



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“EFECTO DE PHYCO TERRA® BIO ORGÁNICO EN EL CULTIVO
DE *Brassica oleracea* Y EN EL SUELO DEGRADADO EN
MACAS, SANTA ROSA DE QUIVES, CANTA”**

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por:

Javier Sandoval Guevara (0000-0002-3926-4594)

Asesor:

Luis Abraham Gomero Osorio (0000-0002-4739-2094)

Lima – Perú

2022

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 16 de agosto del 2022.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dra. Ing. Llerme Navarro Vasquez
Miembro: Mg. Blga. Wendy Elizabeth Pérez Porras
Miembro: Blgo. Wilbert Cruz Hilacondo

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

"EFECTO DE PHYCO TERRA® BIO ORGÁNICO EN EL CULTIVO DE *Brassica oleracea* Y EN EL SUELO DEGRADADO EN MACAS, SANTA ROSA DE QUIVES, CANTA"

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Javier Sandoval Guevara**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Ing. Luis Abraham Gomero Osorio

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple () calificar a:

Tesista: Javier Sandoval Guevara	Nota (en letras): (Quince)15
Aprobado (X)	Aprobado - Muy buena ()
Aprobado - Sobresaliente ()	Desaprobado ()

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Dra. Ing. Llerme Navarro Vasquez
Presidente



Mg. Blga. Wendy Elizabeth Pérez Porras
Miembro 1



Blgo. Wilbert Cruz Hilacondo
Miembro 2



Ing. Luis Abraham Gomero Osorio
Asesor

DEDICATORIA

A mi familia, Rosa Guevara, Javier Sandoval y Leslye Sandoval, por su apoyo permanente e incondicional a lo largo de todos estos años de estudio y dedicación.

“Los pensamientos sin contenido son vacíos, las intuiciones sin conceptos son ciegas”

Immanuel Kant

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Luis Gomero Osorio, por su tiempo, apoyo y aporte de conocimientos teóricos y prácticos para la ejecución de esta investigación.

A la Universidad Científica del Sur, por brindarme el sustento profesional para un desempeño óptimo.

Al Laboratorio de Ingeniería Ambiental, por facilitarme algunos equipos e instalaciones para llevar a cabo los ensayos requeridos en la investigación.

A los trabajadores del Fundo Hecosan, por brindarme sus conocimientos relacionados al manejo del cultivo.

ÍNDICE GENERAL

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
II. MARCO TEÓRICO	19
2.1. Suelos degradados en el mundo y el Perú.....	19
2.2. Problemas causados por prácticas intensivas y extensivas en suelos costeros	20
2.3. Prácticas sostenibles en los cultivos	21
2.4. Phyco Terra®	22
2.4.1. Composición.....	23
2.4.2. Mecanismo de acción	23
2.5. <i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>	25
2.5.1. Consideraciones fisiológicas	25
2.5.2. Importancia y análisis sostenible del cultivo.....	26
2.6. Propiedades importantes para la evaluación del suelo.....	27
2.6.1. Parámetros químicos del suelo	27
a. pH.....	27
b. Conductividad eléctrica (CE)	28
c. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	28
d. Contenido de materia orgánica.....	29
e. Contenido de fósforo (P)	30
f. Contenido de potasio (K)	30
2.6.2. Parámetros físicos del suelo	31

g.	Textura.....	31
h.	Índice de estabilidad estructural de Pieri (IE)	31
i.	Densidad aparente	33
j.	Porosidad.....	34
k.	Humedad disponible y factor de humedad	34
l.	Resistencia a la penetración radicular	35
2.6.3.	Parámetros biológicos del suelo	35
m.	Respiración basal de suelos	35
2.7.	Propiedades importantes para la evaluación del desarrollo de <i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>	37
2.7.1.	Altura de la planta.....	37
2.7.2.	Diámetro del tallo	37
2.7.3.	Número de hojas.....	37
2.7.4.	Diámetro de inflorescencia.....	38
2.7.5.	Longitud radicular máxima y volumen del sistema radicular principal ...	38
2.7.6.	Rendimiento agrícola y el análisis beneficio - costo	39
III.	OBJETIVOS.....	41
3.1.	Objetivo general.....	41
3.2.	Objetivos específicos	41
IV.	METODOLOGÍA	42
4.1.	Descripción del área experimental.....	42
4.2.	Diseño experimental	42

4.3.	Metodología de análisis	44
4.3.1.	Metodología para analizar parámetros en los suelos	44
a.	Caracterización Fisicoquímica del suelo	44
b.	pH y conductividad eléctrica	45
c.	Índice de estabilidad estructural de Pieri (IE)	46
d.	Densidad aparente.....	46
e.	Porosidad	47
f.	Humedad disponible y factor de humedad.....	47
g.	Resistencia a la penetración radicular	48
h.	Respiración basal.....	49
4.3.2.	Metodología para analizar parámetros en <i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>	52
a.	Altura de la planta.....	53
b.	Diámetro del tallo	53
c.	Número de hojas	53
d.	Diámetro de inflorescencia.....	53
e.	Longitud radicular máxima	53
f.	Volumen del sistema radicular principal.....	54
4.4.	Rendimiento agrícola.....	54
4.5.	Análisis Beneficio-costo	55
4.6.	Análisis estadístico	55
4.7.	Aspectos éticos	56
V.	RESULTADOS.....	57

5.1.	Análisis de suelo	57
5.1.1.	Parámetros químicos del suelo	57
a.	pH	57
b.	Conductividad eléctrica (CE)	57
c.	Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	58
d.	Contenido de materia orgánica	59
e.	Contenido de fósforo (P)	60
f.	Contenido de potasio (K)	61
5.1.2.	Parámetros físicos del suelo	63
a.	Índice de estabilidad estructural de Pieri (IE)	63
b.	Densidad aparente.....	64
c.	Porosidad	65
d.	Humedad disponible	65
e.	Resistencia a penetración radicular	66
5.1.3.	Parámetro biológico del suelo	67
a.	Respiración basal.....	67
5.2.	Análisis en <i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>	68
5.2.1.	Altura de la planta.....	68
5.2.2.	Diámetro de tallo	69
5.2.3.	Número de hojas	70
5.2.4.	Diámetro de la inflorescencia	71
5.2.5.	Longitud radicular máxima	72

5.2.6.	Volumen del sistema radicular principal	73
5.3.	Resultado de rendimiento agrícola	74
5.4.	Resultado de análisis relación beneficio-costos	75
5.5.	Resultado de correlaciones y análisis multivariado	77
5.5.1.	Correlaciones de efectos en suelos	77
5.5.1.	Análisis multivariado de suelo y rendimiento	78
5.5.2.	Análisis multivariado aéreo de <i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>	79
5.5.3.	Análisis multivariado radicular de <i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>	80
VI.	DISCUSIÓN.....	82
6.1.	Variación en el pH	82
6.2.	Variación en la conductividad eléctrica (CE)	83
6.3.	Variación en la capacidad de intercambio catiónico (CIC)	84
6.4.	Variación en la concentración de materia orgánica	84
6.5.	Variación en los macronutrientes fósforo y potasio	85
6.6.	Variación en el índice de estabilidad estructural de Pieri y en la degradación del suelo	86
6.7.	Variación en la densidad aparente, porosidad y humedad	87
6.8.	Variación en la resistencia a la penetración radicular.....	89
6.9.	Variación en la respiración basal de suelos	89
6.10.	Variación en la altura, diámetro de tallo y número de hojas.....	91
6.11.	Variación en el diámetro de la inflorescencia	92

