelo puede aumentar significativamente los niveles de macronutrientes como el nitrógeno, el fósforo y el potasio, así como de micronutrientes como el hierro, el zinc y el cobre. En general, el uso de biocarbono como enmienda del suelo puede mejorar la disponibilidad de nutrientes y la calidad del suelo (Sarkhot et al., 2020).

El biocarbono puede favorecer la actividad microbiana en el suelo, lo que a su vez incrementa la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Por ejemplo, puede aumentar la absorción de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), zinc (Zn) y otros micronutrientes esenciales para el crecimiento sostenible de las plantas (Lehmann, J., y Joseph, S. 2019).

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Ubicación

El desarrollo de la investigación se efectuó en los predios de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Campus Querochaca.

##### 3.1.1 Ubicación política

Provincia : Tungurahua  
Cantón : Cevallos  
Parroquia (Microcuenca) : Río Pachanlica

##### 3.1.2 Ubicación geográfica

- Latitud UTM : 766338.968 E  
- Longitud UTM : 9848588.358 N 17M  
- Elevación : 2892.12 m.s.n.m.



URL: [https](https://www.google.com/maps/@9.3541667,-78.525,15z)

##### 3.1.3 Ubicación ecológica

Región : Sierra  
Clima : Templado  
Precipitación anual : 600.3 mm (promedio)  
Altitud : 2850 m.s.n.m.

T° media : 12.7°C  
Zona ecológica : Estepa espinosa Montano Bajo: (e e-MB)

## **3.2. Equipos y materiales**

### **3.2.1. Material experimental**

Para la implementación del ensayo experimental, se utilizaron vitroplantas de *S. Tuberosum* L. Var. Superchola, mismas que estuvieron en laboratorio por dos meses y, posteriormente pasaron a invernadero (zona de aclimatación), por el lapso de 45 días.

### **3.2.2. Material complementario**

#### **3.2.2.1 Biocarbono (Tectopore Pure)**

Este material es muy rico en carbono y materia orgánica que mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Como regla general, lo recomendable es usar una dosis desde el 5% hasta el 20% de Tectopore en relación al volumen total de sustrato ocupado por la rizósfera o zona de mayor exploración radicular. Si tu suelo tiene poca materia orgánica, es muy arenoso o rocoso, aconsejamos incrementar la cantidad de Tectopore. Dependiendo el tipo de suelo y del objetivo que se busca en el cultivo, definiremos el tipo de granulometría a usar, dosis, forma de aplicación y periodicidad. La clave para este proceso es el uso de microorganismos diversos que se los mezcla con materia vegetal, residuo animal, melaza, celulosa y Tectopore como elemento de carbono y un excelente hospedero para microorganismos; se lo deja estabilizar y se aplica al suelo. Esta metodología tomará más tiempo, pero se obtendrá salud en toda su tierra. En este tipo de aplicación de Tectopore, se lo hace en dosis bajas mezclado con microorganismos y compost. Es un método que garantiza la revitalización del suelo.

#### **3.2.2.2. Turba rubia**

#### **3.2.2. Equipos**

- Cabina de flujo laminar (PURIFIER™ – MAGELLAN)
- Autoclave (MIDMARK)
- Balanza analítica (OAHUS - Pioneer™).

- pH metro (BANTE 900)
- Destilador de agua (DIRECT – Q / MILLOPONE).
- Microondas (PANASONYC).
- Refrigeradora (INDURAMA).
- Micropipetas (THERMO SCIENTIFIC).

### **3.2.3. Materiales**

- Vitroplantas de *S. tuberosum* L. Var. Superchola
- Sustrato TS4 (KLASMAN).
- Biocarbono (TECTOPOREPURE)
- Bandejas (4 L).
- Vasos de precipitación (500 ml y 50 ml).
- Bisturí (STAINLESS N°4).
- Pinzas metálicas (MEDITEC 20 cm).
- Vasos de plástico (300 ml).
- Matraces Erlenmeyer (250 ml).
- Probetas (50 ml).

### **3.2.4. Reactivos**

- Alcohol al 70% (WEIR).
- Hipoclorito de sodio al 5% (ALL CLORO).
- Medio de cultivo MS (PhytoTech).
- Agar (Powder for tissue culture SRL).
- Fructosa (Poly Foods).

## **3.3. Tipo de investigación**

Este trabajo consistió en una investigación dentro de una zona de aclimatación (invernadero), tratada mediante un enfoque experimental cuantitativo.

## **3.4. Procesamiento de la información y análisis estadístico**

### **3.4.1. Factores en estudio**

Los factores en estudio fueron: biocarbono y turba rubia.

Biocarbono:

TECTOPORE PURE                      Bc

Turba rubia:

TURBA                                      Tb

Número de tratamientos:              5

Número de repeticiones:              10

Número de unidades experimentales:    150

### 3.4.2. Tratamientos

En la Tabla 1, mostramos los tratamientos utilizados en la fase experimental.

**Tabla 1**

*Tratamientos experimentales y simbología*

<b>Tratamientos</b>	<b>Símbolo</b>
Biocarbono 100%	Bc1-Tb0
Biocarbono 80% + Turba rubia 20%	Bc2-Tb4
Biocarbono 50% + Turba rubia 50%	Bc3-Tb3
Biocarbono 20% + Turba rubia 80%	Bc4-Tb2
Turba rubia 100%	Tb1-Bc0

*Nota.* Esta tabla muestra los tratamientos y la simbología utilizada para referirnos a cada uno de ellos.

### 3.4.3. Diseño experimental

Se aplicó un diseño completamente al azar (DCA), con diez repeticiones, para todas las variables con un tamaño de muestra de 10 vitro-plantas de *S. tuberosum* L. Var. Superchola. Por tratamiento, 50 plantas por las tres etapas del ensayo, en total 150. Tabla 2.

## Tabla 2

*Análisis de varianza para la influencia del biocarbono sobre la respuesta morfofisiología de vitroplantas de S. tuberosum L. var superchola.*

Fuentes de variación	Grados de libertad
Repeticiones	10
Tratamientos	$(k - 1): 5 - 1 = 4$
Error experimental	$(n - k): 45$
Total	$(n - 1): 50 - 1 = 49$

*Nota.* Esta tabla muestra es esquema de un diseño completamente al azar (DCA)

### 3.4.3.1. Área de investigación

El lugar donde se desarrolló la investigación, fue en el área de aclimatación para vitroplantas en las instalaciones del Centro de Investigaciones Agropecuarias de la UTA, Facultad de Ingeniería Agropecuaria, utilizando un total de 6 m<sup>2</sup>.

### 3.4.3.2. Disposición de las plantas

Las plantas contenidas en recipientes plásticos se situaron sobre mesas móviles de acero inoxidable de la siguiente manera:

Diámetro de recipientes:	8 cm
Distancia entre hileras:	9 cm
Distancia entre plantas:	9 cm
Número total de plantas evaluadas:	200
Número de plantas por tratamiento:	$30 \times 5T = 150$
Número de plantas para análisis foliar:	$10 \times 5T = 50$

### 3.4.4. Análisis estadístico

Para los análisis efectuados, en todos los casos se utilizó el paquete estadístico Minitab versión 18.00. Los datos de las variables evaluadas fueron analizadas mediante las pruebas de Kolmogorov - Smirnov para determinar la normalidad de los residuos y la homogeneidad de las varianzas, respectivamente. A continuación, los datos fueron sometidos a la prueba de ANOVA de un solo factor y Tukey al (p

< 0,05). Las que no cumplieron con normalidad, se aplicó la prueba estadística de Kruskal Wallis complementada con la prueba U de Mann-Whitney para  $p < 0.05$ .

### **3.5. Variables de estudio**

#### **3.5.1. Variables dependientes**

##### **3.5.1.1. Morfología de la hoja**

###### **3.5.1.1.1. Área foliar**

Con la aplicación del Software ImageJ el área foliar se registró en centímetros cuadrados. Esta determinación consistió en la medida de todos los folíolos que comprendieron cada planta motivo del estudio.

##### **3.5.1.2 Morfología del tallo**

###### **3.5.1.2.1. Longitud de entrenudos**

Utilizando el Software ImageJ se registró la longitud de entrenudos, en centímetros. Esta medida consistió en determinar la longitud de todos los entrenudos y registrar el promedio por planta.

###### **3.5.1.2.2. Número de entrenudos**

Empleando el Software ImageJ se registró la longitud de entrenudos, en centímetros. Esta medida consistió en determinar la longitud de todos los entrenudos y registrar el promedio por planta.

###### **3.5.1.2.3. Diámetro del tallo**

Aplicando el Software ImageJ se registró el diámetro del tallo en centímetros. Esta medida consistió en determinar de la parte basal la medida respectiva por cada una de las plantas.

##### **3.5.1.3. Morfología de la raíz**

###### **3.5.1.3.1. Longitud radicular**

Se registró la longitud radicular en centímetros, para esto utilizamos el software ImageJ. Esta medida consistió en medir desde la parte basal hasta el extremo de la

raíz más larga y registrar por cada planta.

#### **3.5.1.3.2. Número de raíces**

Para este dato, contamos de manera manual el número de raíces, en este caso, nos concentramos en aquellas que se originaban desde la base del tallo, no se contaron las ramificaciones de las mismas, registrando posteriormente el número observado.

#### **3.5.1.3.3. Volumen de raíces**

Para este caso, procedimos a emplear el Método de Arquímedes que consiste en el desplazamiento de agua. Colocamos en una probeta con agua hasta un valor determinado y medimos el volumen del agua (V1). A continuación, colocamos la raíz de cada planta asegurándonos de sumergir completamente todas las raíces. Luego, observamos cuanto del volumen se ha desplazado en la probeta y medimos su volumen (V2). Finalmente, calculamos el volumen resultante restando el  $V2 - V1$  y registramos por cada una de las raíces de las plantas observadas.

#### **3.5.1.4. Masa fresca**

Tomamos cada una las plantas motivo del ensayo experimental, en nuestro caso toda la planta (hojas, tallos y raíces). A continuación, pesamos cada muestra fresca inmediatamente y registramos su peso.

#### **3.5.1.5. Masa seca**

Colocamos las muestras de las que determinamos su masa fresca y, las llevamos a una estufa de secado a una temperatura de 70° C por 48 horas hasta que se sequen y alcancen una masa constante, lo que indica que toda el agua ha sido eliminada. Posteriormente, pesamos cada muestra seca y registramos el valor. Finalmente, la masa seca se calculó restando la masa seca de la masa fresca, al igual que en los otros casos, registramos los valores respectivos.

#### **3.5.1.6. Contenido de macro y micro nutrientes**

Tomamos una muestra representativa por cada uno de los tratamientos y, enviamos al laboratorio **agrarPROJEKT Laboratory Services y Consultancy**, ubicado en la ciudad de Quito, donde determinaron el contenido de macro y micro nutrientes de las muestras foliares enviadas.

### **3.5.2. Variable independiente**

Mezclas de Biocarbono + Turba rubia

### **3.5.3. Unidad de investigación**

Las vitroplantas que utilizamos para el ensayo, las obtuvimos de un cultivo *in vitro* proveniente del laboratorio de Biotecnología Vegetal, Centro de Investigaciones Agropecuarias, de Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

## **3.6. Manejo del ensayo**

### **3.6.1. Preparación de sustratos**

En contenedores de plástico, con capacidad para 360 g dispusimos de los materiales de la siguiente manera:

40 contenedores con 100% de Biocarbono Tectopore

40 contenedores con 80% de Biocarbono Tectopore + 20% de Turba Rubia

40 contenedores con 50% de Biocarbono Tectopore + 50% de Turba Rubia

40 contenedores con 20% de Biocarbono Tectopore + 80% de Turba Rubia

40 contenedores con 100% de Turba Rubia

### **3.6.2. Subcultivo**

Una vez dispuestos los sustratos y mezclas de los mismos, efectuamos un sub cultivo, tomamos esquejes de las vitroplantas y trasplantamos en los sustratos, un esqueje por cada recipiente.

### **3.6.3. Riego**

El riego lo efectuamos aplicando un volumen de 25 cc de agua destilada diariamente a cada una de ellas. Este volumen de agua se fue incrementando hasta mantener el sustrato permanente a capacidad de campo.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Análisis de la influencia de combinaciones de TectoporePure y Turba sobre la respuesta morfológica de *S. tuberosum* Var. Superchola bajo invernadero.

##### 4.1.1 Morfología de la hoja

##### 4.1.1.1 Área foliar en etapa 1

Como se observa en la Tabla 3, el tratamiento compuesto por 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0), presenta el mayor de los promedios y diferencia comparados con los demás tratamientos. El tratamiento compuesto por 20% de Biocarbono más un 80% de Turba rubia (Bc4Tb2) también presenta diferencia y, los tratamientos con Biocarbono 20% + Turba rubia 50% (Bc3-Tb3), Biocarbono 80% + Turba rubia 50% (Bc2-Tb4) y Biocarbono 100% (Bc1-Tb0) son iguales estadísticamente.

**Tabla 3**

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el área foliar de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.*

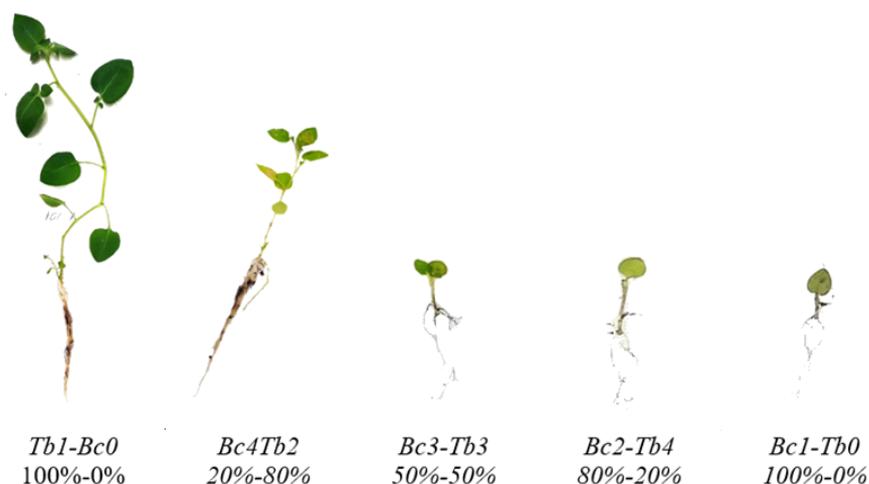
Tratamientos	N	Media (cm <sup>2</sup> )	Agrupación
Tb1-Bc0	10	25.65	A
Bc4-Tb2	10	10.68	B
Bc3-Tb3	10	0.54	C
Bc2-Tb4	10	0.29	C
Bc1-Tb0	10	0.19	C

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes para  $p < 0.05$

A continuación, podemos apreciar la influencia de los tratamientos sobre las plantas utilizadas para la obtención de los promedios correspondientes al Área foliar en la primera evaluación a los 15 días, correspondientes a los tratamientos: 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0), 20% de Biocarbono más un 80% de Turba rubia (Bc4Tb2), Biocarbono 50% + Turba rubia 50% (Bc3-Tb3), Biocarbono 80% + Turba rubia 20% (Bc2-Tb4) y Biocarbono 100% (Bc1-Tb0) (Figura 1).

## Figura 1

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el área foliar de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización.*



### 4.1.1.2 Área foliar en etapa 2

Podemos apreciar en la Tabla 4, al tratamiento compuesto por 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0) que presenta el mayor de los promedios y diferencia comparados con los demás tratamientos. El tratamiento compuesto por 20% de Biocarbono más un 80% de Turba rubia (Bc4Tb2) también presenta diferencia y, los tratamientos con Biocarbono 20% + Turba rubia 50% (Bc3-Tb3), Biocarbono 80% + Turba rubia 50% (Bc2-Tb4) y Biocarbono 100% (Bc1-Tb0) son iguales estadísticamente.

### Tabla 4

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el área foliar de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.*

Tratamientos	N	Media en (cm <sup>2</sup> )	Agrupación
Tb1-Bc0	10	28.75	A
Bc4-Tb2	10	8.78	B
Bc3-Tb3	10	0.48	C
Bc2-Tb4	10	0.40	C
Bc1-Tb0	10	0.29	C

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Apreciamos la influencia de los tratamientos sobre las plantas utilizadas las para la obtención de los promedios correspondientes al Área foliar en la segunda evaluación a los 30 días, correspondientes a los tratamientos: 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0), 20% de Biocarbóno más un 80% de Turba rubia (Bc4Tb2), Biocarbóno 50% + Turba rubia 50% (Bc3-Tb3), Biocarbóno 80% + Turba rubia 20% (Bc2-Tb4) y Biocarbóno 100% (Bc1-Tb0) (Figura 2).

### Figura 2

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbóno (TectoporePure) y Turba rubia sobre el área foliar de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización.*



#### 4.1.1.3 Área foliar en etapa 3

En la Tabla 5, observamos al tratamiento integrado por 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0) que presenta el mayor de los promedios y diferencia comparados con los demás tratamientos.

El tratamiento compuesto por 20% de Biocarbóno más un 80% de Turba rubia (Bc4Tb2) también presenta diferencia y, los tratamientos con Biocarbóno 20% + Turba rubia 50% (Bc3-Tb3), Biocarbóno 80% + Turba rubia 50% (Bc2-Tb4) y Biocarbóno 100% (Bc1-Tb0) son estadísticamente iguales.

**Tabla 5**

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre el área foliar de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.*

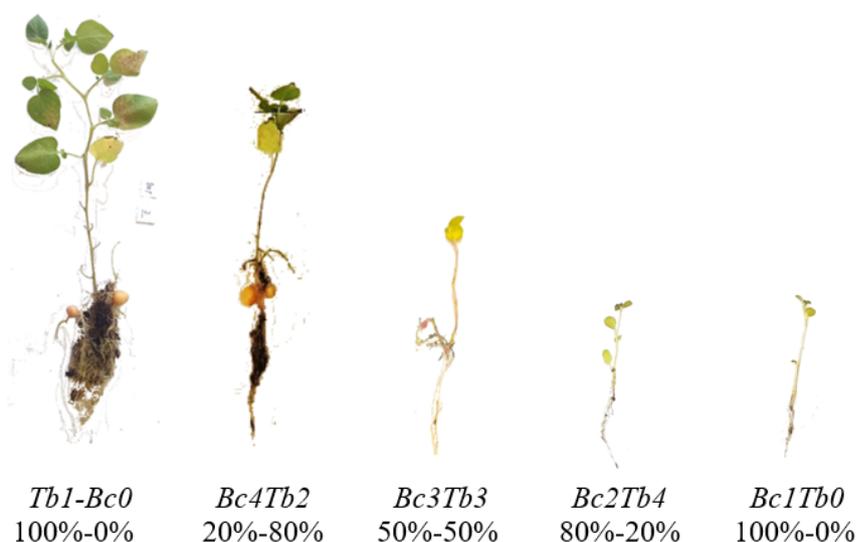
Tratamientos	N	Media (cm <sup>2</sup> )	Agrupación
Tb1-Bc0	10	33.42	A
Bc4-Tb2	10	16.22	B
Bc3-Tb3	10	1.687	C
Bc2-Tb4	10	1.607	C
Bc1-Tb0	10	0.383	C

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la Figura 3, apreciamos la influencia de los tratamientos sobre las plantas utilizadas para la obtención de los promedios correspondientes al Área foliar en la tercera evaluación a los 45 días, correspondientes a los tratamientos: 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0), 20% de Biocarbón más un 80% de Turba rubia (Bc4Tb2), Biocarbón 50% + Turba rubia 50% (Bc3-Tb3), Biocarbón 80% + Turba rubia 20% (Bc2-Tb4) y Biocarbón 100% (Bc1-Tb0).

**Figura 3**

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre el área foliar de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización.*



Como hemos podido apreciar, en cuanto al área foliar, durante las tres etapas del muestreo, los mejores y más altos promedios, los encontramos en las vitroplantas desarrolladas en el tratamiento cinco; es decir, en Turba rubia al 100%, seguido por el tratamiento cuatro donde se empleó un 20% de Biocarbón + un 80% de Turba rubia. Los tres tratamientos restantes, donde predominó la presencia de biocarbón, en proporciones del 20%, 50% y 80% en relación a la turba rubia, el área foliar en estos reportó valores menores, como hemos visto. Este comportamiento podría deberse a que, el biocarbón y la turba rubia tienen propiedades diferentes en cuanto a retención de agua y drenaje.

Si los sustratos con mayor proporción de turba rubia retienen más agua, las raíces podrían experimentar mejores condiciones para la disponibilidad de la misma y, esto permitiría que las plantas dispongan de mejores condiciones hídricas para su desarrollo, en contraste con el biocarbón que no retiene agua, lo cual desfavorecería el crecimiento de las plantas a lo largo del tiempo (De los Santos Coronel, 2021), mas no en esta etapa.

## **4.2. Evaluación del efecto del Tectopore y turba en el crecimiento de vitroplantas de *S. tuberosum* Var. Superchola bajo invernadero.**

### **4.2.1 Morfología del tallo**

#### **4.2.1.1 Longitud de entrenudos en etapa 1**

En la Tabla 6, observamos al tratamiento compuesto por 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0) que presenta el mayor de los promedios y diferencia comparados con los demás tratamientos. El tratamiento compuesto por 20% de Biocarbón más un 80% de Turba rubia (Bc4Tb2) también presenta diferencia que comparte con el primero; luego, están los tratamientos con Biocarbón 20% + Turba rubia 50% (Bc3-Tb3) y Biocarbón 80% + Turba rubia 50% (Bc2-Tb4) compartiendo rangos al igual que con el tratamiento conformado por Biocarbón 100% (Bc1-Tb0) siendo estadísticamente iguales.

**Tabla 6**

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud de entrenudos de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.*

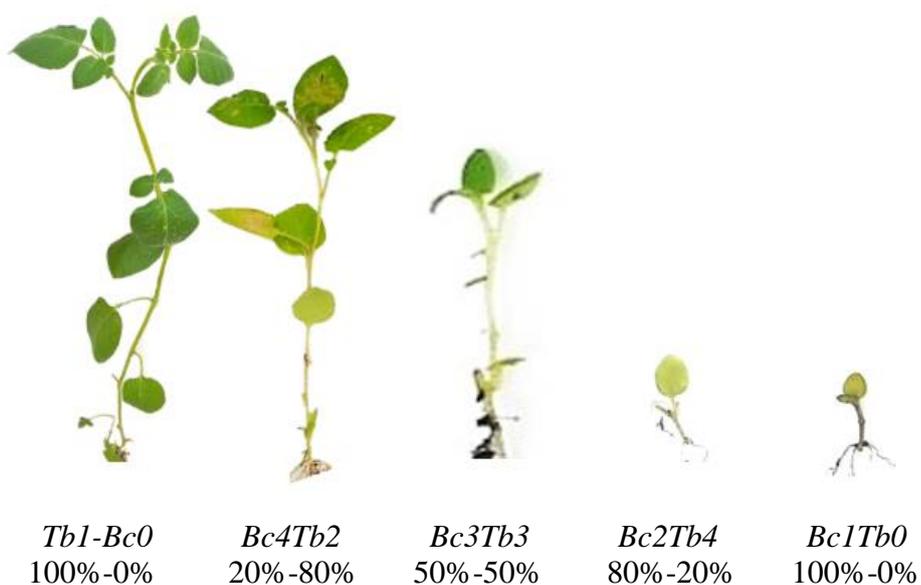
Tratamientos	N	Media	Agrupación
Tb1-Bc0	10	1.58	A
Bc4-Tb2	10	1.46	A
Bc3-Tb3	10	0.63	B
Bc2-Tb4	10	0.48	B C
Bc1-Tb0	10	0.30	C

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la Figura 4, podemos observar al tratamiento compuesto por un 100% de Turba rubia y un 0% de Biocarbón (Tb1-Bc0) presentando las mayores longitudes de entrenudos, seguido por el tratamiento compuesto por 20% de Biocarbón y 80% de Turba rubia (Bc4-Tb2) presentando los mejores resultados en promedio.

**Figura 4**

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud de entrenudos de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización.*



#### 4.2.1.2 Longitud de entrenudos en etapa 2

En la Tabla 7, se observa a los tratamientos con 0% Biocarbóno más 100% Turba rubia (Tb1-Bc0) y 20% Biocarbóno más 80% Turba rubia (Bc4-Tb2) compartiendo promedios y, al resto de tratamientos siendo estadísticamente iguales.

**Tabla 7**

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbóno (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud de entrenudos de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95%.*

Tratamientos	N	Media	Agrupación
Tb1-Bc0	10	1.60	A
Bc4-Tb2	10	1.55	A
Bc3-Tb3	10	0.81	B
Bc2-Tb4	10	0.62	B
Bc1-Tb0	10	0.45	B

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la Figura 5, podemos observar lo manifestado numéricamente en relación a la longitud de entrenudos.

**Figura 5**

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbóno (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud de entrenudos de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización.*



### 4.2.1.3 Longitud de entrenudos en etapa 3

Con respecto a la longitud de entrenudos a los 45 días, en la Tabla 8, observamos a los tratamientos compuestos por un 100% de Turba rubia más 0% de Biocarbono (Tb1-Bc0) y 20% Biocarbono más 80% Turba rubia (Bc4-Tb2) presentando diferencias estadísticas. En contraste con los demás tratamientos que no presentan diferencias estadísticas, como el caso del 50% Biocarbono más 50% Turba rubia (Bc3-Tb3), 80% Biocarbono más 20% Turba rubia (Bc2-Tb4) y 100% Biocarbono más 0% Turba rubia (Bc1-Tb0).

**Tabla 8**

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud de entrenudos de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.*

Tratamientos	N	Media	Agrupación
Tb1-Bc0	10	2.06	A
Bc4-Tb2	10	1.67	B
Bc3-Tb3	10	0.82	C
Bc2-Tb4	10	0.63	C D
Bc1-Tb0	10	0.51	D

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Al respecto de longitud de entrenudos de las *vitro plantas* de *S. tuberosum* a los 45 días, podemos apreciar en la Figura 6, a los tratamientos que en el orden que se cita a continuación presentaron la mayor longitud de entrenudos: Tratamiento compuestos por un 100% de Turba rubia más 0% de Biocarbono (Tb1-Bc0), 20% Biocarbono más 80% Turba rubia (Bc4-Tb2) en primero y segundo lugar. No así el resto de tratamientos que presentan menores longitudes de entrenudos, como el caso de el 50% Biocarbono más 50% Turba rubia (Bc3-Tb3), 80% Biocarbono más 20% Turba rubia (Bc2-Tb4) y 100% Biocarbono más 0% Turba rubia (Bc1-Tb0).

## Figura 6

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud de entrenudos de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización.*



Por lo expuesto, en lo relativo a la longitud de entrenudos, durante las tres etapas del muestreo, los mejores y más altos promedios, los encontramos en las vitroplantas desarrolladas en el tratamiento cinco; es decir, en Turba rubia al 100%, seguido por el tratamiento cuatro donde se empleó un 20% de biocarbono + un 80% de turba rubia.

Con relación a los tres tratamientos restantes, donde predominó la presencia de biocarbono, en proporciones del 50%, 80% y 20% en relación a la turba rubia, la longitud de entrenudos presentó valores con fuertes contrastes, como hemos visto.

El biocarbono y la turba rubia tienen propiedades diferentes en cuanto a retención de agua y drenaje. Si los sustratos con mayor proporción de turba rubia retienen más agua, las raíces podrían experimentar diferentes niveles de oxigenación y liberación de nutrientes, lo que favorecería, posiblemente el crecimiento de las plantas (Camarena Daniela et al., 2022).

#### 4.2.1.4 Número de entrenudos en etapa 1

En lo referente al número de entrenudos a los 15 días, en la Tabla 9, observamos a los tratamientos compuestos por un 100% de Turba rubia más 0% de Biocarbono (Tb1-Bc0) y 20% Biocarbono más 80% Turba rubia (Bc4-Tb2) presentando diferencias estadísticas. En contraste con los demás tratamientos que no presentan diferencias estadísticas, como el caso del 50% Biocarbono más 50% Turba rubia (Bc3-Tb3), 80% Biocarbono más 20% Turba rubia (Bc2-Tb4) y 100% Biocarbono más 0% Turba rubia (Bc1-Tb0).

**Tabla 9**

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono y Turba rubia sobre el número de entrenudos de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días en fase de aclimatización utilizando la prueba H de Kruskal Wallis complementada con la prueba U de Mann Whitney para  $p < 0.05$*

Tratamientos	Número de entrenudos en etapa 1	
	$\bar{X}$	RP
T1: 100% BioC. Bc1-Tb0	1.8	12.30 c
T2: 80% BioC + 20% Turba. Bc2-Tb4	2.0	15.00 c
T3: 50% BioC + 50% Turba. Bc3-Tb3	2.3	19.35 c
T4: 20% BioC + 80% Turba. Bc4-Tb2	5.3	35.45 b
T5: 100% Turba. Tb1-Bc0	8.8	45.40 a

Tratamientos que no compartan letras, son diferentes estadísticamente.

En la Figura 7, observamos al tratamiento compuesto por 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0) que presenta el mayor número de entrenudos comparados con los demás tratamientos. El tratamiento compuesto por 20% de Biocarbono más un 80% de Turba rubia (Bc4Tb2) también presenta un número similar de entrenudos; luego, están los tratamientos compartiendo valores promedios menores.

## Figura 7

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbóno (TectoporePure) y Turba rubia sobre el número de entrenudos de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización.*



### 4.2.1.5 Número de entrenudos en etapa 2

Con relación al número de entrenudos a los 30 días, en la Tabla 10, observamos a los tratamientos compuestos por un 100% de Turba rubia más 0% de Biocarbóno (Tb1-Bc0) y 20% Biocarbóno más 80% Turba rubia (Bc4-Tb2) presentando diferencias estadísticas. En contraste con los demás tratamientos que no presentan diferencias estadísticas, como el caso del 50% Biocarbóno más 50% Turba rubia (Bc3-Tb3), 80% Biocarbóno más 20% Turba rubia (Bc2-Tb4) y 100% Biocarbóno más 0% Turba rubia (Bc1-Tb0).

**Tabla 10**

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre el número de entrenudos de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando la prueba H de Kruskal Wallis complementada con la prueba U de Mann Whitney para  $p < 0.05$ .*

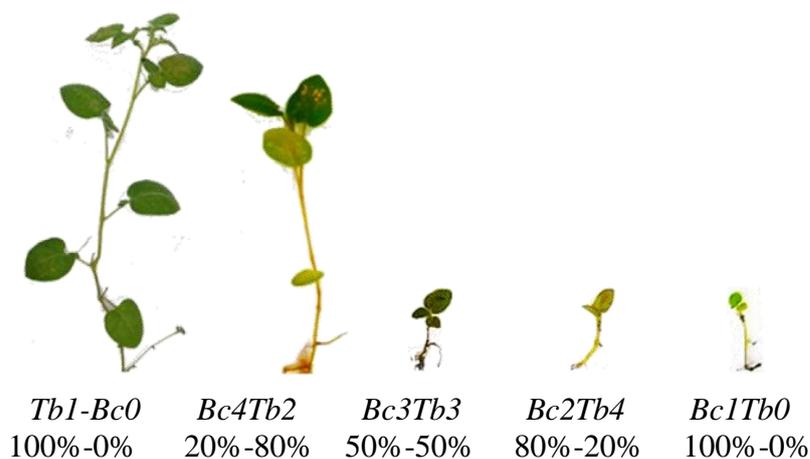
Tratamientos	Número de entrenudos en etapa 2	
	$\bar{X}$	RP
T1: 100% BioC. Bc1-Tb0	3.2	7.60 d
T2: 80% BioC + 20% Turba. Bc2-Tb4	4.0	18.00 c
T3: 50% BioC + 50% Turba. Bc3-Tb3	4.4	20.90 c
T4: 20% BioC + 80% Turba. Bc4-Tb2	7.8	35.50 b
T5: 100% Turba. Tb1-Bc0	11.4	45.50 a

Tratamientos que no compartan letras, son diferentes estadísticamente.

En la Figura 8, observamos al tratamiento compuesto por 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0) que presenta el mayor número de entrenudos comparados con los demás tratamientos.

**Figura 8**

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre el número de entrenudos de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización.*



#### 4.2.1.6 Número de entrenudos en etapa 3

Al respecto del número de entrenudos de las *vitro plantas* de *S. tuberosum* a los 45 días, podemos apreciar en la Tabla 11, en el orden que se cita a continuación presentó el mayor número entrenudos el tratamiento compuestos por un 100% de Turba rubia más 0% de Biocarbono (Tb1-Bc0) siendo estadísticamente diferente, al igual que el tratamiento compuesto por un 20% Biocarbono más 80% Turba rubia (Bc4-Tb2). No presentan diferencias estadísticas los tratamientos con 50% Biocarbono más 50% Turba rubia (Bc3-Tb3), 80% Biocarbono más 20% Turba rubia (Bc2-Tb4) y 100% Biocarbono más 0% Turba rubia (Bc1-Tb0) respectivamente.

**Tabla 11**

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el número de entrenudos de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.*

Tratamientos	N	Media	Agrupación
Tb1-Bc0	10	12.20	A
Bc4-Tb2	10	8.68	B
Bc3-Tb3	10	7.00	C
Bc2-Tb4	10	6.60	C
Bc1-Tb0	10	3.68	D

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la Figura 9, con relación del número de entrenudos de las *vitro plantas* de *S. tuberosum* a los 45 días, podemos observar que las *vitro plantas* donde se observa un mayor número entrenudos fue con el tratamiento compuestos por un 100% de Turba rubia más 0% de Biocarbono (Tb1-Bc0) a continuación, observamos al tratamiento compuesto por un 20% Biocarbono más 80% Turba rubia (Bc4-Tb2). Los valores promedios similares se observaron en los tratamientos con 50% Biocarbono más 50% Turba rubia (Bc3-Tb3), 80% Biocarbono más 20% Turba rubia (Bc2-Tb4) y 100% Biocarbono más 0% Turba rubia (Bc1-Tb0) respectivamente.

## Figura 9

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre el número de entrenudos de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización.*



Como hemos observado a lo largo de las tres etapas de muestreo, se destaca que las vitroplantas desarrolladas bajo el tratamiento cinco exhibieron los mejores y más altos promedios de longitud de entrenudos. Este tratamiento consistió en el uso exclusivo de Turba rubia al 100%. Le sigue en rendimiento el tratamiento cuatro, donde se empleó una combinación de un 20% de biocarbón y un 80% de turba rubia. En lo que respecta a los tres tratamientos restantes, caracterizados por una predominancia de biocarbón en proporciones del 50%, 80% y 20% en relación con la turba rubia, se observaron notables contrastes en los valores de longitud de entrenudos, tal como hemos constatado. El biocarbón contiene altas cantidades de sales solubles, lo que le otorga una mayor conductividad eléctrica. Los nutrientes solubles que se encuentran disponibles son  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$ . Sin embargo, el exceso de sales o alta conductividad eléctrica puede ser perjudicial para las plantas debido a una disminución en el potencial osmótico (Hossain et al., 2020).

### 4.2.1.3 Diámetro del tallo en etapa 1

En la Tabla 12, con respecto al diámetro del tallo a los 15 días, observamos que existen dos tratamientos promedios significativos, el primero es el tratamiento

compuesto por 100% de Turba rubia y 0% de Biocarbón (Tb1-Bc0) y, el que contiene 100% Biocarbón más 0% de Turba rubia (Bc1-Tb0).

**Tabla 12**

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre diámetro del tallo de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.*

Tratamientos	N	Media	Agrupación
Tb1-Bc0	10	0.14	A
Bc4-Tb2	10	0.12	A B
Bc3-Tb3	10	0.09	B C
Bc2-Tb4	10	0.08	C D
Bc1-Tb0	10	0.07	D

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la Figura 10, observamos el diámetro del tallo a los 15 días, donde el tratamiento compuesto por 100% de Turba rubia y 0% de Biocarbón (Tb1-Bc0) y, el que contiene 100% Biocarbón más 0% de Turba rubia (Bc1-Tb0) son diferentes.

**Figura 10**

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre el diámetro del tallo de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización.*



#### 4.2.1.8 Diámetro del tallo en etapa 2

En este caso, como podemos observar en la Tabla 13, los promedios de ninguno de los tratamientos son estadísticamente diferentes.

**Tabla 13**

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre el diámetro del tallo de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.*

Tratamientos	N	Media
Bc4-Tb2	10	0.21
Tb1-Bc0	10	0.21
Bc3-Tb3	10	0.15
Bc2-Tb4	10	0.11
Bc1-Tb0	10	0.08

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la Figura 11, podemos ver que efectivamente los diámetros del tallo a los 30 días, no presentan diferencias significativas.