6.12. Variación en la longitud radicular máxima y volumen del sistema radicular principal.....	92
6.13. Rendimiento agrícola y relación beneficio costo	93
VII. CONCLUSIONES	95
VIII. RECOMENDACIONES	96
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97
X. ABREVIATURAS	115
XI. ANEXOS.....	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Mecanismo de acción y cadena de eventos</i>	24
Figura 2. <i>Mapa de ubicación del cultivo de Brassica oleracea var. italica</i>	42
Figura 3. <i>Distribución del área experimental</i>	43
Figura 4. <i>Segunda aplicación de Phyco Terra® en cada unidad experimental</i>	44
Figura 5. <i>Evaluación de la Resistencia a la Penetración radicular</i>	49
Figura 6. <i>Evaluación del volumen del sistema radicular principal.</i>	54
Figura 7. <i>pH en la semana 8</i>	57
Figura 8. <i>CE en la semana 8 (dS.m⁻¹)</i>	58
Figura 9. <i>Capacidad de intercambio catiónico (meq.100g⁻¹) en la semana 8</i>	59
Figura 10. <i>Materia orgánica (%) en la semana 8</i>	60
Figura 11. <i>Fósforo (ppm) en la semana 8</i>	61
Figura 12. <i>Potasio (ppm) en la semana 8</i>	62
Figura 13. <i>Índice de estabilidad estructural de Pieri en la semana 8</i>	63
Figura 14. <i>Densidad aparente (g.cm⁻³) en la semana 8</i>	64
Figura 15. <i>Porosidad (%) en la semana 8</i>	65
Figura 16. <i>Humedad (%) en la semana 8</i>	66
Figura 17. <i>Resistencia a penetración radicular a los 8 cm (%) en Brassica oleracea var. italica (%) en la semana 10</i>	67
Figura 18. <i>Respiración basal Masa C-CO₂/masa de suelo seco (mg/kg).d⁻¹ en la semana 10</i>	68
Figura 19. <i>Altura en Brassica oleracea var. italica (cm) en la semana 8</i>	69
Figura 20. <i>Diámetro en Brassica oleracea var. italica (mm) en la semana 8</i>	70
Figura 21. <i>Número de hojas en Brassica oleracea var. italica (u) en la semana 8</i>	71

Figura 22. *Diámetro de la inflorescencia en Brassica oleracea var. italica (cm) en la semana 10*..... 72

Figura 23. *Longitud radicular máximo en Brassica oleracea var. italica (cm) en la semana 10*..... 73

Figura 24. *Volumen del sistema radicular principal en Brassica oleracea var. italica (cm³) en la semana 10*. 74

Figura 25. *Rendimiento agrícola de Brassica oleracea var. italica (t.ha⁻¹) en la semana 10*..... 75

Figura 26. *Relación beneficio costo* 76

Figura 27. *Análisis multivariado de componentes principales para suelo y rendimiento* 79

Figura 28. *Análisis multivariado de componentes principales aéreos para Brassica oleracea var. italica*..... 80

Figura 29. *Análisis multivariado de componentes principales radiculares para Brassica oleracea var. italica*..... 81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Composición a nivel macro y micronutrientes de Phyco Terra®</i>	23
Tabla 2. <i>Requerimientos agroecológicos de Brassica oleracea var. italica</i>	26
Tabla 3. <i>T-Student de relación beneficio/costo respecto al mercado local</i>	76
Tabla 4. <i>Correlaciones Pearson de efectos en suelos</i>	77

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Valores de referencia para los parámetros de suelo	116
Anexo B. Materiales utilizados en la investigación	122
Anexo C. Análisis de beneficio costo.....	124
Anexo D. Cuadros estadísticos.....	131
Anexo E. Informes de análisis de laboratorio	169
Anexo F. Registro fotográfico.....	171

RESUMEN

El valle del río Chillón se presenta alto grado de degradación en suelos, debido al uso indiscriminado de fertilizantes químicos utilizados para mejorar rendimientos, sin evaluar sus efectos ambientales a largo plazo. La presente investigación propone una alternativa sostenible para recuperar suelos degradados, mejorar la producción de hortalizas y sean capaces de competir en el mercado, brindando evidencia del producto Phyco Terra® (*Chlorella sp.*). Se realizaron cinco tratamientos (C= 0 l.ha⁻¹, T1=2 l.ha⁻¹, T2=4 l.ha⁻¹, T3=6 l.ha⁻¹ y T4=8 l.ha⁻¹) y se evaluaron efectos en el suelo (parámetros físico-químicos y biológicos) y en la *Brassica oleracea*, además de aspectos económicos (rendimiento agrícola y relación beneficio costo). Se encontró que, para porcentaje de materia orgánica, tratamientos desde 6 l.ha⁻¹ (1.22%) presentaron diferencias, y el de 8 l.ha⁻¹ (1.53%) se recuperó de la degradación. La densidad aparente, porosidad y resistencia a la penetración radicular fueron mayormente influenciados en tratamientos de 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹. La respiración basal también fue mayor desde 4 l.ha⁻¹ (12.9 mg/kg.día⁻¹ C-CO₂); no se evidenciaron efectos sostenidos en conductividad eléctrica ni pH. Se observaron efectos en la altura, número de hojas, diámetro de tallo e inflorescencia desde 6 l.ha⁻¹ respecto a los demás tratamientos. El volumen radicular de 6 l.ha⁻¹ (8447.75 cm³) y 8 l.ha⁻¹ (9860.75 cm³) presentaron diferencias. Además, hubo diferencias en rendimiento de 8 l.ha⁻¹ (16.49 t.ha⁻¹) y en relación beneficio costo (12.40) respecto a los demás tratamientos. Según los resultados, Phyco Terra® es una alternativa para recuperar suelos, presentando resultados alentadores.

Palabras claves: *Chlorella sp.*, brócoli, aplicación bio orgánica, suelo costero, productividad.

ABSTRACT

In the Chillón river valley there is a high degree of soil degradation, due to the indiscriminate use of chemical fertilizers used to improve yields, without evaluating their long-term environmental effects. This research proposes a sustainable alternative to recover degraded soils, improve the development and production of crops and be able to compete in the market, providing evidence of the Phyco Terra[®] (*Chlorella sp.*) product. Five treatments were carried out (C= 0 l.ha⁻¹, T1=2 l.ha⁻¹, T2=4 l.ha⁻¹, T3=6 l.ha⁻¹ and T4=8 l.ha⁻¹) and effects on the soil (physical-chemical and biological parameters) and on *Brassica oleracea* were evaluated, in addition to economic aspects (agricultural yield and cost-benefit ratio). It was found that, for the percentage of organic matter, treatments from 6 l.ha⁻¹ (1.22%) presented differences, and the one from 8 l.ha⁻¹ (1.53%) recovered from the degradation. Bulk density, porosity and resistance to root penetration were mostly influenced in treatments of 6 l.ha⁻¹ and 8 l.ha⁻¹. Basal respiration was also higher from 4 l.ha⁻¹ (12.9 mg/kg.day⁻¹ C-CO₂); No sustained effects on electrical conductivity or pH were observed. Effects were observed on height, number of leaves, stem diameter and inflorescence from 6 l.ha⁻¹ with respect to the other treatments. The root volume of 6 l.ha⁻¹ (8447.75 cm³) and 8 l.ha⁻¹ (9860.75 cm³) showed differences. In addition, there were differences in yield of 8 l.ha⁻¹ (16.49 t.ha⁻¹) and in cost-benefit ratio (12.40) compared to the other treatments. According to the results, Phyco Terra[®] is an alternative to recover soils, presenting encouraging results.

Keywords: *Chlorella sp.*, recovery of degraded soils, soil properties, *Brassica oleracea* var. *italica*, productivity.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los suelos proporcionan el ambiente apropiado para el desarrollo de la vida y la base para el crecimiento vegetal y el almacenamiento hídrico (Antony, 2019). Debido a esto, cualquier actividad antropogénica que perturbe la calidad de este recurso, pone en peligro estas funciones con impactos permanentes para todo el sistema ecológico (Paches, 2020); uno de los más vulnerables son los sistemas ecológicos costeros ya que presentan comunidades biodiversas con ciertas características que no se encuentran en otro sistema (Santander, 2017).

Los suelos contienen la mayor concentración de especies en la naturaleza, son la base del desarrollo de la cadena alimenticia; no obstante, esta diversidad biológica se encuentra en peligro por la degradación constante apenas visible debido a factores como el uso indiscriminado de agroquímicos y otros xenobióticos durante la siembra, empobreciendo a los suelos (Esparaza et al., 2020).

Los métodos más amigables con el ecosistema para la recuperación de la calidad de un suelo degradado, como la aplicación de enmiendas de microalgas al suelo, genera una mejora en la calidad, sin perjuicio de los demás indicadores relevantes de calidad del suelo (Afanador et al., 2020).