**Figura 11**

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre el diámetro del tallo de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización.*



### 4.2.1.9 Diámetro del tallo en etapa 3

En esta etapa observamos (Tabla 14) diferencias estadísticas, en los tratamientos con un 100% de Turba rubia más 0% de Biocarbono (Tb1-Bc0) y, el tratamiento compuesto por 100% de Biocarbono y 0% de Turba rubia (Bc1-Tb0).

**Tabla 14**

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el diámetro del tallo de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.*

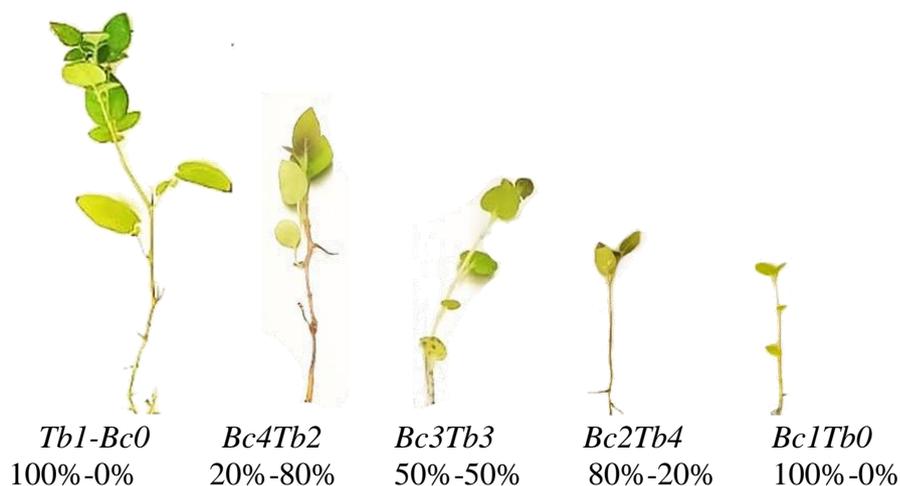
Tratamientos	N	Media	Agrupación
Tb1-Bc0	10	0.24	A
Bc4-Tb2	10	0.21	A B
Bc3-Tb3	10	0.17	A B C
Bc2-Tb4	10	0.13	B C
Bc1-Tb0	10	0.10	C

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En Figura 12 observamos diferencias, en los tratamientos con un 100% de Turba rubia más 0% de Biocarbono (Tb1-Bc0) y, el tratamiento compuesto por 100% de Biocarbono y 0% de Turba rubia (Bc1-Tb0).

**Figura 12**

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el diámetro del tallo de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización.*



En el diámetro del tallo a lo largo de las tres etapas del muestreo, los mejores promedios se registraron en las vitroplantas del tratamiento cinco (Turba rubia al 100%), seguido por el tratamiento cuatro (20% de biocarbón + 80% de turba rubia). En contraste, en los tres tratamientos restantes, donde predominó el biocarbón en proporciones del 50%, 80% y 20% en relación a la turba rubia, el diámetro del tallo no mostró variaciones significativas. Similar a la longitud de entrenudos, las diferencias en las propiedades de retención de agua y drenaje entre el biocarbón y la turba rubia pueden influir en el crecimiento de las plantas, como se ha señalado previamente (Camarena Daniela et al., 2022).

#### 4.2.2 Morfología de la raíz

##### 4.2.2.1 Longitud radicular en etapa 1

Como se observa en la Tabla 15, el tratamiento compuesto por 20% de Biocarbón más un 80% de Turba rubia (Bc4Tb2) y el tratamiento con 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0), son estadísticamente diferentes. Mientras que los tratamientos con Biocarbón 20% + Turba rubia 50% (Bc3-Tb3), Biocarbón 80% + Turba rubia 50% (Bc2-Tb4) y Biocarbón 100% (Bc1-Tb0) son iguales estadísticamente.

**Tabla 15**

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud radicular de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.*

Tratamientos	N	Media	Agrupación
Bc4-Tb2	10	13.65	A
Tb1-Bc0	10	11.14	B
Bc3-Tb3	10	2.53	C
Bc2-Tb4	10	2.03	C
Bc1-Tb0	10	1.60	C

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

La representación gráfica en la Figura 13 subraya que la mayor longitud del sistema radicular se observa en el tratamiento compuesto por un 20% de Biocarbono más un 80% de Turba rubia (Bc4Tb2), al igual que en el tratamiento que se constituye exclusivamente de 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0). En comparación, los tratamientos con 20% de Biocarbono + 50% de Turba rubia (Bc3-Tb3), 80% de Biocarbono + 50% de Turba rubia (Bc2-Tb4) y 100% de Biocarbono (Bc1-Tb0) exhiben, en promedio, longitudes del sistema radicular equiparables.

### Figura 13

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud radicular de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización.*



#### 4.2.2.4 Longitud radicular en etapa 2

La información recopilada en la Tabla 16 destaca notables distinciones entre el tratamiento que combina un 20% de Biocarbono con un 80% de Turba rubia (Bc4Tb2) y aquel compuesto en su totalidad por 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0), evidenciando diferencias estadísticas significativas. En contraste, los demás tratamientos, a saber, el que contiene un 20% de Biocarbono + 50% de Turba rubia (Bc3-Tb3), el compuesto por 80% de Biocarbono + 50% de Turba rubia (Bc2-Tb4) y el conformado completamente por 100% de Biocarbono (Bc1-Tb0), se revelan como equivalentes desde una perspectiva estadística, al no presentar diferencias significativas entre ellos.

**Tabla 16**

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud radicular de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.*

Tratamientos	N	Media	Agrupación
Bc4-Tb2	10	14.99	A
Tb1-Bc0	10	11.71	B
Bc3-Tb3	10	2.69	C
Bc2-Tb4	10	2.52	C
Bc1-Tb0	10	2.01	C

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la Figura 14, el tratamiento compuesto por 20% de Biocarbón más un 80% de Turba rubia (Bc4Tb2) y al compuesto por 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0) presentan las mayores longitudes radiculares, a diferencia del resto de tratamientos, con Biocarbón 20% + Turba rubia 50% (Bc3-Tb3), Biocarbón 80% + Turba rubia 50% (Bc2-Tb4) y Biocarbón 100% (Bc1-Tb0).

**Figura 14**

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud radicular de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización.*



### 4.2.2.3 Longitud radicular en etapa 3

Presentamos en la Tabla 17, la respuesta del Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud radicular de vitroplantas de *S. tuberosum* Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización. Observamos que el tratamiento compuesto por 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0) y el sustrato compuesto por 20% de Biocarbono más un 80% de Turba rubia (Bc4Tb2) son iguales estadísticamente, mientras que los demás tratamientos, compuestos por Biocarbono 20% + Turba rubia 50% (Bc3-Tb3), Biocarbono 80% + Turba rubia 50% (Bc2-Tb4) y Biocarbono 100% (Bc1-Tb0) son iguales estadísticamente.

**Tabla 17**

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud radicular de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.*

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

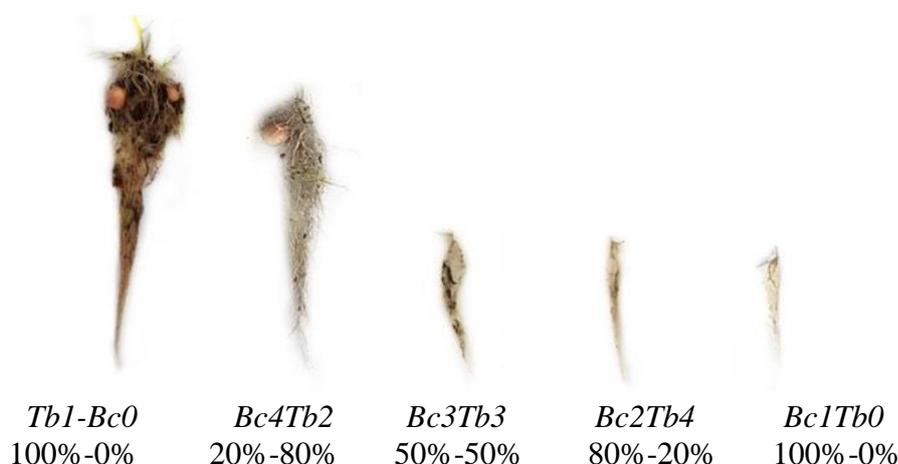
Tratamientos	N	Media	Agrupación
Tb1-Bc0	10	16.52	A
Bc4-Tb2	10	15.35	A
Bc3-Tb3	10	4.58	B
Bc2-Tb4	10	4.27	B
Bc1-Tb0	10	2.67	B

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

La observación detallada de la Figura 15 pone de manifiesto que hay una similitud marcada entre el tratamiento que integra un 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0) y el sustrato compuesto por un 20% de Biocarbono junto con un 80% de Turba rubia (Bc4Tb2). En contraste, los otros tratamientos, constituidos por un 20% de Biocarbono + 50% de Turba rubia (Bc3-Tb3), un 80% de Biocarbono + 50% de Turba rubia (Bc2-Tb4) y un 100% de Biocarbono (Bc1-Tb0), no exhiben diferencias sustanciales entre sí.

## Figura 15

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre la longitud radicular de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización.*



Concluidas las etapas de experimentación, en cuanto a longitud radicular expresados en cm, el mejor y más alto promedio, los encontramos en las vitroplantas desarrolladas en el tratamiento cinco; es decir, en Turba rubia al 100%, seguidos consecutivamente por los tratamientos cuatro, tres, dos y uno, en ese orden. En este sentido, la mayor longitud radicular alcanzada en el sustrato al 100% de turba, posiblemente se deba a la capacidad de este de preservar por mayor tiempo el agua, no así los sustratos que contienen biocarbón. Por lo tanto, se debe evaluar cuidadosamente los efectos del biocarbón en las propiedades del suelo y el rendimiento de los cultivos, idealmente en condiciones de campo con tasas de aplicación adecuadas. (Knoblauch et al., 2021).

### 4.2.2.4 Número de raíces en etapa 1

Con relación al número de raíces a los 15 días, en la Tabla 18, observamos a los tratamientos compuestos por un 100% de Turba rubia más 0% de Biocarbón (*Tb1-Bc0*) y 20% Biocarbón más 80% Turba rubia (*Bc4-Tb2*) presentando diferencias estadísticas. En contraste con los demás tratamientos que no presentan diferencias estadísticas, como el caso del 50% Biocarbón más 50% Turba rubia (*Bc3-Tb3*), 80% Biocarbón más 20% Turba rubia (*Bc2-Tb4*) y 100% Biocarbón más 0% Turba rubia (*Bc1-Tb0*).

**Tabla 18**

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre el número de raíces de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Kruskal Wallis complementada con la prueba U de Mann Whitney para  $p < 0.05$ .*

Tratamientos	Número de raíces en etapa 1	
	$\bar{X}$	RP
T1: 100% BioC. Bc1-Tb0	2.9	10.20 d
T2: 80% BioC + 20% Turba. Bc2-Tb4	3.3	13.60 d
T3: 50% BioC + 50% Turba. Bc3-Tb3	4.8	22.70 c
T4: 20% BioC + 80% Turba. Bc4-Tb2	11.0	35.50 b
T5: 100% Turba. Tb1-Bc0	15.4	45.50 a

Tratamientos que no compartan letras, son diferentes estadísticamente.

En la Figura 16, podemos apreciar la influencia de los tratamientos sobre las plantas utilizadas para la obtención de los promedios correspondientes al número de raíces en la primera evaluación a los 15 días, correspondientes a los tratamientos: 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0), 20% de Biocarbón más un 80% de Turba rubia (Bc4Tb2), Biocarbón 50% + Turba rubia 50% (Bc3-Tb3), Biocarbón 80% + Turba rubia 20% (Bc2-Tb4) y Biocarbón 100% (Bc1-Tb0).

**Figura 16**

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre el número de raíces de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización.*



#### 4.2.2.5 Número de raíces en etapa 2

En la Tabla 19, destaca el tratamiento conformado íntegramente por 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0), evidenciando el promedio más elevado y marcando una distinción estadística significativa en comparación con los demás tratamientos. Asimismo, el tratamiento compuesto por un 20% de Biocarbón junto con un 80% de Turba rubia (Bc4Tb2) también exhibe diferencias estadísticas notables. En contraste, los tratamientos que incluyen un 20% de Biocarbón + 50% de Turba rubia (Bc3-Tb3), un 80% de Biocarbón + 50% de Turba rubia (Bc2-Tb4) y un 100% de Biocarbón (Bc1-Tb0) no presentan divergencias estadísticamente significativas entre sí.

**Tabla 19**

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre el número de raíces de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.*

Tratamientos	N	Media	Agrupación
Tb1-Bc0	10	31.4	A
Bc4-Tb2	10	16.2	B
Bc3-Tb3	10	5.7	C
Bc2-Tb4	10	4.5	C
Bc1-Tb0	10	3.9	C

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

La Figura 17 permite observar que el tratamiento compuesto por 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0) destaca al presentar el mayor número de raíces en comparación con los demás tratamientos, marcando una diferencia notable. A continuación, el tratamiento que integra un 20% de Biocarbón junto con un 80% de Turba rubia (Bc4Tb2) sigue en orden, mostrando una cantidad significativa de raíces. Por otro lado, los tratamientos con 20% de Biocarbón + 50% de Turba rubia (Bc3-Tb3), 80% de Biocarbón + 50% de Turba rubia (Bc2-Tb4) y 100% de Biocarbón (Bc1-Tb0) presentan proporcionalmente una cantidad menor de raíces.

## Figura 17

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre el número de raíces de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización.*



### 4.2.2.6 Número de raíces en etapa 3

En la Tabla 20, el tratamiento, 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0) es estadísticamente diferente. El tratamiento de 20% de Biocarbón con 80% de Turba rubia (Bc4Tb2) también difiere, mientras que los tratamientos con 20% de Biocarbón + 50% de Turba rubia (Bc3-Tb3) y 80% de Biocarbón + 50% de Turba rubia (Bc2-Tb4) son estadísticamente iguales. La influencia del Biocarbón 100% (Bc1-Tb0) en el número de raíces presenta diferencias estadísticas.

### Tabla 20

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre el número de raíces de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.*

Tratamientos	N	Media	Agrupación
Tb1-Bc0	10	32.00	A
Bc4-Tb2	10	16.80	B
Bc3-Tb3	10	6.70	C
Bc2-Tb4	10	6.40	C
Bc1-Tb0	10	4.50	D

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la Figura 18, el tratamiento compuesto por 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0), ha influido en el número de raíces, el tratamiento compuesto por 20% de Biocarbono más un 80% de Turba rubia (Bc4Tb2) también presenta más raíces, los tratamientos con Biocarbono 20% + Turba rubia 50% (Bc3-Tb3) y Biocarbono 80% + Turba rubia 50% (Bc2-Tb4) poseen promedios similares y, la influencia del Biocarbono 100% (Bc1-Tb0) con el menor número de raíces.

### Figura 18

*Influencia de diferentes combinaciones de biocarbono (TectoporePure) y Turba rubia sobre el número de raíces de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización.*



Al finalizar las etapas observadas, en cuanto al número de raíces, durante la experimentación, los mejores y más altos promedios, los encontramos en las vitroplantas influidas por el tratamiento cinco; es decir, en Turba rubia al 100%, seguido por el tratamiento cuatro donde se empleó un 20% de biocarbono + un 80% de turba rubia. En comparación a los tres tratamientos restantes, donde predominó la presencia de biocarbono, en proporciones del 50%, 80% y 100% en relación a la turba rubia, el número de raíces no presentaron valores con fuertes diferencias. De modo similar a lo ocurrido con las otras observaciones, donde la cantidad de agua almacenada en el substrato es esencial para el desarrollo de las raíces, las mezcla con mayor proporción de biocarbono podría determinar la capacidad de retención de líquido, en la mayoría de los casos, una mayor circulación de aire alrededor de las raíces, en equilibrio con la presencia del agua ha permitido posiblemente, obtener un mayor número de raíces (Bravo Medina et al., 2019).

#### 4.2.2.7 Volumen de raíces en etapa 1

En la Tabla 21, el tratamiento con 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0), presenta diferencias estadísticas al igual que el tratamiento con 20% de Biocarbón más un 80% de Turba rubia (Bc4Tb2), los tratamientos con Biocarbón 20% + Turba rubia 50% (Bc3-Tb3), Biocarbón 80% + Turba rubia 50% (Bc2-Tb4) y Biocarbón 100% (Bc1-Tb0) no presentaron diferencias estadísticas.

**Tabla 21**

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre volumen de raíces de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.*

Tratamientos	N	Media (ml)	Agrupación
Tb1-Bc0	10	2.21	A
Bc4-Tb2	10	0.85	B
Bc3-Tb3	10	0.01	C
Bc2-Tb4	10	0.01	C
Bc1-Tb0	10	0.01	C

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la Figura 19, observamos la toma del volumen de raíces, para todos los tratamientos, se empleó el mismo método en todas las etapas.

**Figura 19**

*Determinación del volumen de raíces empleando el sistema radicular desarrollado en diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola posterior a los días de plantadas en fase de aclimatización.*



#### 4.2.2.8 Volumen de raíces en etapa 2

La Tabla 22, consigna los valores obtenidos posterior a la influencia de los tratamientos sobre el volumen de raíces a los 30 días, el tratamiento con 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0), presenta el mayor volumen y diferencia estadística, el tratamiento con 20% de Biocarbón más un 80% de Turba rubia (Bc4Tb2), el tratamiento con Biocarbón 20% + Turba rubia 50% (Bc3-Tb3), Biocarbón 80% + Turba rubia 50% (Bc2-Tb4) y Biocarbón 100% (Bc1-Tb0) no presentaron diferencias estadísticas, es decir; son iguales.

**Tabla 22**

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre el volumen de raíces de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.*

Tratamientos	N	Media (ml)	Agrupación
Tb1-Bc0	10	7.18	A
Bc4-Tb2	10	1.09	B
Bc3-Tb3	10	0.76	B
Bc2-Tb4	10	0.64	B
Bc1-Tb0	10	0.48	B

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

#### 4.2.2.9 Volumen de raíces en etapa 3

Podemos observar en la Tabla 23, observamos los valores promedios obtenidos posterior a la influencia de los tratamientos sobre el volumen de raíces a los 45 días, donde, todos los tratamientos son estadísticamente distintos: 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0), 20% de Biocarbón más un 80% de Turba rubia (Bc4Tb2), Biocarbón 20% + Turba rubia 50% (Bc3-Tb3), Biocarbón 80% + Turba rubia 50% (Bc2-Tb4) y Biocarbón 100% (Bc1-Tb0).