Se realizó una investigación sobre los efectos del alga marina *Sargassum vulgare* C. Agardh en el suelo, además, en el crecimiento y desarrollo del *Coriandrum sativum*, los resultados obtenidos de la longitud y peso seco del cilantro indicaron que los mejores efectos en el desarrollo de la planta son generados por la aplicación de la harina de las algas con una mayor cantidad de biomasa generada y longitud (Uribe et al., 2018). Las microalgas presentan una gran aptitud biotecnológica, ya que se puede usar en procesos

como biorremediación; en una investigación se estudió las cianofitas y clorofitas, se encontró que mejoraron la estructura del suelo (Ortiz et al., 2019).

Se debe promover políticas para la obtención de mejores alimentos libres de agroquímicos, porque de otra forma se perjudicaría otros indicadores esenciales para la continuación a largo plazo de una actividad agrícola de calidad; un manejo no sostenible generaría graves problemas ambientales (Murakami et al., 2020). Por otro lado, existe una comercialización extendida de productos que dicen mejorar los cultivos impactando positivamente en la calidad del suelo, es decir que promueven el desarrollo sostenible de la agricultura, sin embargo, son pocos los que realmente tienen estos efectos en los suelos (Pérez et al., 2020).

La investigación sobre el uso de microalgas con el objeto de mejorar la calidad del suelo aún es amplia, y debido a la problemática ya mencionada, es necesario evaluar la viabilidad del estudio y uso de productos naturales en suelos degradados y sus efectos en los cultivos, como la *Brassica oleracea* (brócoli), hortaliza de gran importancia en el Perú. que durante los últimos años tuvo un aumento en su producción debido al conocimiento de su calidad.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Suelos degradados en el mundo y el Perú

Anualmente, se pierde alrededor del mundo 24 000 millones de toneladas de suelo fértil (ONU, 2019), número que viene incrementando cada vez más con el crecimiento de la poblacional mundial (Garcia, 2020). Para el 2050 se estima que el crecimiento poblacional llegará a los 10,000 millones de personas; por lo que es necesario aumentar en un 70% la productividad de los provisiones y cultivos en relación con la cifra actual, así como también en los países en vías de desarrollo debería duplicarse (FAO, 2009). Igualmente, la degradación de los suelos reduce el PBI de los países en vías de desarrollo hasta en un 8% cada año (ONU, 2019), valor semejante a la contracción provocada a fines del año 2020 en el Perú (INEI, 2020).

La superficie de ecosistemas degradados en todo el Perú llegó a 17 577 507.51 ha y en la región Lima, 91 605.24 ha, representando el 0.5% del total en 2018; este valor va disminuyendo desde los tres últimos años; sin embargo, es necesario la toma de acciones y prácticas sostenibles para que no vuelva a presentar un pico de degradación como en el 2016 (Ministerio del Ambiente, 2020).

En adición con lo antes mencionado, es limitado el aprovechamiento del suelo agrícola, solo el solo el 6% se emplea para la agricultura, mientras que poco menos del 14% para pastos naturales (Tácuna et al., 2015); es por ello, la importancia de conservar los suelos empleados para la agricultura, así como el recuperar los suelos degradados (Villagaray, 2014). Métodos usuales para la recuperación de suelos degradados suelen ser muy caros y frecuentemente inducen efectos adversos sobre la fertilidad del suelo (Morales et al., 2019), y modifican la actividad biológica (Alkorta et al., 2010).

El valle del río Chillón, al igual que los demás valles costeros, viene sufriendo desde hace muchos años por el empleo indiscriminado de agroquímicos (plaguicidas, pesticidas y fertilizantes), reportándose grandes cantidades de estos en las cosechas, así como también sus residuos peligrosos, de forma que se bioacumulan y afectan a la cadena trófica (Beyer et al., 2016) (Anexo F29).

2.2. Problemas causados por prácticas intensivas y extensivas en suelos costeros

El valle del río Chillón es la segunda cuenca ecosistémica costera que abastece la mayor cantidad de agua a Lima (Olarte, 2007). Existe un conjunto de lagunas en lo alto del valle de Chillón que suministra agua a la cuenca, así también los deshielos de la cordillera la Viuda le suministra agua (Vilcapoma y Beltran, 2018). De los tres valles existentes en Lima, el Valle de Chillón abarca la mayoría de las zonas agrícolas limeñas, además, produce entre sus principales cultivos el algodón, maíz, papa, tomate y los frutales (Vilcapoma, 2007).

El crecimiento poblacional, ha generado una presión sobre los recursos afectando las áreas forestales para el desarrollo de la agricultura o para la siembra comercial de césped (Medina et al., 2017), como viene ocurriendo constantemente durante las últimas décadas en los campos de cultivo costero del valle de río Chillón, afectando la concentración de materia orgánica del suelo (Vilcapoma et al., 2019). Por otro lado, un descenso en el número de especies vegetales con distintos sistemas de raíces o de concentración de materia orgánica, genera cambios en la estructura del suelo (Villalba et al., 2020) provocando graves impactos negativos como pérdida de cosechas y hábitats de microorganismos (Zamora et al., 2019).

El uso progresivo y excesivo de productos fertilizantes y agroquímicos como plaguicidas desde la revolución verde, ha degradado el ambiente, principalmente la salud de recurso suelo, además de poner en riesgo a la macro y micro fauna (Bonilla y Singaña, 2019). También la estructura del suelo (contenido de materia orgánica) se ve afectada la cual determina en gran parte la productividad agrícola y su sostenibilidad en el tiempo (Ali, 2016),

Las prácticas extensivas, como el monocultivo, genera impactos ambientales negativos y sociales, además de grandes pérdidas económicas (Rodríguez et al., 2018). Estas prácticas extensivas se desarrollan por la alta demanda de alimentos a nivel mundial, además de la presión del mercado para una mayor producción, aunque no necesariamente de alimentos más saludables (Medina et al., 2017).

2.3. Prácticas sostenibles en los cultivos

La implementación de sistemas agroecológicos es una alternativa que permite la sostenibilidad de la biodiversidad en el suelo, por lo que la rotación, asociación de cultivos, el empleo de sustancias orgánicas y la aplicación de enmiendas pueden intensificar la producción agrícola de manera sostenible sin generar impactos negativos en el suelo (Martínez et al., 2019), además, permitiría mejorar la calidad del suelo en el valle del río Chillón tanto a nivel físico y químico, con la finalidad de aportar la sostenibilidad y la seguridad alimentaria en los años venideros (Chagua et al., 2019).

El fundo HECOSAN (Localidad de Santa Rosa de Macas, Canta), realiza la rotación de cultivos, donde se siembra por temporada ciertos cultivos variando en la siguiente campaña, debido a que ciertas agrupaciones de cultivos presentan distintos requerimientos de nutrientes en el suelo (maíz y otras hortalizas). También se realiza la asociación de cultivos, que consiste en acoplar distintos cultivos, los cuales tengan una

sinergia sin competir con los nutrientes del suelo (maíz y frijol, brócoli y cebolla, zanahoria y lechuga) (Napoles et al., 2017). También se incorpora las barreras vivas para reducir la erosión eólica o hídrica (Unión Europea, 2011). Estas prácticas se complementan con el descanso del campo, lo que brinda al suelo utilizado un tiempo para recuperarse (Napoles et al., 2017).

2.4. Phyco Terra®

Es un producto líquido pasteurizado de células enteras patentada, donde las microalgas se encuentran inactivas, para la producción orgánica, obtenido a partir de cultivos abiertos de microalgas (*Chlorella sp.*) Al ser desarrollado por una empresa (Heliae Global) sus efectos en los cultivos y suelos están sujetos a investigación constante para proveer información clara y útil sobre sus verdaderos efectos, tanto en los suelos y cultivos, que permita establecer concentraciones y frecuencias de aplicación. Phyco Terra® se desarrolló en el 2017, sin embargo, sus investigaciones se desarrollan desde el 2010 (Jáuregui, 2021).

Además, entre sus beneficios está la elevada capacidad de regenerar los suelos (Ortiz et al., 2019), permitir el almacenamiento de agua en el suelo y aumentar la fertilidad (Diaz et al., 2011).

La aplicación de Phyco Terra® ayuda a mejorar el microbioma y la agregación del suelo, por lo que optimiza la estructura de los suelos y cumple con los estándares del Programa Orgánico Nacional del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Asimismo, optimiza los rendimientos agrícolas aumentando la rentabilidad sostenible del cultivo, por medio del empleo de microalgas, también mejora la abundancia relativa de microorganismos beneficiosos hasta en 33 veces, mejorando la salud del suelo para la agricultura regenerativa (Heliae Global, 2020).

La dosis (1.2 - 10 l.ha⁻¹) se aplica previo a la siembra, dependiendo del cultivo y del suelo, se puede incrementar las aplicaciones (Heliae Global, 2020). Phyco Terra[®] presenta una densidad de 1 g.l⁻¹, pH de 3-3,5 y una CE de 7.3 dS.m⁻¹).

2.4.1. Composición

Phyco Terra[®] proporciona materia orgánica al suelo (alrededor de 9% de materia orgánica en el producto). En la Tabla 1 se presenta los macro y micronutrientes presentes en Phyco Terra[®].

Tabla 1. Composición a nivel macro y micronutrientes de Phyco Terra[®]

Macronutrientes	
(% de la muestra)	
Nitrógeno (N)	≥ 0.30
Fósforo (P)	≥ 0.30
Potasio (K)	≥ 0.10
Micronutrientes	
Calcio	0.01-0.10%
Hierro	10-100 ppm
Magnesio	0.0075-0.035%
Manganeso	1-10 ppm
Cinc	1-10 ppm
Cloruro	40-200 ppm
Sodio	0.01-0.1%
Azufre	0.01-0.1%
Boro	0.2-2 ppm

Nota: Adaptado de Jáuregui (2021)

2.4.2. Mecanismo de acción

Existen ciertos elementos de las microalgas que revelan su comportamiento y sus efectos sobre frutos, suelo y planta (con total autonomía de su modo de aplicación: suelo, foliar, abono, extracto líquido, algas vivas, etc..) son los polisacáridos (mucílagos),

macronutrientes (K, P, Ca, N, Mg) oligoelementos, antioxidantes y activadores (García y Martel, 2021). A continuación, se detallan ciertos efectos en cultivos y suelo.

- a. Son estimulantes de la germinación, también activan el desarrollo de las raíces, rendimiento, homogeneidad de frutos, tamaño de tubérculos, activador de defensas, mayor contenido en clorofila y por tanto una aumenta la fotosíntesis, incrementa la atracción de los nutrientes del suelo, genera una demora en la muerte de hojas, aumenta la resistencia frente a la sequía, el estrés y salinidad (García y Martel, 2021).
- b. Entre los efectos descritos sobre el fruto tenemos a los siguientes: estimulante de la floración y del cuajado del fruto, acrecienta azúcares del fruto, acrecimiento de perdurabilidad (Heliae Global, 2020).
- c. Finalmente, los efectos sobre el suelo son los siguientes; corrector de acidez corrector de carencias minerales (macro: Ca y K y todos los oligoelementos) estabilizante de estructura (impacta a indicadores físicos del suelo) (Heliae Global, 2020),

El esquema del mecanismo de acción se muestra en la Figura 1



Figura 1. *Mecanismo de acción y cadena de eventos*

Nota: Adaptado de Jáuregui (2021)

La aplicación de algas en los sustratos, presenta un alto potencial de exploración, aunque, no todas las algas proveen los mismos beneficios, si son aplicables para todo tipo de suelo. Es debido a ello que resalta la importancia de la investigación de estos productos

comerciales, dado que sus resultados no siempre son lógicos y coherentes, y muchas veces ecológicamente dudosos, investigaciones como esta proveen información útil sobre la calidad de estos bioestimulantes para un mejor conocimiento y por tanto mejor toma de decisiones.

2.5. Brassica oleracea var. italica

2.5.1. Consideraciones fisiológicas

Al ser una planta mesofítica supone un requerimiento de temperaturas moderadas, humedad relativa alta, disponibilidad de agua y una adecuadamente moderada luminosidad para un desarrollo óptimo. En la Tabla 2 se muestra los requerimientos agroecológicos de *Brassica oleracea var. italica*.

Tabla 2. *Requerimientos agroecológicos de Brassica oleracea var. italica*

Requerimiento	Descripción
Agua	Planta que se desarrolla mejor con altos niveles de humedad relativa obteniendo máximos rendimientos.
Suelo	Suelo fértil, alta porosidad y drenaje, textura media. pH neutro (6-7.3) y salinidad ausente.
Temperatura	Desarrollo óptimo entre los 15-18°C (máximo 24°C, por encima de este valor, la calidad disminuye, separación de la inflorescencia). Estación fría
Luz	La formación de la cabeza, distinción floral se desarrolla independientemente del fotoperiodo.

Nota: Adaptado de Toledo (2003)

2.5.2. Importancia y análisis sostenible del cultivo

Brassica oleracea var. italica es una hortaliza de alta importancia debido a sus valores nutricionales (hortaliza con mayor valor nutritivo por unidad peso) y alimenticios, las hojas e inflorescencias de la planta tiene un alto contenido de carbohidratos, proteínas, Ca, Fe y fibra. El Perú introdujo el brócoli hace más de 60 años, sin embargo, se ha extendido su consumo y producción por todo el país desde 1990 (Toledo, 2003).

En el 2017 se realizó un análisis sostenible del cultivo del brócoli *Brassica oleracea var. italica* en valle del río Chillón, distrito Santa Rosa de Quives, donde los resultados indicaron que en el aspecto ambiental con mayor criticidad fue el de conservación biótica del suelo dado que en el sustrato donde se cultiva se incorpora poca materia orgánica y escasa cobertura vegetal. Por otro lado, el riesgo de contaminación por uso de agroquímicos de alta toxicidad y disposición final de envases vacíos fue mínima

y finalmente en el aspecto económico, se identificó que el cultivo de brócoli genera ingresos altos, a pesar de la gran dependencia de insumos (Andrade, 2017).

2.6. Propiedades importantes para la evaluación del suelo

2.6.1. Parámetros químicos del suelo

a. pH

Es uno de los principales indicadores del suelo, junto con la conductividad eléctrica, aunque a veces se deja de lado, es un parámetro clave para entender el funcionamiento del suelo (Cremona y Enriquez, 2020). Se puede expresar usando la escala de 1 a 14, el término pH indica la concentración de iones hidrógeno en un fluido o sólido (Rivera et al., 2018). La clasificación del suelo según su pH se encuentra en el Anexo A2.

Actividades como la agricultura intensiva y la fertilización excesiva (para aumentar productividad) impacta en la acidez del suelo (Rivera et al., 2018). Algunas alternativas cuando se tiene un suelo en niveles ácidos, es la aplicación de limo o dolomita, también el encalado agrícola; por otro lado, cuando el suelo es alcalino, se aplica la pirita o yeso (von Uexkull, 1986).

Asimismo, el pH funciona como un indicador de disponibilidad de nutrientes, dado que la presencia de iones de aluminio (Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$), H^+ y OH^- determinan la solubilidad del Fe, Mn, Cu, PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , etc. Es así que un suelo con pH mayor a 6.5 tiene mayor presencia de OH^- lo que ayuda a precipitar algunos micronutrientes de por sí poco solubles y los convierte en no disponibles por las raíces ($\text{Fe}^{3+} + 3\text{OH}^- \leftrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3$). La planta suele asimilar el Fe convirtiendo el férrico (Fe^{3+}) a su forma ferrosa (Fe^{2+}) en la superficie de las raíces, sobre todo en plantas jóvenes (Esquivel, 2021). Además,

pueden indicar la insuficiencia de algunos de los nutrientes como Ca, Mg y K (Osorio, 2012).

Una relación que es importante resaltar es que los suelos ácidos tienen pobre desarrollo radicular y son pobres en bases de cambio (Ca, Mg y K), aunque no implica que tenga un bajo CIC, ya que, las pocas bases de cambio presentes podrían estar adheridas a las arcillas y materia orgánica y tener un alto CIC (Cruz et al., 2020); además, reduce la asimilación del P, precipitando en formas insolubles junto con Mn, Al y Fe (Andrades, 2001).