**Tabla 23**

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbóno (TectoporePure) y Turba rubia sobre el volumen de raíces de vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.*

Tratamientos	N	Media (ml)	Agrupación
Tb1-Bc0	10	8.62	A
Bc4-Tb2	10	1.29	B
Bc3-Tb3	10	0.91	C
Bc2-Tb4	10	0.75	D
Bc1-Tb0	10	0.61	E

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Al finalizar las etapas observadas, en cuanto al volumen de raíces expresados en ml, durante las tres etapas del muestreo, los mejores y más altos promedios, los encontramos en las vitroplantas desarrolladas en el tratamiento cinco; es decir, en Turba rubia al 100%, seguidos por los tratamientos con biocarbóno. Posiblemente, la capacidad de retención de humedad, contribuye a que los valores de porosidad total están altamente correlacionados con la densidad aparente del sustrato, lo que sugiere que una mayor cantidad de nutrientes está comprometida, contrario a la turba rubia que la mantiene regularmente. (Fernando Balseca-Sampedro et al., 2021).

#### **4.3 Determinación de la influencia del Biocarbóno (Tectopore) en el contenido de macro y micro nutrientes en vitro plantas de S. tuberosum cultivadas en condiciones de invernadero**

##### **4.3.1 Determinación de masa fresca en etapa 1**

En cuanto a la masa fresca, en la Tabla 24, observamos los valores promedios obtenidos posterior a la influencia de los tratamientos sobre la masa fresca a los 15 días, donde, el tratamiento estadísticamente distinto fue con el 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0), los tratamientos compuestos por 20% de Biocarbóno más un 80% de Turba rubia (Bc4Tb2), Biocarbóno 20% + Turba rubia 50% (Bc3-Tb3), Biocarbóno 80% + Turba rubia 50% (Bc2-Tb4) y Biocarbóno 100% (Bc1-Tb0) no son diferentes estadísticamente.

## Tabla 24

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre el contenido de masa fresca in vitro plantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.*

Tratamientos	N	Media (g)	Agrupación
Tb1-Bc0	10	5.99	A
Bc4-Tb2	10	1.09	B
Bc3-Tb3	10	0.03	B
Bc2-Tb4	10	0.02	B
Bc1-Tb0	10	0.02	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Las muestras de cada uno de los tratamientos fueron sometidas a una clasificación y pesaje con el fin de determinar la masa fresca, estos valores se registraron para utilizarlos en los cálculos posteriores (Figura 20). Este mismo método se utilizó en todos los casos.

## Figura 20

*Preparación de las muestras para la determinación de masa fresca las vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola cultivadas en diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia en fase de aclimatización. Esta preparación se efectuó en todos los casos.*



### 4.3.2 Determinación de masa fresca en etapa 2

En cuanto a la masa fresca, en la Tabla 25, observamos los promedios obtenidos posterior a la influencia de los tratamientos sobre estos a los 30 días, el tratamiento estadísticamente distinto fue con 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0), los tratamientos compuestos por 20% de Biocarbón más un 80% de Turba rubia (Bc4Tb2), Biocarbón 20% + Turba rubia 50% (Bc3-Tb3), Biocarbón 80% + Turba rubia 50% (Bc2-Tb4) y Biocarbón 100% (Bc1-Tb0) no son diferentes estadísticamente.

**Tabla 25**

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre el contenido de masa fresca in vitro plantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.*

Tratamientos	N	Media (g)	Agrupación
Tb1-Bc0	10	7.18	A
Bc4-Tb2	10	2.04	B
Bc3-Tb3	10	0.66	B
Bc2-Tb4	10	0.61	B
Bc1-Tb0	10	0.48	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

### 4.3.3 Determinación de masa fresca en etapa 3

En la etapa tres del análisis de la masa fresca, en la Tabla 26, encontramos los valores promedios obtenidos posterior a la influencia de los tratamientos sobre la masa fresca a los 45 días, donde, los tratamientos estadísticamente distintos fueron con el 100% de Turba rubia (Tb1-Bc0) y con el 20% de Biocarbón más un 80% de Turba rubia (Bc4Tb2), el resto de tratamientos con Biocarbón 20% + Turba rubia 50% (Bc3-Tb3), Biocarbón 80% + Turba rubia 50% (Bc2-Tb4) y Biocarbón 100% (Bc1-Tb0) no fueron diferentes estadísticamente.

**Tabla 26**

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre el contenido de masa fresca in vitro plantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.*

Tratamientos	N	Media (g)	Agrupación
Tb1-Bc0	10	10.20	A
Bc4-Tb2	10	2.31	B
Bc3-Tb3	10	0.76	C
Bc2-Tb4	10	0.64	C
Bc1-Tb0	10	0.51	C

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Concluidas las etapas de observación, en cuanto a masa fresca expresados en g, los mejores promedios, los encontramos en las vitroplantas desarrolladas en el tratamiento cinco; es decir, en Turba rubia al 100%, seguidos consecutivamente por los tratamientos con mezcla de biocarbón, es decir; cuatro, tres, dos y uno.

En este sentido, la mayor cantidad de masa fresca se obtuvo con el sustrato al 100% de turba, posiblemente se deba a que, las características químicas, por la utilización de biocarbón influye en el pH, la conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico del suelo. Estas propiedades químicas influyen en la interacción de los nutrientes, es importante destacar que el pH es un factor crucial en la agricultura, el cual está ligado al desarrollo de las plantas. (Bravo Medina et al., 2019).

#### **4.3.4 Determinación de masa seca en etapa 1**

En la Tabla 27, observamos dos diferencias estadísticas evidentes, corresponden a los tratamientos Tb1-Bc0 y al tratamiento Bc4-Tb2. Los demás tratamientos no presentan diferencias estadísticas.

En la Figura 21, observamos la preparación de las muestras para la determinación de la masa seca, deshidratándolas por un período de tiempo y, finalmente, determinando su peso.

**Tabla 27**

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre el contenido de masa seca in vitro plantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 15 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.*

Tratamientos	N	Media (g)	Agrupación
Tb1-Bc0	10	4.79	A
Bc4-Tb2	10	1.85	B
Bc3-Tb3	10	0.03	C
Bc2-Tb4	10	0.02	C
Bc1-Tb0	10	0.02	C

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

**Figura 21**

*Preparación de las muestras para la determinación de masa fresca las vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola cultivadas en diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia en fase de aclimatización. Esta preparación se efectuó en todos los casos.*



Posterior a la deshidratación de la masa seca (Figura 22), las muestras se pesaron con la finalidad de comparar finalmente con la masa fresca y, consignar los resultados en las tablas que hemos presentado.

## Figura 21

*Preparación de las muestras para la determinación del peso de la masa seca de las vitroplantas de S. tuberosum Var. Superchola cultivadas en diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia en fase de aclimatización. Este protocolo se aplicó en todos los casos.*



### 4.3.5 Determinación de masa seca en etapa 2

La Tabla 28, muestra los tratamientos Tb1-Bc0 y Bc1-Tb0 con diferencias estadísticas en comparación con el resto de tratamientos.

**Tabla 28**

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre el contenido de masa seca in vitro plantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 30 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.*

Tratamientos	N	Media (g)	Agrupación
Tb1-Bc0	10	7.90	A
Bc4-Tb2	10	3.68	A B
Bc3-Tb3	10	2.20	A B
Bc2-Tb4	10	1.07	A B
Bc1-Tb0	10	0.41	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

### 4.3.6 Determinación de masa seca en etapa 3

En la Tabla 29, observamos dos diferencias estadísticas evidentes, en los tratamientos Tb1-Bc0 y Bc4-Tb2. El resto de tratamientos no son diferentes, estadísticamente.

**Tabla 29**

*Efecto de diferentes combinaciones de biocarbón (TectoporePure) y Turba rubia sobre el contenido de masa seca in vitro plantas de S. tuberosum Var. Superchola a los 45 días de plantadas en fase de aclimatización utilizando Tukey al 95% de confianza.*

Tratamientos	N	Media (g)	Agrupación
Tb1-Bc0	10	8.16	A
Bc4-Tb2	10	1.85	B
Bc3-Tb3	10	0.61	C
Bc2-Tb4	10	0.51	C
Bc1-Tb0	10	0.41	C

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Una vez analizadas las etapas del cultivo de vitroplantas, en cuanto a masa seca expresados en g, el mejor y más alto promedio, los encontramos en las vitroplantas desarrolladas en el tratamiento cinco; es decir, en Turba rubia al 100%, seguidos consecutivamente por los tratamientos cuatro, hasta el uno, según los rangos correspondientes.

Como hemos visto, varios estudios han demostrado que la aplicación de biocarbón al suelo puede aumentar significativamente los niveles de macronutrientes como el nitrógeno, el fósforo y el potasio, así como de micronutrientes como el hierro, el zinc y el cobre. En general, el uso de biocarbón en un sustrato puede mejorar la disponibilidad de nutrientes y la calidad del suelo para un crecimiento vegetal saludable y sostenible (Sarkhot et al., 2020). En consecuencia, la respuesta de algunos de los valores de masa seca pueda deberse al factor antes mencionado.

#### **4.3.7 Determinación del contenido de macro y micro nutrientes**

De acuerdo con los resultados del análisis foliar, Tabla 30, contenido de macro- y microelementos en Masa seca (macroelementos en %, microelementos en ppm equivalente a mg/kg o  $\mu\text{m/g}$ ). La unidad en porcentaje para valores normales en hoja en nitrógeno (N), se encuentran entre 4.00 – 6.00. De acuerdo a los anotados, ninguno de los tratamientos se encuentra dentro del rango, todos están por debajo del límite inferior.

La unidad en porcentaje para valores normales en hoja en fósforo (P), se encuentran entre 0.25 – 0.50. De acuerdo a lo anotado, el T1 (Bc1-Tb0) dentro del rango, T2 (Bc2-Tb4) dentro del rango, T3 (Bc3-Tb3) dentro del rango, T4 (Bc4-Tb2) dentro del rango y T5 (Tb1-Bc0) fuera de rango, más abajo del límite inferior.

La unidad en porcentaje para valores normales en hoja en potasio (K), se encuentran entre 4.0 – 7.0, según este rango, en todos los tratamientos, este elemento se encuentra por debajo del límite inferior del rango.

La unidad en porcentaje para valores normales en hoja en magnesio (Mg), se encuentran entre 1.00 – 7.0, según este rango, todos los tratamientos tienen a este elemento dentro del rango. Excepto el T3 (Bc3-Tb3) cuyo valor está por sobre el límite superior.

La unidad en porcentaje para valores normales en hoja el calcio (Ca), se encuentran entre 0.75 – 1.50, según este rango, todos los tratamientos tienen a este elemento dentro del rango. Excepto el T3 (Bc3-Tb3) y T4 (Bc4-Tb2) cuyos valores están por encima del límite superior.

La unidad en porcentaje para valores normales en hoja el azufre (S), se encuentran entre 0.30 – 0.50, según este rango, todos los tratamientos tienen a este elemento fuera del rango, están por encima del límite superior.

La unidad en porcentaje para valores normales en hoja el sodio (Na), se encuentran entre 0.02 – 0.10, según este rango, todos los tratamientos tienen a este elemento dentro del rango. Excepto el T4 (Bc4-Tb2) cuyo valor está por sobre el límite superior del mismo.

La unidad en partes por millón (ppm) para valores normales en hoja el hierro (Fe),

se encuentran entre 70 – 150, según este rango, todos los tratamientos tienen a este elemento dentro del rango. Excepto el T3 (Bc3-Tb3) que está sobre el rango y, el T4 (Bc4-Tb2) cuyo valor está por debajo del límite inferior del mismo.

La unidad en partes por millón (ppm) para valores normales en hoja el hierro (Fe), se encuentran entre 70 – 150, según este rango, todos los tratamientos tienen a este elemento dentro del rango. Excepto el T3 (Bc3-Tb3) que está sobre el rango y, el T4 (Bc4-Tb2) cuyo valor está por debajo del límite inferior del mismo.

La unidad en partes por millón (ppm) para valores normales en hoja el manganeso (Mn), se encuentran entre 50 – 300. Según este rango, todos los tratamientos tienen a este elemento dentro del rango. Excepto el T5 (Tb1-Bc0) cuyo valor está el límite superior del mismo.

La unidad en partes por millón (ppm) para valores normales en hoja el cobre (Cu), se encuentran entre 6 – 20. Según este rango, todos los tratamientos tienen a este elemento dentro del rango.

La unidad en partes por millón (ppm) para valores normales en hoja el zinc (Zn), se encuentran entre 40 – 150, según este rango, únicamente dos tratamientos tienen a este elemento dentro del rango. Excepto el T1 (Bc1-Tb0) y T5 (Tb1-Bc0) cuyos valores están por debajo del límite inferior del mismo.

La unidad en partes por millón (ppm) para valores normales en hoja el boro (B), se encuentran entre 25 – 50, según este rango, todos los tratamientos tienen a este elemento fuera del rango, sus valores se encuentran por sobre el límite superior.

**Tabla 30**

*Análisis foliar, contenido de macro- y microelementos en masa seca (macroelementos en %, microelementos en ppm equivalente a mg/k o µm/g).*

ANÁLISIS FOLIAR							
Vitroplantas <i>S. tuberosum</i> L. Var. Superchola							
Unidad	Valores	Análisis	T1	T2	T3	T4	T5
	"Normal"		Bc1-Tb0	Bc2-Tb4	Bc3-Tb3	Bc4-Tb2	Tb1-Bc0
	Hojas Papas						
%	4.00 – 6.00	N	1.57	1.38	1.34	1.23	1.36
%	0.25 – 0.50	P	0.29	0.31	0.3	0.39	0.20
%	4.00 – 7.00	K	1.48	1.47	1.79	2.43	1.03
%	0.50 – 1.00	Mg	0.94	0.98	1.18	0.82	0.8
%	0.75 – 1.50	Ca	1.38	1.41	1.82	2.29	0.97
%	0.30 - 0.50	S	0.68	0.53	0.54	0.7	0.57
%	0.02 - 0.10	Na	0.05	0.06	0.08	0.14	0.06
ppm	70 – 150	Fe	106	122	195	65	70.4
ppm	50 – 300	Mn	289	294	250	66.4	304
ppm	6 – 20	Cu	9.3	13.5	13.2	11.4	9.5
ppm	40 – 150	Zn	29.9	35.3	40.8	50.8	33
ppm	25 – 50	B	88.8	104	119	74.4	86

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

#### 5.1. Conclusiones

5.1.1 El Biocarbón influyó en la respuesta morfofisiológica de las vitroplantas de *S. tuberosum*, los mejores valores se registraron en el tratamiento: T4: 20% Biocarbón + 80% Turba rubia (Bc4-Tb2), en comparación con las mezclas que contuvieron más Biocarbón.

5.1.2 Las vitroplantas respondieron de manera muy distinta a cada una de las combinaciones utilizadas; en general, menores cantidades de Biocarbón incrementó la respuesta a este de las diferentes variables utilizadas.

5.1.3 Una vez evaluado el efecto del Biocarbón, permitió establecer que el mismo en menores cantidades incentivó la respuesta del crecimiento y desarrollo general de las vitroplantas.

5.1.4 El análisis foliar determinó que el Biocarbón, podría haber influido en el contenido de macro y micro nutrientes de las vitroplantas sometidas a la experimentación.

## **5.2. Recomendaciones**

5.2.1 Efectuar experimentaciones con vitroplantas cuyos sustratos contengan cantidades máximo de 20% de Biocarbono.

5.2.2 Incorporar hongos micorrízicos, para promover una sinergia beneficiosa mejorando la calidad del suelo.

5.2.3 Monitorear el pH, C.E. y C.I.C. de los sustratos que contengan biocarbono con el fin de ajustar los contenidos de este según los cultivos.

### 5.3. Bibliografía

- Araujo, A., Cartagena, J., Castillo, C., Cuesta, X., Monteros, C., Paula, N., Racines, M., Rivadeneira, J., Velázquez, J., León, J., Andrade-Piedra, J., y Panchi, N. (2021). Manual N o 78 Programa Nacional de Raíces y Tubérculos-papa Manual del cultivo de papa para pequeños productores.
- Azcón-Bieto, J., y Talón, M. (2021). Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw Hill.
- Bravo Medina, C. A., Alemán Pérez, R. D., Freile Almeida, J. A., Reyes Morán, H. F., Andino Inmunda, M. W., Alba Rojas, J. L., Lazo Pérez, Y., y Marino Ibarra, E. (2019). Evaluación del uso de un biocarbono sobre la absorción de cadmio del suelo y la productividad del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonía ecuatoriana. *Revista Iberoamericana Ambiente y Sustentabilidad*, 2(1), 6–15. <https://doi.org/10.46380/rias.v2i1.33>
- Camarena Daniela, A., Méndez Norma, O., Esquivel Fernanda Madai, R., y Edgar, V.-N. (2022). VOLUMEN 16 XXVII Verano De la Ciencia. [www.jóvenesenciencia.ugto.mx](http://www.jóvenesenciencia.ugto.mx)
- Chavez García, E. (2022). 179-Texto del artículo-357-2-10-20220406.
- Chew, J., Zhu, L., Nielsen, S., Graber, E., Mitchell, D. R. G., Horvat, J., Mohammed, M., Liu, M., van Zwieten, L., Donne, S., Munroe, P., Taherymoosavi, S., Pace, B., Rawal, A., Hook, J., Marjo, C., Thomas, D. S., Pan, G., Li, L., ... Fan, X. (2020). Biochar-based fertilizer: Supercharging root membrane potential and biomass yield of rice. *Science of the Total Environment*, 713. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136431>
- Choudhury, S. R., Roy, P., Giri, A. K., y Mukherjee, A. K. (2021). Impact of biochar on growth and physiology of potato (*Solanum tuberosum* L.) plantlets grown under in vitro culture. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 27(2), 301-312.
- De los Santos Coronel, J. (2021). Conferencia de la Asociación Poblana de Ciencias Microbiológicas. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5748283>

- De los Santos, J. (2021). Conferencia de la Asociación Poblana de Ciencias Microbiológicas. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5748283>
- De, V., De, O., De, V., Revisión, M., En, G., En, I., Cuesta, E., Directora, A., y Ferreras, J. F. (2019). Trabajo Fin de Grado (Valorisation of sawdust through pyrolysis: obtaining wood vinegar. A review) Para acceder al Título de.
- Elizabeth Velázquez Cabañas, R., Zaldívar Martínez, P., Manuel Barrios Díaz, J., Berdeja Arbeu, R., Jesuita Pérez Marroquin, G., y San Juan Acateno Teziutlán Puebla México, N. C. (2021). SUSTRATOS DE SUELO, BIOCARBÓN DE BAMBÚ Y ZEOLITA PARA EL CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.). Artículo: COMEII-21033, 1–8.
- Escalante Rebolledo, A., Pérez López, G., Hidalgo Moreno, C., López Collado, J., Campo Alves, J., Valtierra Pacheco, E., Etchevers Barra, J. D., Rebolledo, E., Pérez López, G., Hidalgo Moreno, C., López Collado, J., Campo Alves, J., y Valtierra Pacheco D Etchevers Barra, E. J. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo Biocarbon (biochar) I: Nature, history, manufacture and use in soil Autora responsable (hidalgo@colpos.mx).
- Fernando Balseca-Sampedro, O. I., Miguel Aquino-Arroba, S. I., Wladimir Chela-Hinojosa III, S., y Daniel Figueroa-Moreno, J. I. (2021). Ciencias técnicas y aplicadas Artículos de investigación. 6(5), 394–425. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i5.2668>
- Freitez, N., y Villanueva, S. (2019). Art02Dicimbre2019. Revista Ciencia En Revolución.
- García-Sánchez, F., y del Amor, F. M. (2020). Fisiología vegetal y ecología. Editorial Universidad de Almería.
- Glaser, B., Lehmann, J., y Zech, W. (2019). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review. *Biology and fertility of soils*, 35(4), 219-230.
- González-Fontes, A., y Rexach, J. (2020). Nutrición mineral de las plantas: fisiología y bioquímica. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Navarra.