Por otro lado, suelos básicos tienen alto contenido en Ca y Mg, la alta presencia del CaCO_3 , dificulta la asimilación de Fe, Mn y Zn, asimismo, el P se precipita en su estado insoluble como $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (Andrades, 2001).

b. Conductividad eléctrica (CE)

Hace referencia a la habilidad del suelo para conducir la corriente eléctrica. Esta puede aumentar en la medida que el suelo tenga presencia de sales (Vásquez et al., 2013). La valoración de suelos según su CE se presenta en el Anexo A3.

c. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Indica la capacidad del suelo de intercambiar nutrientes (cationes, como Ca, Mg, N y P) fijados a cargas negativas en el suelo (como arcilla y materia orgánica) por los cationes H^+ liberados por las raíces. Asimismo, este intercambio solo es factible mientras la carga liberada por la planta sea la misma que absorberá del suelo (2H^+ por Ca^{+2}), debido a ello, la planta requiere liberar una mayor cantidad de cationes H^+ por Fe^{3+} y eso no ocurre con facilidad (FAO, 1999).

Valores bajos de CIC implican no necesariamente la ausencia y escasez de los nutrientes si no que no se encuentran unidos a la arcilla o materia orgánica y por tanto son

diffícilmente asimilables y, por el contrario, fácilmente arrastrados por el riego. A mayor electronegatividad y área presente en las partículas del suelo, mayor será el CIC (Cruz et al., 2020).

El Anexo A4 muestra los valores óptimos que deberían tener los suelos, sin embargo, se debe tener en cuenta que estos rangos no son fijos y varían por muchos factores como el clima, cultivo, etc. Los valores del CIC también varían según la textura del suelo (Anexo A5).

d. Contenido de materia orgánica

Está conformada por compuestos como carbohidratos, proteínas, ligninas, etc. Es descompuesta en CO₂ y en humus por la acción de microorganismos, aunque algunos autores usan el término humus para la desintegración de materia orgánica exclusivamente vegetal (Guadarrama et al., 2018).

Aproximadamente la materia orgánica contiene el 5% de N total, además contiene otros elementos como el P, Mg, Ca, S, entre otros. Existen dos fases de la evolución de la materia orgánica en el suelo: la humificación (formación de humus) y su proceso contrario, la mineralización (Julca et al., 2006).

Se considera humificación desde el momento en que los microorganismos entran en unión con materia orgánica (Atlas y Bartha, 2001). Se dividen en dos etapas, donde primero se forma rápidamente el humus joven, el cual aún no se encuentra fijado a las partículas arcillosas del suelo y es el mecanismo fundamental de la fertilidad dada a su alta actividad microbiana, representa el 20-25% del humus total y presenta una acción importante en la estructuración del suelo. Y se tiene el humus estable, el cual está unido a las partículas del suelo (representa el 75-80%, composición compleja de ácidos húmicos, fúlvicos y huminas). La materia orgánica (humus joven) es la responsable de

agregar las partículas de arcillas en complejos de mayor tamaño para que permita el paso del agua y aire; y una vez que lo logra, la materia orgánica ya pertenece al complejo y forma lo que se denomina humus estable (Julca et al., 2006).

Por otro lado, la mineralización es un proceso lento en el que otros microorganismos destruyen el humus estabilizado a razón del 2% anual, de esta forma libera las sales minerales que serán asequibles para la planta (Guadarrama et al., 2018). Este proceso ocurre en dos fases, la amonificación seguida por la nitrificación (N orgánico - amonio - nitrato) (Julca et al., 2006). La valoración de suelos según su materia orgánica se encuentra en el Anexo A6.

e. Contenido de fósforo (P)

Es una pieza fundamental para el desarrollo esperado en las plantas. La asimilación de P por parte de la planta se da cuando existe un nivel aceptable de este y materia orgánica. Un nivel óptimo de P favorecería de la siguiente forma: incrementaría el desarrollo de las raíces y aumentaría el crecimiento del tejido meristemático de la planta (primario y secundario) (Villareal et al., 2017). La valoración de suelos según su la presencia de P se encuentra en el Anexo A7.

f. Contenido de potasio (K)

La presencia de K en el suelo ayuda para que la planta pueda realizar diferentes funciones como: ayudar a formar los carbohidratos, fortalecer los tejidos frente a enfermedades y plagas, acrecentar el peso y color a los frutos, resistencia a sequías y heladas (Sadeghian y Arias, 2018). Por otro lado, la materia orgánica es una facilitadora del K, ya que retiene agua y por tanto reduce las pérdidas del K, además de evitar que el K se convierta en compuestos no asimilables (Andrades, 2001). La valoración de suelos según su la presencia de K se encuentra en el Anexo A8.

2.6.2. Parámetros físicos del suelo

a. Textura

Las clases texturales del suelo presenta una característica importante para conocer el suelo, ya que muestra la cantidad y el tamaño de partículas inorgánicas presentes en el suelo, estas son arena, limo y arcilla (FAO, 1999). Por ejemplo, el suelo franco arenoso (textura que pertenece dónde se realizó la experimentación) es áspero, mancha la mano y no forman figura (USDA, 2020), los tipos de clases texturales se encuentran en el Anexo A1.

b. Índice de estabilidad estructural de Pieri (IE)

La estructura del suelo hace referencia a la manera en que se agrupa y agrega las partículas del suelo (arcilla, limo y arena). Esta estructura puede ser influenciada por algunos parámetros anteriormente descritos, como el desarrollo radicular, materia orgánica (humus joven), actividad microbiana, la presencia del carbonato de calcio (CaCO_3), emisión de polisacáridos excretados por microalgas, etc. (FAO, 1999).

Asimismo, las raíces afectan a la estructura del suelo en cinco formas: penetración de las raíces, producción de exudados, entrelazamiento de agregados causados por las raíces, modificación del régimen hídrico y descomposición de raíces muertas (Torres et al., 2013).

Por otro lado, el manejo agronómico del suelo que se les brinda también influye en la calidad del suelo, por ejemplo, labranzas convencionales afectan negativamente las propiedades del suelo (porosidad, estructura, resistencia a la penetración), mientras que una labranza cero, genera impactos positivos en las raíces y por tanto en el suelo (FAO, 2018).

Debido a ello, la estructura de suelos es un parámetro de relevancia, ya que es la principal influyente en la productividad de hortalizas, porosidad, densidad aparente, humedad (Melendres et al., 2017), además, el indicador más estudiado y evaluado, es el de estabilidad de agregados (Torres et al., 2013).

Las estructuras se pueden diferenciar por su clase (tamaño), tipo (forma) y categoría (grado) de los agregados. Los dos primeros hacen referencia a las estructuras muy finas, finas medianas gruesas y muy gruesas) (FAO, 2018).

Existen diversas metodologías para determinar el grado de estabilidad en la estructura de agregados, es decir para diferenciar su categoría (sin estructura, débil, moderada y fuerte), entre ellos los directos e indirectos.

- Directos o experimentales: El método de diámetro ponderado de los agregados tamizados en agua desarrollado por Kemper y Rosenau en 1986, el método de Yoder desarrollado en 1936, índice de sellado absoluto y relativo, desarrollado por Nacci en 1991, etc. Todos estos métodos directos se basan en el tamizado en húmedo de los agregados (Fernández, 2014).
- Indirectos o con ecuaciones: Son índices que se derivan de un análisis de características del suelo con el objetivo de predecir el encostrado y sellado, por ejemplo, el índice de sellado-encostrado de suelos o ISE, desarrollado en 1998 (basado en ecuaciones de regresiones) y el índice de estructura de Pieri (Fernández, 2014).

Pieri inició su investigación planteándose la cuestión sobre lo que se ha aprendido en lo referido a manejo de suelos a largo plazo, esta investigación demostró que los experimentos presentan un esquema para mejorar la fertilidad y la producción; es así como las mediciones de estos cambios, su eficiencia y el incremento en la calidad del

suelo y sus causas requieren un mantenimiento y calibración frecuente lo que genera la necesidad de grandes inversiones y en su mayoría excesivas (Pieri, 1995). Durante esta investigación se levantó tal cantidad de información que permitió a Pieri desarrollar el IE que está estrechamente relacionada con el estado de degradación del suelo (Fernández, 2014). En el Anexo A9 se detalla los diferentes rangos de IE, y se describe el grado de degradación de acuerdo con estos.

c. Densidad aparente

Análisis común para determinar la calidad del suelo (Salazar et al., 2020). Este parámetro tiene los mayores impactos en la porosidad, aireación, disponibilidad y retención de agua y nutrientes (Melendres et al., 2017). Se determina mediante la relación de la masa del suelo entre un volumen asociado (Gabriels y Lobo, 2011).