- Haque, M. M., Shamsuddin, Z. H., Islam, M. R., y Saifullah, M. (2021). Biochar improves seedling growth, nutrient uptake, and photosynthesis of potato grown in sandy soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(1), 104-118.
- Hass, A. L., Leite, L. F. C., y Alves, P. R. L. (2019). Biochar improves tomato growth and soil biochemical properties in a soil degraded by a chemical spill. *Journal of Environmental Management*, 232, 437-444. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.11.084
- Herrera, A., y Paredes, M. Á. (2020). *Fisiología vegetal: desde las moléculas hasta la producción*. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- Hossain, M. Z., Bahar, M. M., Sarkar, B., Donne, S. W., Ok, Y. S., Palansooriya, K. N., Kirkham, M. B., Chowdhury, S., y Bolan, N. (2020). Biochar and its importance on nutrient dynamics in soil and plant. In *Biochar* (Vol. 2, Issue 4, pp. 379–420). Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00065-z>
- Huang, H., Wang, Y., Sun, Y., y Guo, X. (2019). Thermal Carbonization of Sewage Sludge for Organic Pollutants Removal: Effect of Temperature and Residence Time. *Energy y Fuels*, 33(3), 2179-2186. doi: 10.1021/acs.energyfuels.8b04248
- Kim, S., Kim, D., Lim, J. Y., Park, J., Lee, D., Kim, J., ... y Yang, J. E. (2021). Biochar amendment enhances photosynthesis and antioxidant capacity in potato plants grown under limited water availability. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 316, 107472. doi: 10.1016/j.agee.2021.107472
- Kizito, S., Luo, H., Lu, J., Bah, H., Dong, R., y Wu, S. (2019). Role of nutrient-enriched biochar as a soil amendment during maize growth: Exploring practical alternatives to recycle agricultural residuals and to reduce chemical fertilizer demand. *Sustainability* (Switzerland), 11(11). <https://doi.org/10.3390/su11113211>
- Knoblauch, C., Priyadarshani, S. H. R., Haeefe, S. M., Schröder, N., y Pfeiffer, E. M. (2021). Impact of biochar on nutrient supply, crop yield and microbial

- respiration on sandy soils of northern Germany. *European Journal of Soil Science*, 72(4), 1885–1901. <https://doi.org/10.1111/ejss.13088>
- Liu, Z., y Wang, G. (2020). Pyrolysis technology for producing biochar from biomass: A review. *Biomass and Bioenergy*, 136, 105530.
- Liu, S., Jin, Y., y Wu, W. (2021). Advances in fast pyrolysis technology for production of biofuels: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 138, 110609.
- Lehmann, J., y Joseph, S. (2019). Biochar for environmental management: An introduction. In *Biochar for Environmental Management* (pp. 1-17). Routledge.
- Lehmann, J. (2019). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*. Routledge.
- Lozano, R., G. Nieto, W., M. Mendoza, M., y C. Ramirez, F. (2020). Desarrollo de *Ormosia schunkei* en suelos recuperados con biocarbón activado en biol de vacaza. *Revista Forestal Del Perú*, 35(3), 18. <https://doi.org/10.21704/rfp.v35i3.1598>
- Oracz, K., Goławska, S., y Kępczyńska, E. (2020). The impact of biochar on seed germination and plant growth of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Plants*, 9(9), 1198.
- Pérez-Cabrera, C. A., Juárez-Lopez, P., Anzaldo-Hernandez, J., Alia-Tejacal, I., Salcedo-Pérez, E., Guillen-Sanchez, D., Balois-Morales, R., Lopez-Martinez, V., y Castro-Brindis, R. (2021). Chemical characterization of biochar from sugarcane tips produced by hydrothermal carbonization and addition of organic catalysts. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/TERRA.V39I0.936>
- Présiga-López, D., Rubio-Clemente, A., y Pérez, J. F. (2020). Uso del biocarbón como material alternativo para el tratamiento de aguas residuales contaminadas. *Revista UIS Ingenierías*, 20(1), 121–134. <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n1-2021011>

- Preston, T. R. (2013). El papel del biocarbono en la sostenibilidad y competitividad de sistemas agropecuarios. <http://www.mekarn.org/workshops/>
- Sánchez-López, R., Díaz-Pérez, J. C., y García-Sánchez, F. (2020). Fisiología vegetal aplicada. Editorial Universidad de Almería.
- Sankaranarayanan, S., Hariram, M., Vivekanandhan, S., y Navia, R. (2021). Sustainable biocarbon materials derived from *Lessonia Trabeculata* macroalgae biomass residue for supercapacitor applications . *Energy Storage*, 3(2). <https://doi.org/10.1002/est2.222>
- Sarkhot, D. V., Gogo, E. O., Jaiyeola, O. A., y Dhlamini, T. S. (2020). Biochar as a soil amendment for sustainable agriculture: A review. *Journal of soil science and plant nutrition*, 20(1), 1-15.
- Schulz, H., Dunst, G., y Glaser, B. (2013). Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. *Agronomy for Sustainable Development Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility*. 33(4). <https://doi.org/10.1007/s13593>
- Sun, Y., y Li, J. (2019). Production of high-quality biochar from agricultural wastes via slow pyrolysis. *Energy Conversion and Management*, 180, 352-361.
- Taiz, L., y Zeiger, E. (2021). Fisiología Vegetal. Artmed Panamericana.
- Torrecillas, A., y Morales, M. A. (2021). Estrés ambiental en plantas: fisiología y bioquímica. Mundi-Prensa.
- Xu, G., Chen, H., y Sun, Y. (2018). Slow pyrolysis for biochar production: a review. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 131, 162-168.
- Wang, L., Ok, Y. S., Tsang, D. C. W., Alessi, D. S., Rinklebe, J., Wang, H., Mašek, O., Hou, R., O'Connor, D., y Hou, D. (2020). New trends in biochar pyrolysis and modification strategies: feedstock, pyrolysis conditions, sustainability concerns and implications for soil amendment. In *Soil Use and Management* (Vol. 36, Issue 3, pp. 358–386). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/sum.12592>

## 5.4. Anexos

### Cuidado previo del material vegetativo antes de su utilización



### Preparación de los sustratos, rotulación y trasplante



### Seguimiento del experimento en área de aclimatización



### Estado de las vitroplantas antes de una toma de datos





### Datos para Área Foliar

ETAPA 1		REPETICIONES									
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P
Bc1-Tb0	0.334	0.235	0.17	0.16	0.27	0.04	0.1	0.19	0.24	0.12	<b>0.2</b>
Bc2-Tb4	0.324	0.479	0.32	0.3	0.12	0.14	0.29	0.21	0.36	0.32	<b>0.3</b>
Bc3-Tb3	0.693	0.497	0.38	0.44	0.47	0.16	0.86	0.92	0.72	0.3	<b>0.5</b>
Bc4-Tb2	12.162	5.635	9.79	13.2	18.3	3.29	7.28	14.3	12	10.8	<b>11</b>
Tb1-Bc0	30.007	26.438	30.8	21.3	24.9	20.4	25.3	34.2	16.5	26.7	<b>26</b>

ETAPA 2		REPETICIONES									
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P
Bc1-Tb0	0.49	0.87	0.32	0.16	0.19	0.21	0.11	0.11	0.21	0.28	<b>0.30</b>
Bc2-Tb4	0.63	0.29	0.29	0.13	1.18	0.48	0.41	0.23	0.14	0.27	<b>0.40</b>
Bc3-Tb3	0.81	0.63	0.13	0.28	1.19	0.29	0.24	0.43	0.4	0.37	<b>0.5</b>
Bc4-Tb2	5.02	6.61	9.86	7.61	5.00	10.9	7.17	13.3	9.55	12.8	<b>8.8</b>
Tb1-Bc0	33.7	28.5	32.8	23.3	22.2	24.6	32.2	32.2	29.3	28.6	<b>29</b>

ETAPA 3		REPETICIONES									
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P
Bc1-Tb0	0.18	0.46	0.42	0.33	0.51	0.25	0.37	0.49	0.45	0.37	<b>0.38</b>
Bc2-Tb4	1.18	2.90	1.03	1.74	1.32	2.38	0.62	0.85	2.74	1.32	<b>1.61</b>
Bc3-Tb3	1.26	2.98	1.11	1.82	1.4	2.46	0.7	0.93	2.82	1.4	<b>1.7</b>
Bc4-Tb2	16.1	16.1	16.2	16.5	16.2	16.0	16.1	16.4	16.3	16.3	<b>16</b>
Tb1-Bc0	44.7	27.4	26.9	23.5	49.3	29	46.5	13.9	27.9	45.1	<b>33</b>

### Datos para Longitud de entrenudos

ETAPA 1		REPETICIONES									
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P
Bc1-Tb0	0.39	0.34	0.32	0.35	0.3	0.27	0.27	0.22	0.22	0.37	<b>0.3</b>
Bc2-Tb4	0.81	0.47	0.46	0.3	0.32	0.52	0.56	0.55	0.45	0.43	<b>0.49</b>
Bc3-Tb3	0.65	0.7	0.53	1.2	0.5	0.6	0.5	0.6	0.6	0.5	<b>0.64</b>
Bc4-Tb2	2.04	1.33	1.8	1.2	1	1.2	1.43	1.8	1.4	1.43	<b>1.46</b>
Tb1-Bc0	1.71	1.69	1.31	1.56	1.4	1.93	1.5	1.7	1.29	1.73	<b>1.58</b>

ETAPA 2		REPETICIONES									
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P
Bc1-Tb0	0.41	0.74	0.43	0.41	0.42	0.41	0.41	0.4	0.49	0.42	<b>0.5</b>
Bc2-Tb4	0.7	0.75	0.68	0.6	0.68	0.98	0.58	0.26	0.44	0.5	<b>0.6</b>
Bc3-Tb3	0.5	0.4	3.99	0.45	0.39	0.52	0.33	0.55	0.38	0.58	<b>0.8</b>
Bc4-Tb2	0.97	1.58	1.64	1.37	1.19	1.44	1.97	2.02	1.43	1.88	<b>1.5</b>
Tb1-Bc0	1.6	1.56	1.41	1.43	1.56	1.65	1.97	1.62	1.61	1.63	<b>1.6</b>

ETAPA 3		REPETICIONES									
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P
Bc1-Tb0	0.56	0.42	0.55	0.44	0.67	0.34	0.46	0.42	0.51	0.71	<b>0.51</b>
Bc2-Tb4	0.90	0.20	0.70	0.90	0.45	0.75	0.69	0.41	0.41	0.92	<b>0.63</b>
Bc3-Tb3	1.09	0.39	0.89	1.09	0.64	0.94	0.88	0.6	0.6	1.11	<b>0.82</b>
Bc4-Tb2	1.62	1.67	1.7	1.62	1.72	1.56	1.6	1.73	1.72	1.79	<b>1.67</b>
Tb1-Bc0	2.12	2.08	1.64	1.87	2.06	2.17	2.66	1.67	2.19	2.1	<b>2.06</b>

### Diámetro del tallo

ETAPA 1		REPETICIONES									
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P
Bc1-Tb0	0.08	0.07	0.07	0.08	0.07	0.08	0.08	0.06	0.06	0.05	<b>0.07</b>
Bc2-Tb4	0.12	0.08	0.05	0.06	0.10	0.08	0.06	0.07	0.08	0.07	<b>0.08</b>
Bc3-Tb3	0.09	0.07	0.08	0.12	0.08	0.08	0.12	0.12	0.12	0.09	<b>0.10</b>
Bc4-Tb2	0.12	0.15	0.11	0.12	0.12	0.11	0.1	0.12	0.13	0.11	<b>0.12</b>
Tb1-Bc0	0.13	0.11	0.11	0.15	0.12	0.18	0.18	0.18	0.14	0.14	<b>0.14</b>

ETAPA 2		REPETICIONES									
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P
Bc1-Tb0	0.11	0.12	0.06	0.1	0.08	0.1	0.06	0.06	0.11	0.05	<b>0.08</b>
Bc2-Tb4	0.13	0.11	0.07	0.12	0.12	0.14	0.12	0.08	0.09	0.09	<b>0.11</b>
Bc3-Tb3	0.12	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.18	0.18	0.14	0.15	<b>0.15</b>
Bc4-Tb2	1.14	0.11	0.09	0.08	0.16	0.14	0.09	0.1	0.13	0.08	<b>0.21</b>
Tb1-Bc0	0.2	0.18	0.16	0.2	0.23	0.23	0.3	0.24	0.18	0.19	<b>0.21</b>

ETAPA 3		REPETICIONES									
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P
Bc1-Tb0	0.29	0.17	0.05	0.03	0.09	0.03	0.03	0.12	0.03	0.15	<b>0.098</b>
Bc2-Tb4	0.11	0.05	0.13	0.07	0.14	0.19	0.01	0.14	0.23	0.22	<b>0.128</b>
Bc3-Tb3	0.22	0.18	0.12	0.2	0.19	0.22	0.19	0.12	0.15	0.14	<b>0.173</b>
Bc4-Tb2	0.23	0.1	0.11	0.09	0.17	0.17	0.33	0.32	0.42	0.17	<b>0.211</b>
Tb1-Bc0	0.26	0.27	0.3	0.19	0.17	0.19	0.24	0.26	0.25	0.26	<b>0.237</b>

### Número de entrenudos

ETAPA 1		REPETICIONES									
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P
Bc1-Tb0	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1.8
Bc2-Tb4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.0
Bc3-Tb3	2	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2.3
Bc4-Tb2	5	3	5	5	4	5	7	6	6	7	5.3
Tb1-Bc0	8	10	10	9	9	8	8	10	7	9	8.8

ETAPA 2		REPETICIONES									
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P
Bc1-Tb0	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3.2
Bc2-Tb4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4.0
Bc3-Tb3	4	3	4	5	5	4	4	6	5	4	4.4
Bc4-Tb2	7	7	8	9	8	8	7	7	9	8	7.8
Tb1-Bc0	12	12	12	12	12	11	12	11	10	10	11.4

ETAPA 3		REPETICIONES									
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P
Bc1-Tb0	4	4	4	3.62	4	4	4	4	4	4	3.7
Bc2-Tb4	4	8	6	7	7	6	6	7	8	7	6.6
Bc3-Tb3	7	8	7	7	7	6	6	7	8	7	7.0
Bc4-Tb2	9	9	9	8.73	9	9	9	9	9	9	8.7
Tb1-Bc0	13	11	13	13	12	12	12	12	12	12	12.2

### Número de raíces

ETAPA 1		REPETICIONES									
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P
Bc1-Tb0	3	1	3	5	2	3	3	3	2	4	<b>2.9</b>
Bc2-Tb4	1	4	4	3	3	4	3	2	4	5	<b>3.3</b>
Bc3-Tb3	7	4	4	4	4	4	6	6	5	4	<b>4.8</b>
Bc4-Tb2	10	12	10	12	12	10	11	11	12	10	<b>11</b>
Tb1-Bc0	16	16	14	15	16	16	15	14	16	16	<b>15.4</b>

ETAPA 2		REPETICIONES									
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P
Bc1-Tb0	3	4	3	3	3	4	4	5	6	4	<b>4</b>
Bc2-Tb4	6	4	4	5	4	5	5	4	4	4	<b>5</b>
Bc3-Tb3	6	5	6	4	4	5	7	6	6	8	<b>6</b>
Bc4-Tb2	12	13	13	16	16	19	18	18	19	18	<b>16</b>
Tb1-Bc0	29	33	32	30	31	33	30	33	32	31	<b>31</b>

ETAPA 3		REPETICIONES									
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P
Bc1-Tb0	5	5	4	5	4	5	5	4	4	4	<b>5</b>
Bc2-Tb4	6	6	5	6	7	5	6	7	8	8	<b>6</b>
Bc3-Tb3	6	7	6	6	7	6	6	7	8	8	<b>7</b>
Bc4-Tb2	14	14	16	16	16	19	18	18	19	18	<b>17</b>
Tb1-Bc0	33	33	32	30	31	33	31	33	32	32	<b>32</b>

### Volumen de raíces

ETAPA 1		REPETICIONES									
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P
Bc1-Tb0	0.015	0.007	0.009	0.007	0.010	0.008	0.004	0.009	0.008	0.018	<b>0.009</b>
Bc2-Tb4	0.012	0.016	0.027	0.009	0.003	0.014	0.006	0.005	0.003	0.011	<b>0.011</b>
Bc3-Tb3	0.010	0.013	0.010	0.011	0.022	0.011	0.015	0.002	0.011	0.011	<b>0.012</b>
Bc4-Tb2	0.679	0.867	0.903	0.989	0.779	0.058	0.901	0.895	1.131	1.303	<b>0.850</b>
Tb1-Bc0	2.034	3.150	1.927	3.415	2.514	0.918	1.743	1.262	2.901	2.204	<b>2.207</b>