Una densidad aparente óptima es causada por factores como la textura, composición, materia orgánica, estructura del suelo, los suelos mejor estructurados tienen valores de densidad aparente menores; valores altos de compactación reducen la porosidad y por tanto aumenta la densidad aparente (Salamanca y Sadeghian, 2005).

Sin embargo, suelos bien estructurados y sueltos que son levemente compactados provocan la disminución de la movilización y difusión de nutrientes en la solución, pero aun así al alcance radicular, por otro lado, las partículas en un suelo fuertemente compactado, se adhieren de tal forma que la ruta de movimiento de nutrientes es muy complicada y reduce considerablemente las tasas de absorción y difusión (Salamanca y Sadeghian, 2005).

En la medida que aumenta la materia orgánica y el espacio poroso debe disminuir la densidad aparente (Novillo et al., 2018). En suelos de textura fina, sus densidades pueden variar entre 1-1.2 g.cm⁻³ y en arenosos pueden alcanzar valores de 1.2-1.6 g.cm⁻³

(Salamanca y Sadeghian, 2005). Estos valores varían dependiendo de la metodología que se utiliza, como el método de la probeta que genera los valores antes mencionados, y el método del cilindro o anillo que provee valores más altos (USDA, 1999).

d. Porosidad

Volumen que no presenta partículas del suelo (orgánico, mineral o sólido) sin importar si está dominado por aire o agua al momento del muestreo (Castillo, 2005). Parámetro estrechamente relacionado con la retención de humedad o aire, es influenciado por la estructura de suelos (proporción y distribución de agregados). Asimismo, su relación es inversa a la densidad aparente y directa en ocasiones a la humedad (Melendres, et al., 2017). Sin embargo, como se describió en el apartado de densidad aparente, los valores y rangos óptimos dependen de si el suelo está estructurado correctamente. Los niveles de porosidad óptimos están descritos en el Anexo A10.

Asimismo, está influenciada por la estructura, textura, materia orgánica y actividad de la mesofauna (Castillo, 2005).

e. Humedad disponible y factor de humedad

Hace referencia a la cantidad de agua presente en un volumen de suelo, la medición es gravimétrica, relacionando el peso del suelo al aire menos el suelo seco (Melendres et al., 2017). La propiedad física que impacta más en la detención de agua y humedad es la densidad aparente además de su contenido de arcillas (Holland y Biswas, 2015).

Si bien es cierto, la humedad en el suelo es un factor clave para el desarrollo de la planta, todo dependerá del nivel de estabilidad estructural que tenga el suelo, de la textura y de los demás parámetros antes mencionados (Novillo et al., 2018). Debido a ello, cada

textura del suelo debe tener un rango óptimo de humedad disponible, capacidad de campo y punto de marchitez, expresado en el Anexo A11.

f. Resistencia a la penetración radicular

Está relacionado con la estructura, densidad aparente, porosidad del suelo y compactación; hace referencia a la resistencia del suelo frente a la penetración de las raíces del cultivo en una determinada altura; indicado por el porcentaje de penetración del volumen total de sistema radicular presente en los primeros cm. Un suelo con mayor compactación y por tanto con menor porosidad, genera que el sistema radicular tenga dificultades al momento de adoptar e intercambiar nutrientes con el suelo, con este propósito los investigadores han desarrollado metodologías que se adapten mejor a sus objetivos de investigación (Monsalve y Bochet, 2010).

2.6.3. Parámetros biológicos del suelo

a. Respiración basal de suelos

La actividad microbiológica está relacionada con la fertilidad del suelo, para poder evaluar la primera se ha propuesto la cuantificación de la producción de CO₂, que es el reflejo de la actividad biológica (fuente de energía y hábitat) y la respiración de los microorganismos junto a los procesos de humificación y mineralización anteriormente descritos (Guerrero et al., 2012).

Una tasa de respiración alta es un indicador del crecimiento de microorganismos. Durante la descomposición cierta parte del carbono se emite y regresa a la atmósfera (CO₂) y otra es convertida eventualmente a compuestos simples o es almacenada en las estructuras de los microorganismos (Guerrero et al., 2012).

El CO₂ generado en el suelo, es producido por la actividad microbiológica, pero también por el metabolismo radicular y el de la microflora y fauna del suelo (Monzó,

2020), en el primer caso, no tiene cobertura vegetal ni se le añade ningún nutriente adicional a la muestra, es decir, pasa de ser respiración del suelo a respiración basal del suelo, caracterizada por no ser fluctuante. La respiración de suelos en general presenta fases de aceleración exponencial, estacionaria y finalmente decreciente (Santibáñez, 2020).

Algunos factores que influyen en la respiración son el tipo de clima o suelo; dependerá del contenido de materia orgánica, humedad, temperatura, pH, CE y porosidad; esta respiración tiende a fluctuar por días u horas (Monzó, 2020), no obstante, si se evalúa como respiración basal, no se tiene estos problemas metodológicos, siempre y cuando se efectúe un buen muestreo.

Como se mencionó, otro factor que influye en la respiración del suelo es la temperatura, siendo la actividad microbiológica mayor al alcanzar los 35-40°C, a partir de ahí la actividad se ve limitada. De igual forma, la humedad influye en la respiración del suelo, alcanzando su pico en la capacidad de campo o el 60% de ella. Asimismo, un suelo muy arcilloso impide la respiración dada la poca aireación, generando la mineralización de N orgánico; por otro lado, suelos arenosos, con poca presencia de materia orgánica y limitada retención hídrica, limita la respiración y al igual que la anterior mineraliza el N. La textura que presenta mejores resultados es el suelo franco y limoso (Monzó, 2020).

Cabe señalar que el suelo respira anualmente 80,4 Pg C-CO₂, diez veces más de lo que se obtiene al sumar la combustión de compuestos fósiles y la deforestación en el mundo (Vásquez et al., 2013).

2.7. Propiedades importantes para la evaluación del desarrollo de *Brassica oleracea* var. *italica*

Para poder evaluar el desarrollo de una planta es necesario determinar ciertos parámetros a los que se les dan seguimiento durante la etapa de crecimiento de la planta. Los mejores atributos que ayudan a predecir el desempeño de un cultivo en el campo han sido siempre la altura de la planta, el diámetro del tallo, la “calidad” del sistema radicular determinado por su masa o volumen (Ritchie et al., 1995).

2.7.1. Altura de la planta

Parámetro morfológico de gran importancia, junto al diámetro del tallo. Relacionada al desarrollo del tejido meristemático primario producido por la mitosis (Ritchie et al., 1995). El crecimiento es longitudinal, consiste desde la base del tallo, hasta la altura máxima que toma los ápices de las hojas más largas (Cargnelutti et al., 2018).

2.7.2. Diámetro del tallo

El diámetro del tallo corresponde al desarrollo del tejido meristemático secundario o lateral, este tejido es el responsable del aumento del espesor del tallo y raíz (Cargnelutti et al., 2018). La supervivencia de la planta puede ser mejor pronosticada por los valores del diámetro del tallo que por la altura. (Ritchie et al., 1995).

2.7.3. Número de hojas

Referido al número de hojas presentes en los brotes del tallo desde la semana siguiente al trasplante (Ritchie et al., 1995). Así un mayor número de hojas es directamente proporcional a una mayor área potencial fotosintética que ocupa el cultivo; además, en su proceso inverso exotérmico, la respiración y transpiración, generaría un mayor intercambio gaseoso en sus estomas (López et al., 2016).

2.7.4. Diámetro de inflorescencia

Es la longitud del corimbo conformado por flores inmaduras incrustadas por un pedúnculo al tallo principal (Toledo, 2003). Este es un valor muy importante al momento de hacer el cultivo viable económicamente hacia el mercado; asimismo, está ligado al rendimiento agrícola.

2.7.5. Longitud radicular máxima y volumen del sistema radicular principal

Durante los últimos 50 años, se han llevado a cabo diversas investigaciones enfocadas en estudiar el sistema radicular de las plantas en suelos agrícolas con el fin del aprovechamiento de este (longitud de raíces, densidad radicular, forma de poros creados por raíces, etc.) (Angers y Caron, 1998). La longitud radicular máxima alcanzada por la planta es un indicador clave para determinar su nivel de desarrollo; además, afecta e influye significativamente a las condiciones del suelo, principalmente en la estructura (Torres et al., 2013).

A pesar de la gran importancia del sistema radicular de las plantas, el difícil acceso a la observación, medición y cuantificación a ellas genera un sesgo en las metodologías. El conocimiento sobre raíces y en especial las finas (longitud, diámetro, volumen, estructura y longevidad) es incompleto (Muñoz et al., 2010), debido a ello, es importante generar nuevas metodologías estandarizadas por el investigador, que permitan adquirir nuevos conocimientos respecto al sistema radicular.

La metodología de Muñoz (2010) no invasiva para conocer la longitud máxima del sistema radicular, es el acceso a ella de forma paulatina. Por otro lado, para conocer el volumen radicular, es necesario extraer invasivamente el sistema radicular del suelo, y tomar las medidas del volumen.

2.7.6. Rendimiento agrícola y el análisis beneficio - costo

Aparte de los factores climáticos, y de las propiedades de los suelos que influyen en la producción y el rendimiento, la densidad del cultivo es un parámetro muy importante al momento de considerar el rendimiento objetivo. Se aclara que no necesariamente a mayor densidad, se genera un mayor rendimiento, por ejemplo, en el caso de *Brassica oleracea* var. *italica*, una densidad de 41700 plantas.ha⁻¹ en una disposición de 0.6 x 0.4 m, genera un rendimiento de 15.1 t.ha⁻¹ y una densidad de 55600 plantas.ha⁻¹ con una disposición de 0.6 x 0.3 m, genera un rendimiento de 13.5 t.ha⁻¹, es decir, 0.1 m de diferencia en la disposición provoca una variación de 1.66 t.ha⁻¹ en el rendimiento agrícola (Toledo, 2003).

La disposición más utilizada en el Perú es 0.7 en el surco y 0.5 m entre las plantas de los surcos, lo que genera una densidad de 28571 plantas.ha⁻¹. Hay casos en los que se cultiva con una mayor densidad, pero esto significa un mayor abono y fertilizaciones, además de otros agroquímicos para controlar las plagas, es decir, un mayor desgaste y degradación del suelo (Collantes, 1994).

Otro punto importante para considerar es el tipo de mercado al que se tiene por objetivo. En un mercado en fresco, el consumidor demanda cierto tamaño en la cabeza y varía de acuerdo con sus preferencias, en cambio para la agroindustria, se considera la calidad de los floretes; además, si se efectuará la venta según peso o unidad (Toledo, 2003).

El promedio nacional de rendimiento del brócoli es de 13.74 t.ha⁻¹, sin embargo, varía drásticamente de región en región, Lima produce aproximadamente 12.2 t.ha⁻¹, y el rendimiento máximo lo tiene La Libertad con 21.03 t.ha⁻¹, estos rendimientos provienen tanto de la agroindustria extensiva como de la agricultura no convencional. El costo de

producción por kg es de S/.1.03 en la región Lima (Ministerio de Agricultura y Riego, 2019). La viabilidad de cualquier cultivo se ve representada por la relación beneficio costo.

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Determinar los efectos de la aplicación de Phyco Terra[®] bio orgánico en suelos agrícolas degradados y en el cultivo *Brassica oleracea* var. *italica* en el valle del río Chillón, Canta.

3.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la aplicación de Phyco Terra[®] bio orgánico en las propiedades fisicoquímicas de un suelo degradado en el valle del río Chillón, Canta.
- Evaluar el efecto de la aplicación de Phyco Terra[®] bio orgánico en las propiedades biológicas de un suelo degradado y en el cultivo del brócoli en el valle del río Chillón, Canta.
- Evaluar el rendimiento y relación beneficio costo de la aplicación de Phyco Terra[®] bio orgánico en el cultivo de *Brassica oleracea* var. *italica* en el valle del río Chillón, Canta.

IV. METODOLOGÍA

4.1. Descripción del área experimental

La experimentación se ejecutó en el fundo agroecológico HECOSAN, ubicado en el C.P Santa Rosa de Macas, distrito de Santa Rosa de Quives, en la provincia de Santa Rosa (11°40'36.0"S 76°55'26.8"W), a una altitud de 712 m.s.n.m (Figura 2). Santa Rosa de Macas presenta un clima semicálido, la temperatura media anual es de 18° a 19°C, las precipitaciones son muy escasas en gran parte de los meses, a excepción cuando ocurre el fenómeno de El Niño, donde puede llegar a lluvias de alta intensidad (SENAMHI, 2020). Los meses en que se llevó a cabo la experimentación fueron entre julio y setiembre, con una temperatura máxima de 24°C.

Figura 2. Mapa de ubicación del cultivo de *Brassica oleracea* var. *italica*



4.2. Diseño experimental

El experimento se realizó mediante un diseño de bloque completamente aleatorio 5x4 (tratamientos finales de 0 l.ha⁻¹, 2 l.ha⁻¹, 4 l.ha⁻¹, 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹) con 4 repeticiones. Estas aplicaciones fueron divididas en dos momentos (semana 1 y 4). El área total de la parcela fue de 288.4 m², la cual se dividió en 20 unidades experimentales de 12.32 m². Se tomó como unidad experimental útil (UEU) al área de 6.16 m² para evitar

interferencias o posibles lixiviados en los bordes; la densidad de cultivo empleada en el diseño fue de 32500 plantas.ha⁻¹ (40 plantas por UE) (Figura 3).

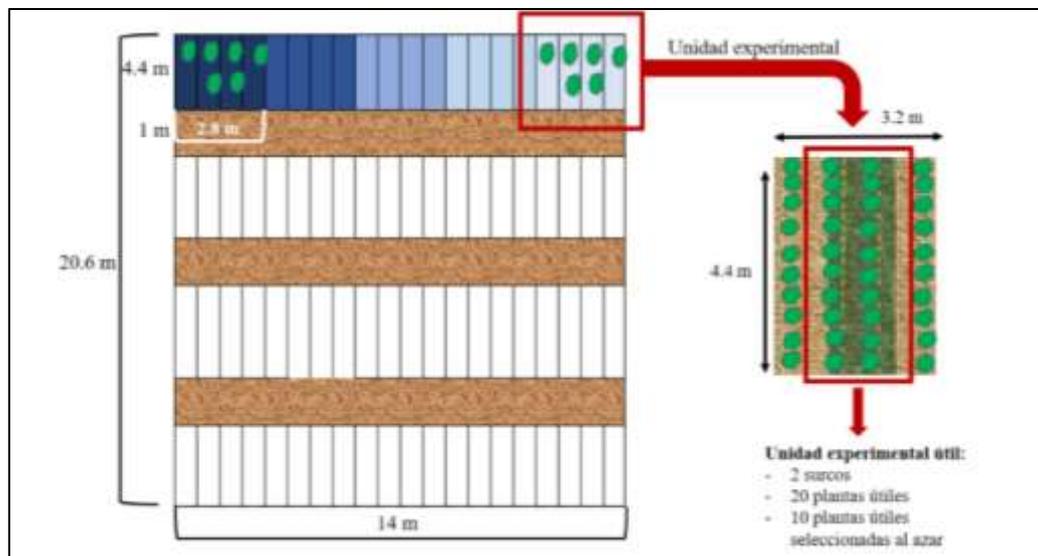


Figura 3. Distribución del área experimental

Un día antes previo al trasplante se realizó el humedecimiento del suelo. Luego se realizó el trasplante de la *Brassica oleracea* var. *italica* (plántulas de 7 días luego de siembra), con un distanciamiento dentro del surco de 40 cm y de 70 cm entre surcos (Toledo, 2003).