ETAPA 2		REPETICIONES									
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10.000	P
Bc1-Tb0	0.295	0.417	0.304	0.263	1.022	0.498	0.414	0.353	0.809	0.460	<b>0.483</b>
Bc2-Tb4	0.466	0.082	0.448	0.538	1.004	0.930	1.416	0.070	0.877	0.585	<b>0.641</b>
Bc3-Tb3	0.082	1.205	1.029	1.368	0.782	0.574	1.106	0.460	0.543	0.461	<b>0.761</b>
Bc4-Tb2	0.573	1.402	2.644	1.108	1.270	1.515	1.248	0.083	0.679	0.399	<b>1.092</b>
Tb1-Bc0	6.728	8.166	12.929	8.157	5.541	5.815	9.326	7.084	1.949	6.112	<b>7.181</b>

ETAPA 3		REPETICIONES									
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P
Bc1-Tb0	0.812	0.569	0.636	0.719	0.544	0.590	0.630	0.492	0.443	0.644	<b>0.608</b>
Bc2-Tb4	0.851	0.838	0.720	0.623	0.720	0.587	0.746	0.837	0.834	0.804	<b>0.756</b>
Bc3-Tb3	0.989	1.036	0.911	0.899	0.820	0.946	0.963	0.860	0.922	0.755	<b>0.910</b>
Bc4-Tb2	1.393	1.462	1.317	1.357	1.455	1.187	1.250	1.070	1.122	1.265	<b>1.288</b>
Tb1-Bc0	8.482	8.550	8.515	8.806	8.551	8.708	8.744	8.544	8.601	8.684	<b>8.618</b>

### Longitud radicular

ETAPA 1		REPETICIONES									
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P
Bc1-Tb0	1.73	1.81	1.90	1.83	1.47	1.45	2.12	0.94	2.09	0.65	<b>1.60</b>
Bc2-Tb4	2.40	3.79	1.74	2.22	1.45	1.37	1.92	1.32	1.52	2.52	<b>2.02</b>
Bc3-Tb3	2.33	1.75	2.22	3.24	1.35	2.52	2.10	3.63	3.82	2.32	<b>2.53</b>
Bc4-Tb2	14.63	15.13	15.4	11.43	15.98	14.58	11.98	15.38	10.36	11.61	<b>13.65</b>
Tb1-Bc0	10.6	11.87	10.71	11.06	10.36	10.96	9.834	13.82	10.33	11.9	<b>11.14</b>

ETAPA 2		REPETICIONES									
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P
Bc1-Tb0	3.36	2.49	1.72	1.32	2.30	1.98	1.91	1.55	1.85	1.65	<b>2.01</b>
Bc2-Tb4	3.80	1.68	2.74	2.98	1.87	2.43	1.95	1.74	3.22	2.83	<b>2.52</b>
Bc3-Tb3	1.93	5.39	3.36	1.51	1.37	3.68	1.98	2.52	2.99	2.17	<b>2.69</b>
Bc4-Tb2	21.6	11.19	13.95	16.71	14.72	19.36	12.52	12.17	15.2	12.48	<b>14.99</b>
Tb1-Bc0	11.72	11.43	11.27	11.46	11.63	11.9	12.62	11.1	11.61	12.36	<b>11.71</b>

ETAPA 3		REPETICIONES									
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P
Bc1-Tb0	2.5	2.7	2.6	2.8	2.8	2.6	2.6	2.7	2.7	2.7	<b>2.67</b>
Bc2-Tb4	6.30	1.69	2.09	5.76	4.50	6.05	6.11	2.63	3.03	4.54	<b>4.27</b>
Bc3-Tb3	4.5	4.7	4.4	4.7	4.7	4.6	4.6	4.4	4.5	4.6	<b>4.58</b>
Bc4-Tb2	15.44	15.39	15.38	15.23	15.28	15.40	15.30	15.44	15.26	15.42	<b>15.35</b>
Tb1-Bc0	14.43	17.23	10.47	18.74	15.61	26.1	18.65	15.4	15.1	13.48	<b>16.52</b>

### Masa fresca

ETAPA 1		REPETICIONES									
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P
Bc1-Tb0	0.04	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01	0.03	0.02	0.05	<b>0.026</b>
Bc2-Tb4	0.03	0.04	0.07	0.02	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01	0.03	<b>0.029</b>
Bc3-Tb3	0.03	0.04	0.03	0.03	0.06	0.03	0.04	0.01	0.03	0.03	<b>0.032</b>
Bc4-Tb2	0.57	1.40	2.64	1.11	1.27	1.51	1.25	0.08	0.68	0.40	<b>1.092</b>
Tb1-Bc0	5.52	8.54	5.23	9.26	6.82	2.49	4.73	3.42	7.87	5.98	<b>5.987</b>

ETAPA 2		REPETICIONES									
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P
Bc1-Tb0	0.30	0.42	0.30	0.26	1.02	0.50	0.41	0.35	0.81	0.46	<b>0.483</b>
Bc2-Tb4	0.09	0.37	0.85	0.03	0.55	0.08	0.62	0.99	0.64	1.86	<b>0.607</b>
Bc3-Tb3	0.39	0.6	0.38	1.2	0.18	1.46	0.74	0.37	0.66	0.58	<b>0.656</b>
Bc4-Tb2	4.72	1.58	0.81	2.82	0.96	0.9	1.66	3.11	2.23	1.56	<b>2.036</b>
Tb1-Bc0	6.73	8.17	12.9	8.16	5.54	5.82	9.33	7.08	1.95	6.11	<b>7.181</b>

ETAPA 3		REPETICIONES										P
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Bc1-Tb0	0.31	0.66	0.44	0.44	0.83	0.81	0.58	0.12	0.3	0.62	<b>0.509</b>	
Bc2-Tb4	0.47	0.08	0.45	0.54	1.00	0.93	1.42	0.07	0.88	0.58	<b>0.641</b>	
Bc3-Tb3	0.08	1.21	1.03	1.37	0.78	0.57	1.11	0.46	0.54	0.46	<b>0.761</b>	
Bc4-Tb2	1.84	2.35	2.45	2.68	2.11	0.16	2.44	2.43	3.07	3.54	<b>2.307</b>	
Tb1-Bc0	10.5	11.1	11.4	9.54	9.31	9.81	9.36	9.61	10.3	11.1	<b>10.200</b>	

**Masa seca**

ETAPA 1		REPETICIONES										P
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Bc1-Tb0	0.032	0.015	0.020	0.016	0.021	0.017	0.009	0.020	0.018	0.038	<b>0.021</b>	
Bc2-Tb4	0.026	0.034	0.059	0.019	0.006	0.031	0.012	0.010	0.007	0.024	<b>0.023</b>	
Bc3-Tb3	0.021	0.028	0.022	0.024	0.049	0.024	0.032	0.005	0.024	0.024	<b>0.025</b>	
Bc4-Tb2	1.473	1.882	1.959	2.146	1.690	0.127	1.955	1.943	2.455	2.828	<b>1.846</b>	
Tb1-Bc0	4.415	6.835	4.183	7.411	5.456	1.992	3.783	2.739	6.295	4.784	<b>4.789</b>	

ETAPA 2		REPETICIONES										P
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Bc1-Tb0	0.249	0.525	0.348	0.350	0.660	0.648	0.462	0.093	0.237	0.496	<b>0.407</b>	
Bc2-Tb4	0.062	0.552	0.364	0.491	2.179	2.520	1.495	0.069	0.506	2.461	<b>1.070</b>	
Bc3-Tb3	0.249	1.051	1.045	1.402	3.301	3.889	3.235	0.741	2.133	4.961	<b>2.201</b>	
Bc4-Tb2	0.015	0.580	0.380	0.689	7.195	9.801	4.835	0.051	1.079	12.21	<b>3.683</b>	
Tb1-Bc0	0.001	0.320	0.138	0.338	15.68	24.70	7.227	0.004	0.546	30.04	<b>7.900</b>	

ETAPA 3		REPETICIONES										P
Tratamientos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Bc1-Tb0	0.249	0.525	0.348	0.350	0.660	0.648	0.462	0.093	0.237	0.496	<b>0.407</b>	
Bc2-Tb4	0.373	0.065	0.358	0.430	0.803	0.744	1.133	0.056	0.702	0.468	<b>0.513</b>	
Bc3-Tb3	0.066	0.964	0.823	1.094	0.626	0.459	0.885	0.368	0.434	0.369	<b>0.609</b>	
Bc4-Tb2	1.473	1.882	1.959	2.146	1.690	0.127	1.955	1.943	2.455	2.828	<b>1.846</b>	
Tb1-Bc0	8.408	8.886	9.156	7.630	7.451	7.851	7.485	7.686	8.207	8.843	<b>8.160</b>	

**Análisis de varianza****Área foliar***Análisis de varianza para el área foliar en la Etapa I*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	4934.0	1233.50	129.82	0.000
Error	45	427.6	9.50		
Total	49	5361.6			

*Análisis de varianza para el área foliar en la Etapa II*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	6045.4	1511.34	287.17	0.000
Error	45	236.8	5.26		
Total	49	6282.2			

*Análisis de varianza para el área foliar en la Etapa III*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	8171	2042.79	70.39	0.000
Error	45	1306	29.02		
Total	49	9477			

**Análisis de varianza****Longitud entrenudos***Análisis de varianza para longitud de entrenudos en la Etapa I*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	13.751	3.43780	80.16	0.000
Error	45	1.930	0.04289		
Total	49	15.681			

*Análisis de varianza para longitud de entrenudos en la Etapa II*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	11.49	2.8719	9.95	0.000
Error	45	12.99	0.2887		
Total	49	24.48			

*Análisis de varianza para longitud de entrenudos en la Etapa III*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	18.804	4.70106	102.34	0.000
Error	45	2.067	0.04593		
Total	49	20.871			

### **Análisis de varianza**

#### **Diámetro de tallo**

##### *Análisis de varianza para diámetro del tallo en la Etapa I*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	0.03693	0.009232	22.47	0.000
Error	45	0.01849	0.000411		
Total	49	0.05542			

##### *Análisis de varianza para diámetro de tallo en la Etapa II*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	0.1364	0.03409	1.54	0.207
Error	45	0.9977	0.02217		
Total	49	1.1341			

##### *Análisis de varianza para diámetro de tallo en la Etapa III*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	0.1305	0.032625	5.83	0.001
Error	45	0.2516	0.005592		
Total	49	0.3821			

### **Análisis de varianza**

#### **Número de raíces**

##### *Análisis de varianza para número de raíces en la Etapa III*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	390.73	97.6822	218.23	0.000
Error	45	20.14	0.4476		
Total	49	410.87			

##### *Análisis de varianza para número de raíces en la Etapa II*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	5549.7	1387.43	570.18	0.000
Error	45	109.5	2.43		
Total	49	5659.2			

##### *Análisis de varianza para número de raíces en la Etapa III*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	5305.48	1326.37	984.93	0.000
Error	45	60.60	1.35		
Total	49	5366.08			

**Análisis de varianza****Volumen de raíces***Prueba de varianza para volumen (cc) de raíces en la Etapa I*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	36.854	9.2136	61.21	0.000
Error	45	6.774	0.1505		
Total	49	43.628			

*Análisis de varianza para volumen de raíces (cc) en la Etapa II*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	333.39	83.348	46.23	0.000
Error	45	81.14	1.803		
Total	49	414.53			

*Análisis de varianza para volumen (cc) de raíces en la Etapa III*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	480.342	120.085	10526.80	0.000
Error	45	0.513	0.011		
Total	49	480.855			

**Análisis de varianza****Longitud radicular***Análisis de varianza para longitud radicular (cm) de raíces en la Etapa I*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	1320.01	330.003	235.89	0.000
Error	45	62.95	1.399		
Total	49	1382.97			

*Análisis de varianza para longitud radicular (cm) en la Etapa II*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	1492.8	373.208	134.69	0.000
Error	45	124.7	2.771		
Total	49	1617.5			

*Análisis de varianza para longitud radicular (cm) de raíces en la Etapa III*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	1784.1	446.032	108.51	0.000
Error	45	185.0	4.110		
Total	49	1969.1			

**Análisis de varianza****Masa fresca***Prueba de varianza para masa fresca (g) en la Etapa I*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	267.68	66.921	63.57	0.000
Error	45	47.37	1.053		
Total	49	315.05			

*Análisis de varianza para masa fresca (g) en la Etapa II*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	327.02	81.756	40.40	0.000
Error	45	91.06	2.023		
Total	49	418.08			

*Análisis de varianza para masa fresca (g) en la Etapa III*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	690.38	172.595	475.20	0.000
Error	45	16.34	0.363		
Total	49	706.72			

**Análisis de varianza****Masa seca***Prueba de varianza para masa seca (g) en la Etapa I*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	173.58	43.3938	61.21	0.000
Error	45	31.90	0.7089		
Total	49	205.48			

*Análisis de varianza para masa seca (g) en la Etapa II*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	355.5	88.88	2.85	0.035
Error	45	1405.2	31.23		
Total	49	1760.8			

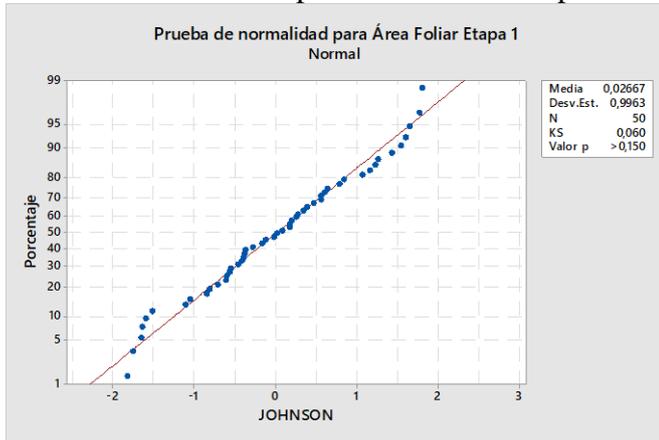
*Análisis de varianza para masa seca (g) en la Etapa III*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	4	441.84	110.461	475.20	0.000
Error	45	10.46	0.232		
Total	49	452.30			

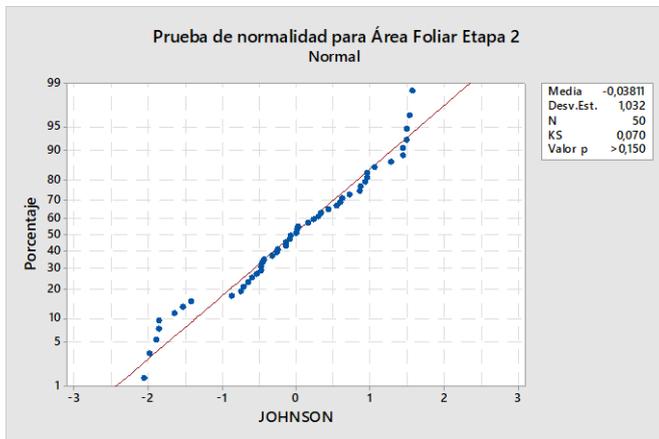
## Pruebas de normalidad

### Área foliar

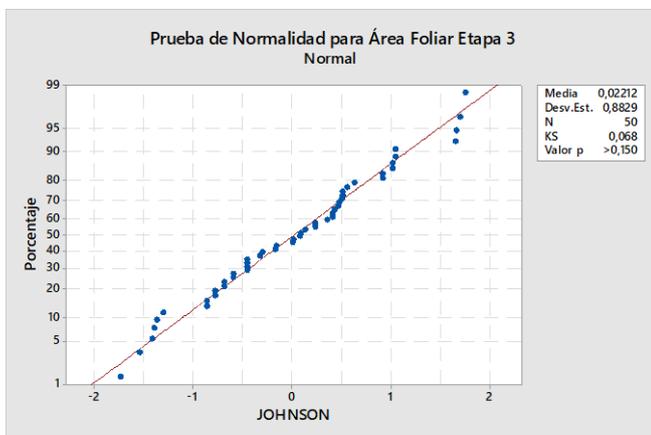
#### Prueba de normalidad para Área Foliar Etapa 1



#### Prueba de normalidad para Área Foliar Etapa 2

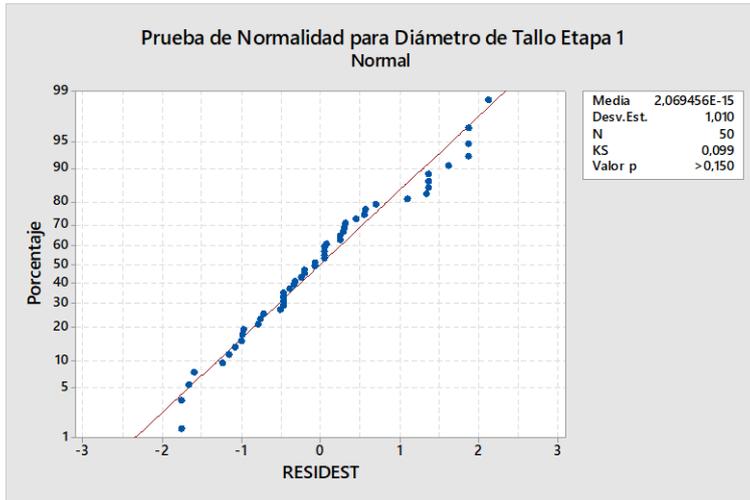


#### Prueba de Normalidad para Área Foliar Etapa 3

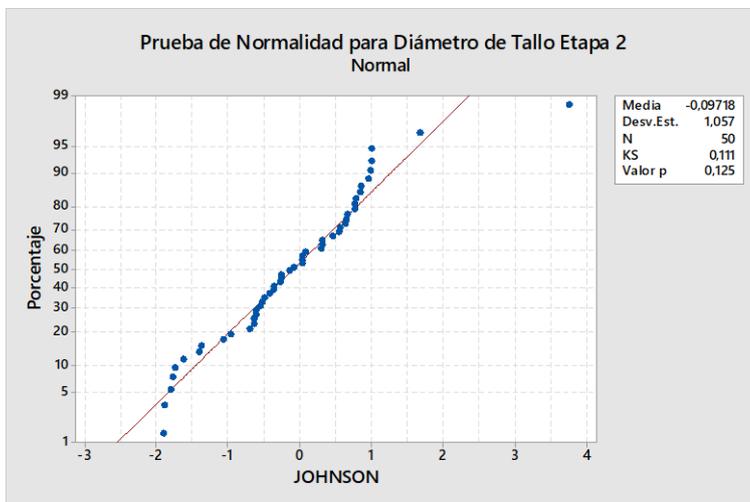


## Pruebas de normalidad

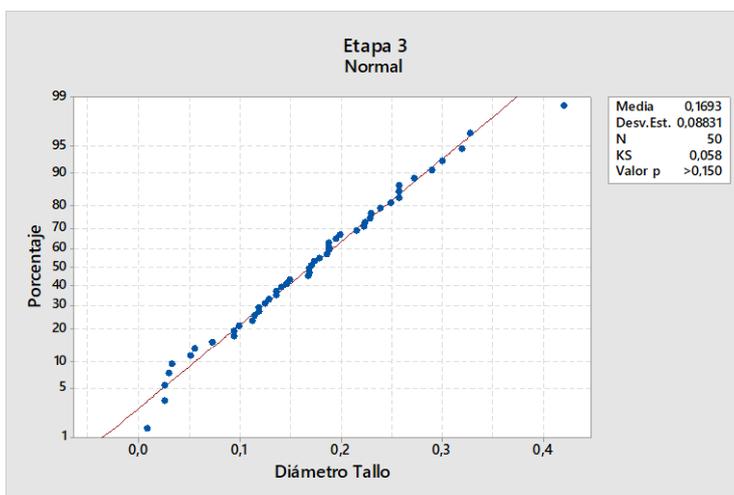
### Prueba de Normalidad para Diámetro de Tallo Etapa 1



### Prueba de Normalidad para Diámetro de Tallo Etapa 2

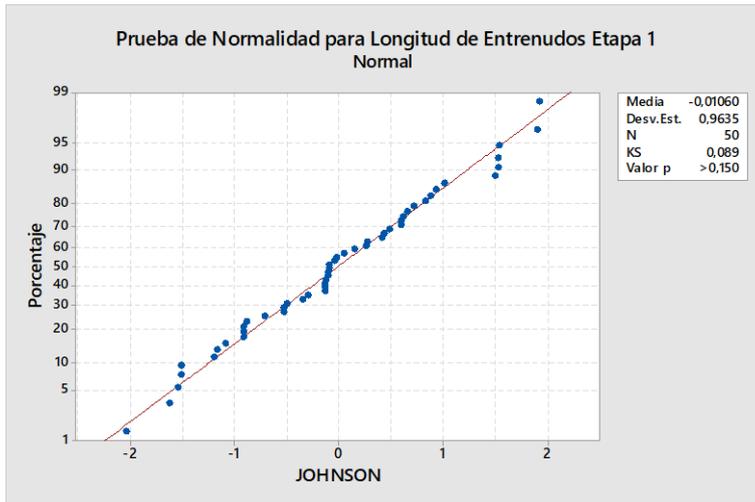


### Prueba de Normalidad para Diámetro de Tallo Etapa 3

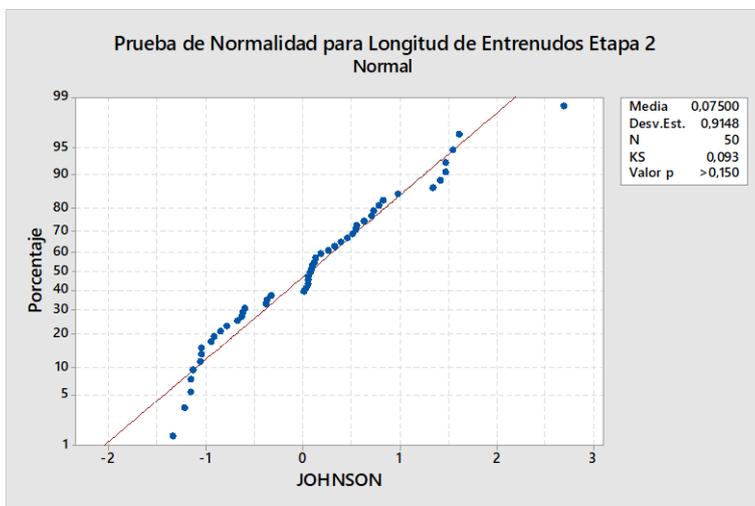


## Pruebas de normalidad

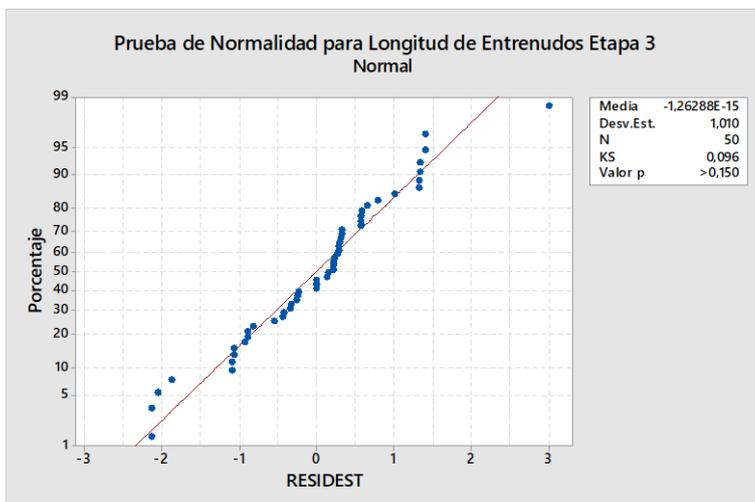
### Prueba de Normalidad para Longitud de Entrenudos Etapa 1



### Prueba de Normalidad para Longitud de Entrenudos Etapa 2

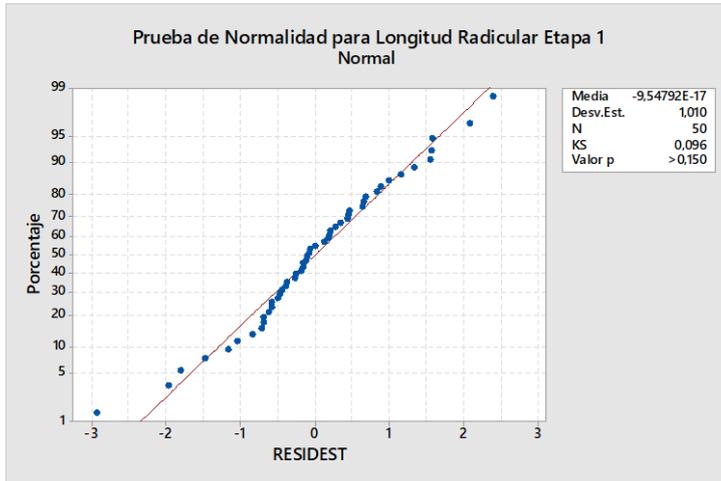


### Prueba de Normalidad para Longitud de Entrenudos Etapa 3

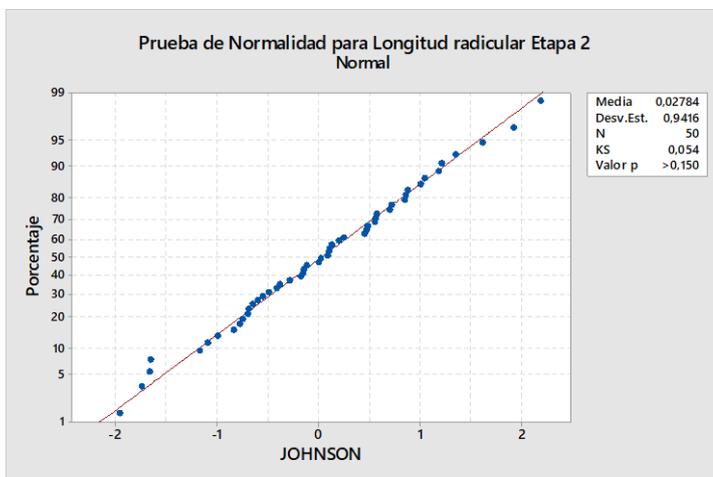


## Pruebas de normalidad

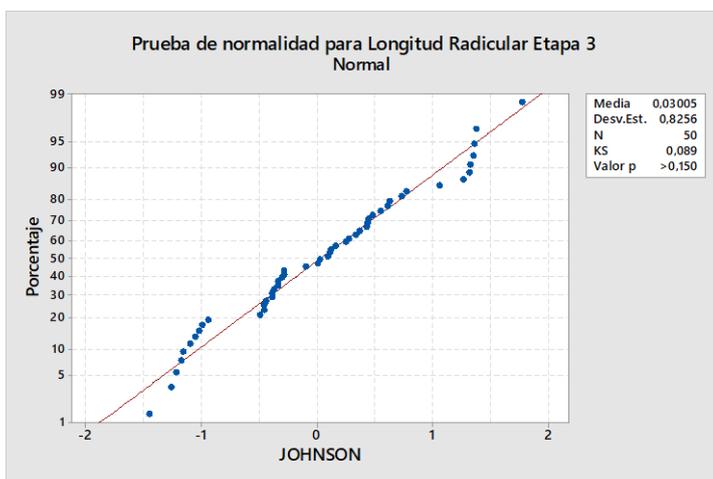
### Prueba de Normalidad para Longitud Radicular Etapa 1



### Prueba de Normalidad para Longitud radicular Etapa 2

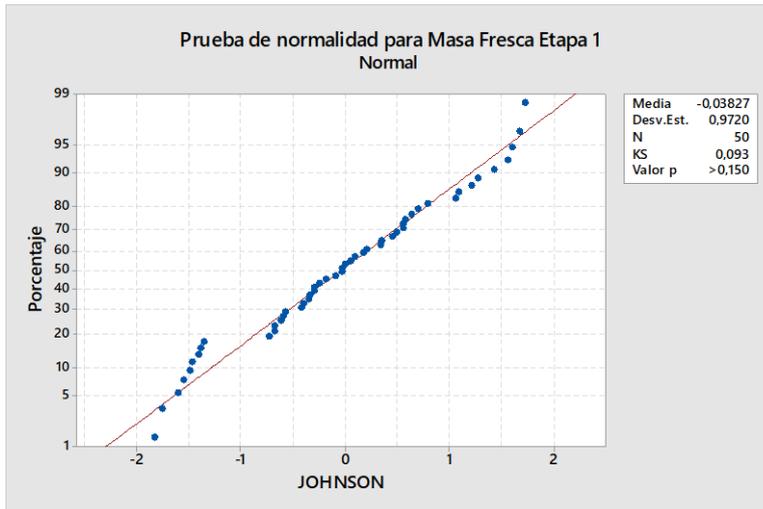


### Prueba de normalidad para Longitud Radicular Etapa 3

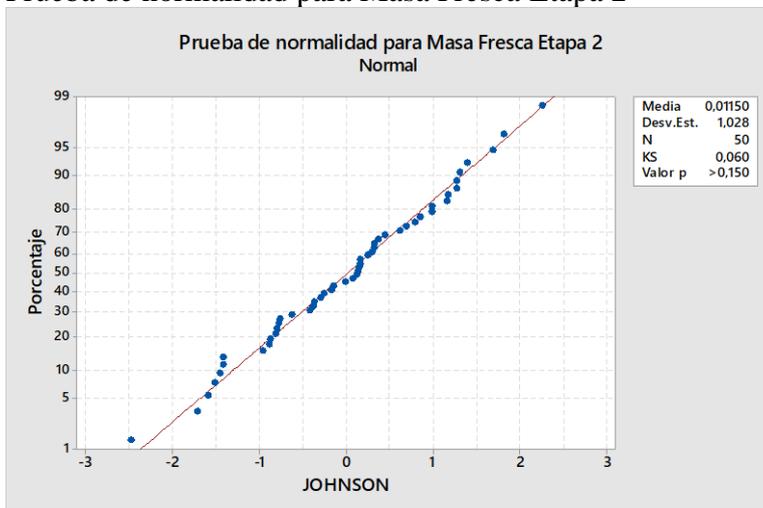


## Pruebas de normalidad

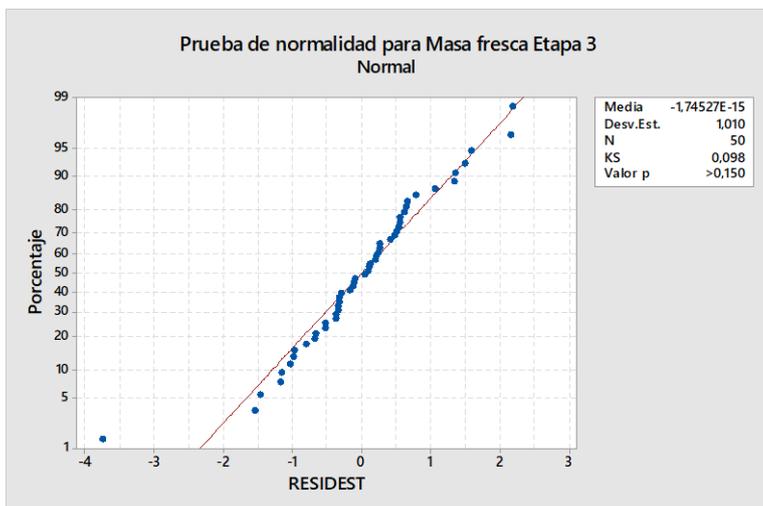
### Prueba de normalidad para Masa Fresca Etapa 1



### Prueba de normalidad para Masa Fresca Etapa 2

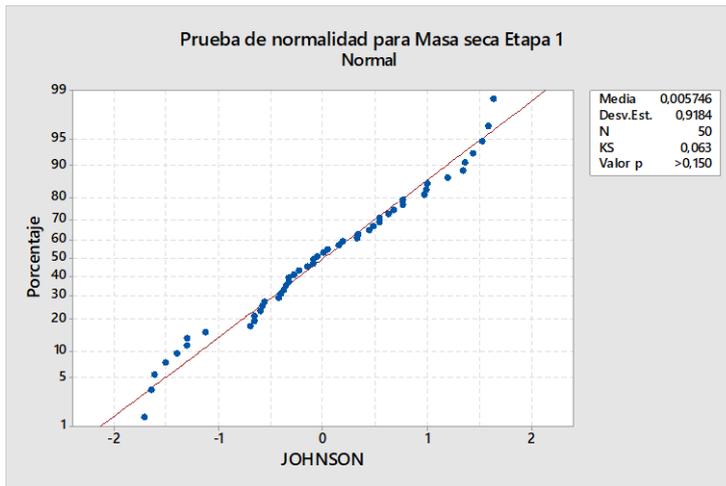


### Prueba de normalidad para Masa fresca Etapa 3

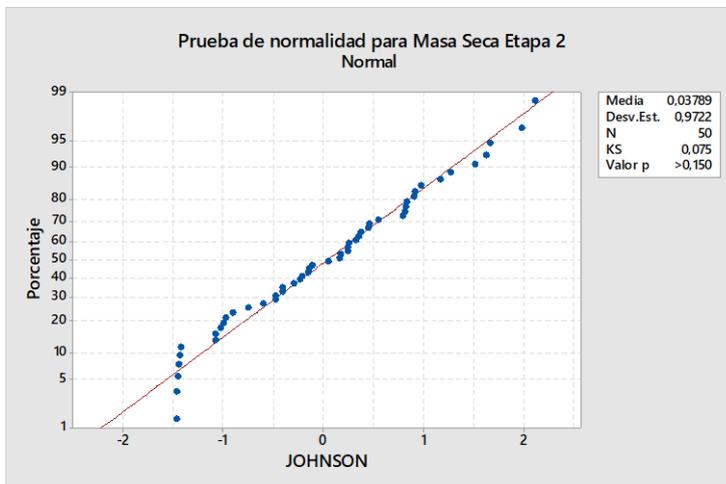


## Pruebas de normalidad

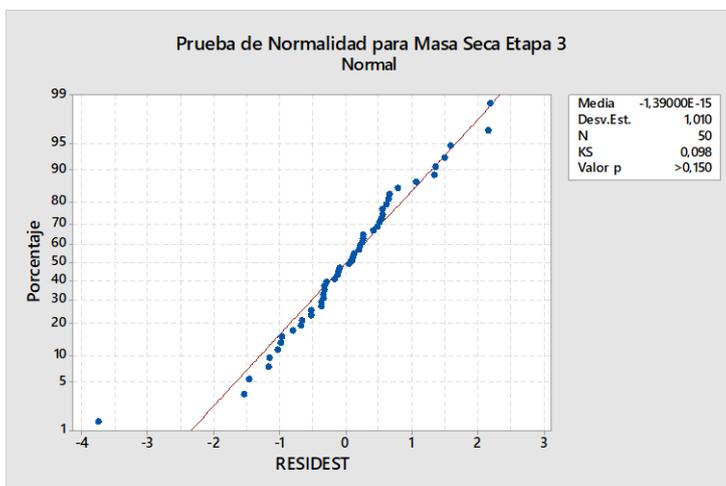
### Prueba de normalidad para Masa seca Etapa 1



### Prueba de normalidad para Masa Seca Etapa 2

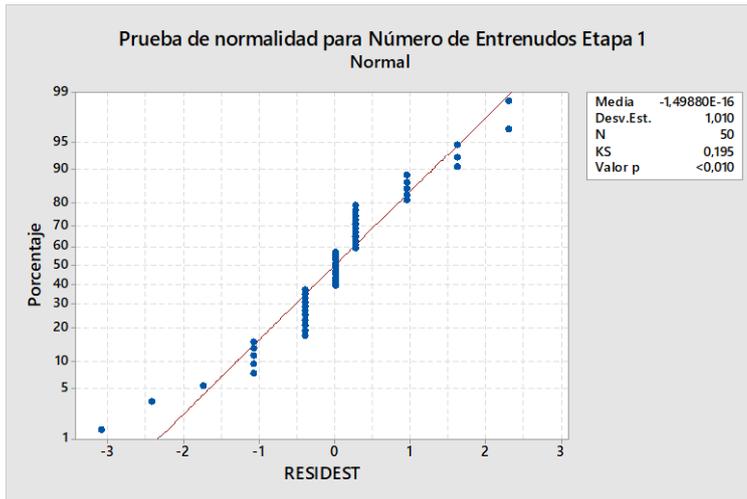


### Prueba de Normalidad para Masa Seca Etapa 3

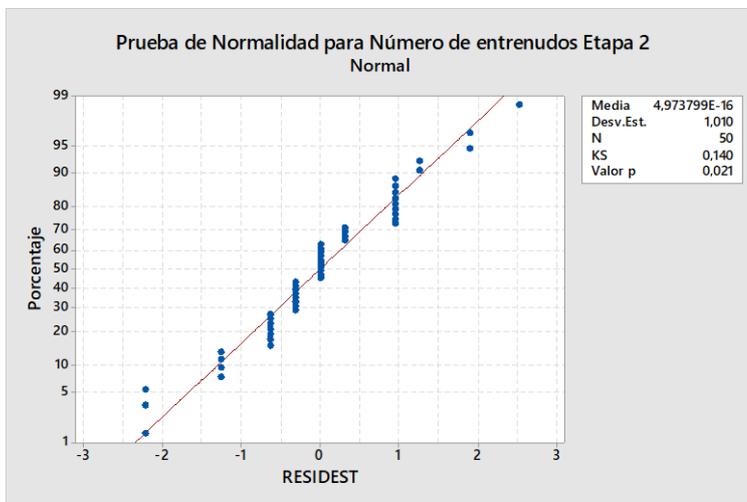


## Pruebas de normalidad

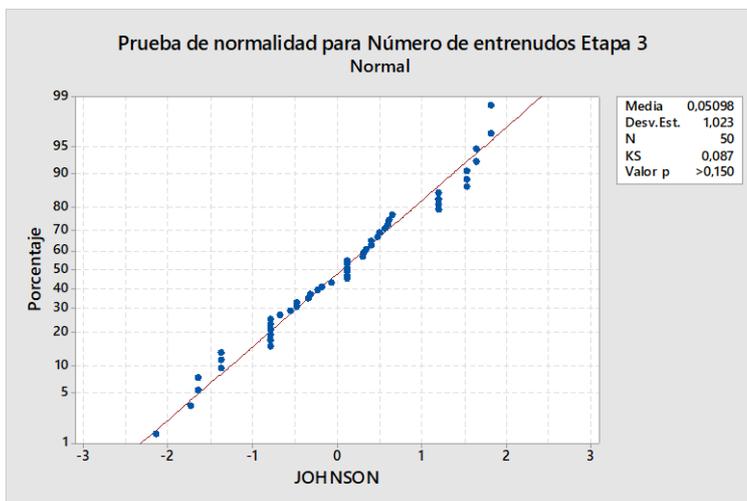
### Prueba de normalidad para Número de Entrenados Etapa 1



### Prueba de Normalidad para Número de entrenados Etapa 2

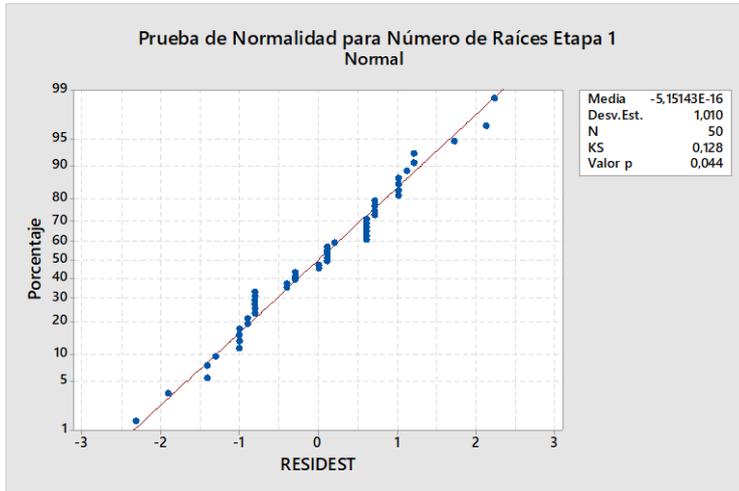


### Prueba de normalidad para Número de entrenados Etapa 3

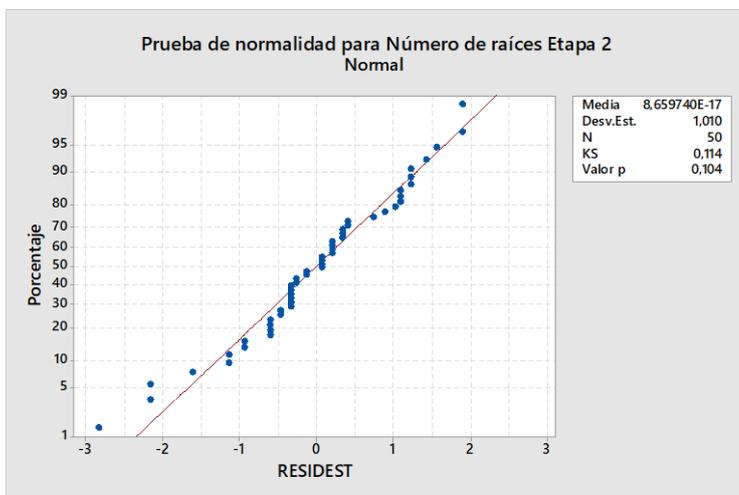


## Pruebas de normalidad

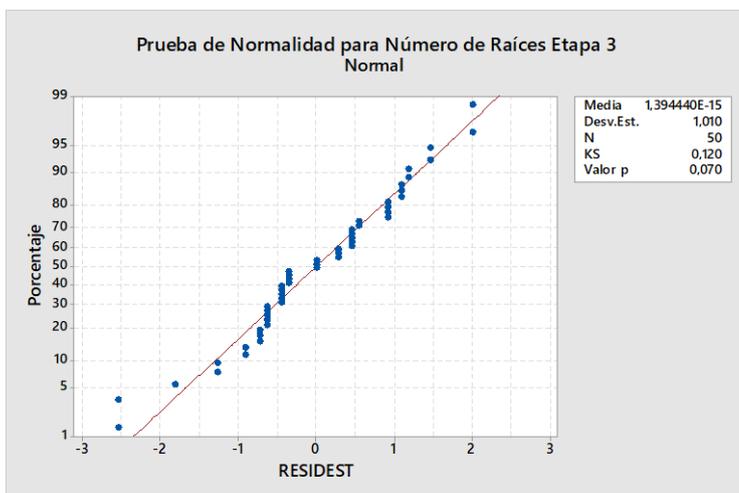
### Prueba de Normalidad para Número de Raíces Etapa 1



### Prueba de normalidad para Número de raíces Etapa 2

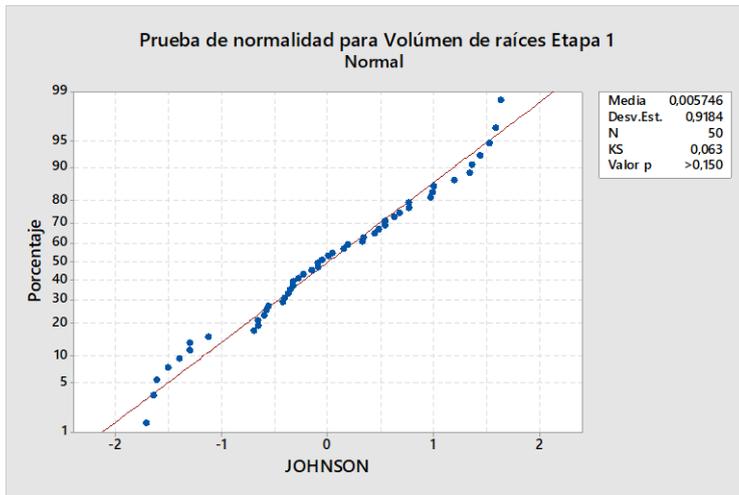


### Prueba de Normalidad para Número de Raíces Etapa 3

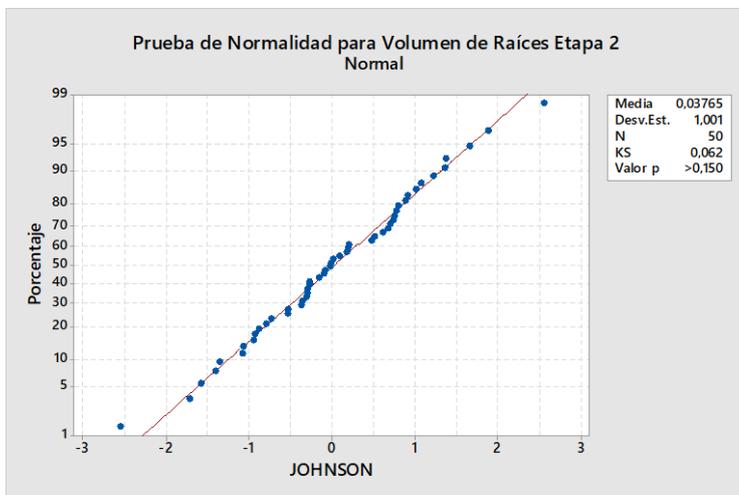


## Pruebas de normalidad

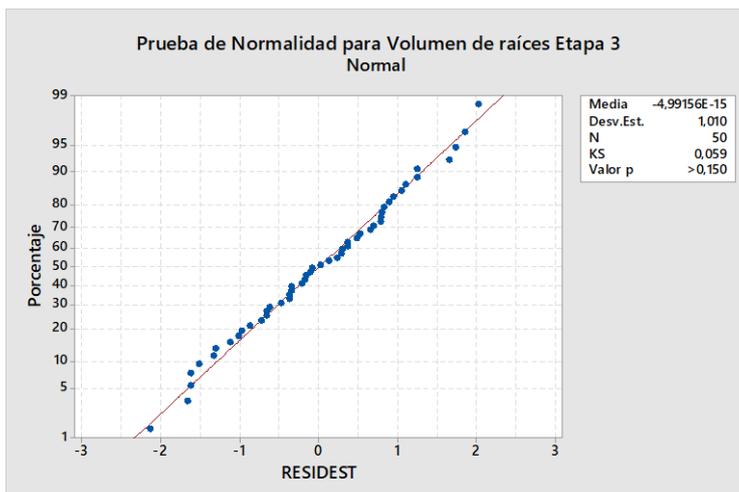
### Prueba de normalidad para Volumen de raíces Etapa 1



### Prueba de Normalidad para Volumen de Raíces Etapa 2



### Prueba de Normalidad para Volumen de raíces Etapa 3



## Análisis foliar



Trabajamos bajo la Norma ISO 17025

AgrarprojeKT S.A.  
 Urb. El Condado, Calle V #941 y Av. A, Quito  
 Tel: 02-2490575/02-2492148/0984-034148  
 info@agrarprojeKT.com  
 www.agrarprojeKT.com

### INFORME: ANÁLISIS FOLIAR

PT0901.REV01

Pág 1/2

Código AgrarprojeKT:	SAM-281123	Informe de Ensayo N°	2031
Fecha de Recepción:	28-11-23	Fecha de Informe:	12-12-23

DATOS DEL CLIENTE			
Cliente:	Santiago Alberto Mayorga Romero		
Solicitado por:	Santiago Alberto Mayorga Romero		
Ubicación:	Ambato	Teléfono:	0995514810

PROCESO DE ANÁLISIS
<p>Método utilizado para la preparación de la muestra ("Método Incineración Seca"):                      Secamiento de las hojas → Desmenuzación ("40 mesh") → Incineración Seca → Dilución en "Agua Regia"                      Proceso según "G. Bryson. 2014. Plant Analysis Handbook III. 571 pp."</p>

MÉTODOS DE REFERENCIA UTILIZADOS	
PARÁMETROS	MÉTODO
Nitrógeno Total Kjeldahl (N-Total)	AOAC 978.04
Fósforo (P)	SM 4500-P C
Potasio (K)	SM 3500-K B / AOAC 975.03
Magnesio (Mg)	AOAC 975.03
Calcio (Ca)	AOAC 975.03
Azufre (S)	AOAC 923.01
Sodio (Na)	SM 3500-Na B
Hierro (Fe)	AOAC 975.03
Manganeso (Mn)	AOAC 975.03
Cobre (Cu)	AOAC 975.03
Zinc (Zn)	AOAC 975.03
Boro (B)	AOAC 982.01
Molibdeno (Mo)	EPA 7010
Silicio (Si)	EPA 7010
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	SM 4500-Cl G / SM 4500-Cl D Método Potenciométrico
% Materia Seca	AOAC 930.04

## RESULTADOS

Código Agrarprojekt: SAM-281123

Pág 2/2

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS					
Información Adicional:	Var. Super Chola Vitroplantas Solanum Tuberculum				
Tipo de Muestra:	Plántulas (Raíz + Tallos + Hojas)				
Cultivo:	Papas				
Número de Muestra:	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5
Información Proporcionada por el Cliente:	M1-100% Biocarbano	M2-80% Biocarbano-20% Turba Rubia	M2-80% Biocarbano-20% Turba Rubia	M4-20% Biocarbano-80% Turba Rubia	M5-100% Turba Rubia

Contenido de macro- y microelementos en Materia Seca (macroelementos en %, microelementos en ppm equivalente a mg/kg o µm/g)

Análisis	Unidad	*Valores considerados como "Normal" para Usos de Papas en Producción	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Nitrógeno Total (N)	%	4,00 – 6,00	1,57	1,38	1,34	1,23	1,36
Fósforo (P)	%	0,25 – 0,50	0,29	0,31	0,30	0,39	0,20
Potasio (K)	%	4,00 – 7,00	1,48	1,47	1,79	2,43	1,03
Magnesio (Mg)	%	0,50 – 1,00	0,94	0,98	1,18	0,82	0,80
Calcio (Ca)	%	0,75 – 1,50	1,38	1,41	1,82	2,29	0,97
Azufre (S)	%	0,30 - 0,50	0,68	0,53	0,54	0,70	0,57
Sodio (Na)	%	0,02 - 0,10	0,05	0,06	0,08	0,14	0,06
Hierro (Fe)	ppm	70 – 150	106	122	195	65,0	70,4
Manganeso (Mn)	ppm	50 – 300	289	294	250	66,4	304
Cobre (Cu)	ppm	6 – 20	9,3	13,5	13,2	11,4	9,5
Zinc (Zn)	ppm	40 – 150	29,9	35,3	40,8	50,8	33,0
Boro (B)	ppm	25 – 50	88,8	104	119	74,4	86,0

\* Fuente: G. Bryson. 2014. Plant Analysis Handbook III, 371 pp.

\* Hojas jóvenes que han alcanzado su tamaño final; Estado fenológico: inicio de floración; Análisis de hojas sin pecíolo

- = No Aplica

Nota: - Los datos y resultados están basados en la información y muestras entregadas por el cliente para quien se ha realizado este informe de manera exclusiva y confidencial.

- La fecha de ensayo y los métodos utilizados están a disposición del cliente cuando lo requiera.
- El Laboratorio no realizó el muestreo por lo tanto no certifica el origen de las muestras.
- Prohibida la reproducción total o parcial de los resultados. No procede copia.

*Karl Sponagel*

Agrarprojekt S.A.  
 Dr. Karl Sponagel  
 Director del Laboratorio

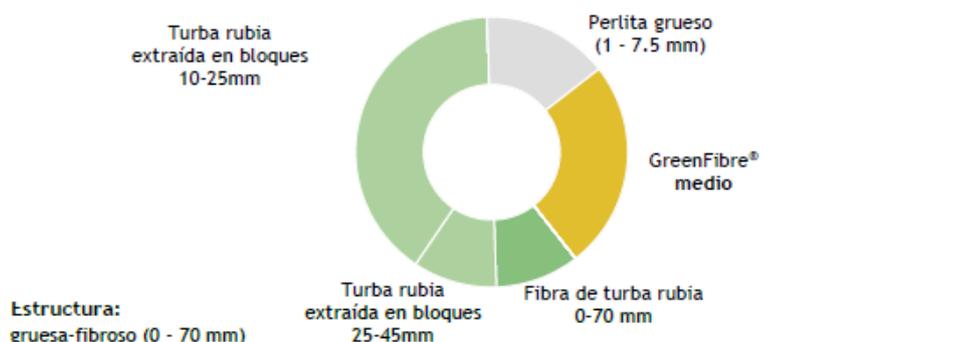
## Turba rubia



### TS 4

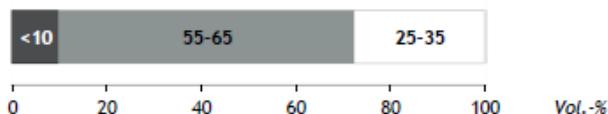
'Blueberry' with perlite + GreenFibre®

**Composición:** 40% constituyentes alternativos **Rec. U55**



Propiedades químicas: (según VDLUFA)		Nutrientes añadidos:	
Valor pH (H <sub>2</sub> O, v/v 1:2.5):	4.8	Nitrógeno (mg N/l):	36
Salinidad (g/l, v/v 1:3.6):	0.3	Fósforo (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /l):	42
+ extra de microelementos		Potasio (mg K <sub>2</sub> O/l):	72
		Magnesio (mg Mg/l):	100
		con todos los microelementos necesarios hierro en forma de quelato EDTA	

**Propiedades físicas:**  
(según EN 13 041)



**Macetas:** 25 - 100 L **Recomendaciones de uso:** **Cultivos:** Arándanos



Sustrato grueso para macetas para la producción de arándanos en sistemas de contenedores. Gran estabilidad estructural y óptima relación entre capacidad de agua y aire. GreenFibre® y perlita garantizan además una capacidad de aire y un drenaje estables. Incluye el agente humectante Hydro-S.

Klasmann-Deilmann is member of RHP ([www.rhp.nl](http://www.rhp.nl)).

Our peat raw materials are certified to RPP ([www.responsiblyproducedpeat.org](http://www.responsiblyproducedpeat.org)).



Variation limits according guidelines of the quality assurance association Growing Media for Plant cultivation RAL. All product information which we provide has been prepared by us to our best knowledge and belief. Our information documents therefore make no claim to completeness and correctness. In particular, we reserve the right to make changes. All application and usage recommendations from us must be understood as non-binding guidelines and must be adjusted to meet local circumstances and code of practice. Please note additional information on the delivery note.

[www.klasmann-deilmann.com](http://www.klasmann-deilmann.com)

06/2023

## Biocarbono

### TECTOPORE PURE



## TECTOPORE PURE

Recomendado para plantas establecidas.

### Descripción:

Biocarbón pirolítico Premium sin inocular, muy rico en carbono y materia orgánica que mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

### Granulometría:

Disponible en cuatro granulometrías.