La preparación de la solución se realizó en un volumen final de 5 l, luego se procedió a diluir el volumen por cada UE de Phyco Terra[®] y posteriormente se colocó los 5 l restantes, se homogenizó la solución y se aplicó uniformemente en los surcos de cada UE. La aplicación de se realizó con una regadera (Figura 4).



Figura 4. Segunda aplicación de *Phyco Terra*[®] en cada unidad experimental

4.3. Metodología de análisis

La metodología fue dividida en parámetros físicoquímicos y biológicos del suelo, además de parámetros biológicos en la *Brassica oleracea* var. *italica*, rendimiento y análisis beneficio-costos de la utilización de la *Phyco Terra*[®], además de correlaciones y análisis multivariado de componentes principales.

4.3.1. Metodología para analizar parámetros en los suelos

a. Caracterización físicoquímica del suelo

Antes de la aplicación de *Phyco Terra*[®], se realizó un muestreo de suelos, para ello se efectuó un submuestreo (0 - 30 cm) de la superficie. Se determinó 10 puntos de muestreo aleatorio en la parcela (500 g), debido a que se recomienda un mínimo de 3 puntos en donde no haya combinaciones de tipo de suelo y manejo (USDA, 1999).

Luego de recabar las 10 muestras, se realizó la homogenización de esta para obtener una muestra representativa de 1 kg. Se etiquetó y remitió al Laboratorio de Suelos de la UNALM para su caracterización. Los indicadores recopilados en esta

caracterización fueron los siguientes: textura, pH, CE, CIC, materia orgánica, P y K (Anexo E).

Después de finalizado el experimento se realizó la misma metodología de muestreo en cada UEU para elaborar una comparación cuantitativa de los parámetros entre tratamientos. Para determinar el CIC se utilizó la metodología de Cloruro de Bario Trietanolamina a pH 8,2 (BaCl_2 -TEA), CIC efectiva por sumatoria de cationes extraídos al pH (Rodríguez y Rodríguez, 2002).

Para establecer la clase textural de suelo, se envió las muestras al laboratorio donde se determinó cuantitativamente el tamaño de las partículas, lo que se denomina análisis mecánico del suelo (Gabriels y Lobo, 2011).

El P disponible se ejecutó mediante el método de Olsen y el N disponible mediante el método de Kjeldahl (Zalba et al., 2002).

La determinación de la materia orgánica se efectuó mediante el método Walkey-Black (1934), para ello se empleó $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$ para oxidar el carbono orgánico, el cual se encontró en un nivel 0 de oxidación y luego pasó al nivel 4+. La materia orgánica se calculó indirectamente de acuerdo con el $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ restante que no reaccionó con el carbono (Monzó, 2020).

b. pH y conductividad eléctrica

La medición del pH se realizó semanalmente a partir de la tercera semana luego del trasplante hasta la semana 10 donde se realizó con el análisis de caracterización de suelos de cada UE. Se efectuó 3 submuestreos en cada UEU (0-30 cm de profundidad), posteriormente se homogenizó y se derivó una muestra por cada UE debidamente etiquetada. Luego de 48 horas se evaluó con un potenciómetro (Araujo et al., 2019) de marca Hanna HI98130 en una proporción 1:1.

La evaluación de la CE, se realizó en una solución 1:1 anteriormente utilizada (Monzó, 2020) con una frecuencia semanal.

c. Índice de estabilidad estructural de Pieri (IE)

Para determinar la estabilidad de agregados del suelo, se empleó el IE, que relaciona la materia orgánica, limo y arcilla a partir de la caracterización final de los suelos en cada UEU (Fernández, 2014).

$$IE = \frac{\%MO}{\%Limo + \%Arcilla} * 100$$

IE = Índice de estabilidad estructural de Pieri

%MO = Porcentaje de materia orgánica

%Limo = Porcentaje de limo

%Arcilla = Porcentaje de arcilla

d. Densidad aparente

Para determinar la densidad aparente se empleó la metodología de la probeta. Al final del experimento se colectó una muestra de suelo de cada UE (0-15 cm de profundidad). Las muestras se transportaron al laboratorio para medir el peso seco al aire y posteriormente evaluar el factor de humedad necesario en la respiración basal de suelos; previamente las muestras de suelo fueron tamizadas en 2 mm de poro (Salazar et al., 2020). Las muestras se llevaron a 105°C por 48 h, posteriormente se midió el peso seco del suelo. Se registró el volumen del suelo mediante la utilización de una probeta. Para el cálculo de densidad aparente, se dividió el valor de peso seco del suelo entre el volumen (Salazar et al., 2020).

$$\rho_{ap} = \frac{P_{suelo\ seco}}{V_{Ap\ suelo}}$$

ρ_{ap} = Densidad aparente del suelo (g/cm³)

$P_{suelo\ seco}$ = Peso suelo seco a estufa (g)

V_{suelo} = Volumen que ocupa en probeta (cm³)

e. Porosidad

Luego de determinar la densidad aparente, se identificó la porosidad para cada tratamiento, se utilizó la siguiente fórmula (Gabriels y Lobo, 2011).

$$\%P = \frac{S - S_a}{S} \times 100$$

$\%P$ = Porosidad en porcentaje del volumen total de la muestra

S = Densidad real del suelo (g/cm³)

S_a = Densidad aparente del suelo (g/cm³)

f. Humedad disponible y factor de humedad

Se empleó el método gravimétrico mediante la siguiente fórmula (Quichimbo et al., 2016).

$$\%H_s = \frac{P_{suelo\ al\ aire} - P_{suelo\ seco}}{P_{suelo\ seco}} \times 100$$

$\%H_s$ = Porcentaje de humedad disponible del suelo

$P_{suelo\ al\ aire}$ = Peso suelo al aire tamizado (g)

$P_{suelo\ seco}$ = Peso suelo seco a estufa (g)

Asimismo, se determinó el factor de humedad, para el cual se realizó a partir de la respiración basal de suelos, (Quichimbo et al., 2016):

$$f_H = \frac{P_{suelo\ seco}}{P_{suelo\ al\ aire}}$$

f_H = Factor de humedad del suelo

$P_{suelo\ seco}$ = Peso suelo seco a estufa (g)

$P_{suelo\ al\ aire}$ = Peso suelo al aire tamizado (g)

g. Resistencia a la penetración radicular

Este parámetro indicó el porcentaje de penetración del volumen total de sistema radicular presente en los primeros cm, como se muestra en la Figura 5.

$$\%P_{sr} = \frac{Hsr_{min} \times \%SR_{ex}}{Hsr}$$

$\%P_{sr}$ = Porcentaje de penetración en el suelo del sistema radicular principal evaluado a una Hsr_{min}

Hsr_{min} = Altura del sistema radicular principal con menor valor de los tratamientos (8 cm)

$\%SR_{ex}$ = Porcentaje del sistema radicular principal extraído (80%)

Hsr = Altura del sistema radicular principal evaluado (cm)



Figura 5. Evaluación de la Resistencia a la Penetración radicular

h. Respiración basal

En el análisis de respiración de suelos, se empleó la metodología de captura de CO_2 con soda cáustica mediante incubación estática y se cuantificó posteriormente con una titulación ácido base, siguiendo la metodología de Anderson (Anderson, 1982).

Primero se calculó el factor de humedad de cada tratamiento, el cual se obtuvo dividiendo el peso húmedo al aire entre el peso seco de estufa (Ensayo de densidad aparente y humedad). La incubación estática estuvo a 25°C y el suelo a una humedad del 50 - 70% de su capacidad de campo, dada la humedad que presentó el suelo, no fue necesario humedecerlo.

En cada UE, se pesó 10 g de suelo seco al aire y se colocó en un matraz de Erlenmeyer; en un vial se añadió 2 ml de NaOH 1M, se cerró el matraz y se llevó a la estufa a 25°C por 7 días. Luego de este tiempo, la trampa capturó el CO_2 emitido por los microorganismos de la muestra de suelo; después se añadió 0.8 ml de BaCl_2 1.25 M (7.6 g disueltos en 25 ml), luego se colocó unas gotas de fenolftaleína y se efectuó la titulación con HCl 0.2 M (5 ml en 300 ml de agua destilada) (Anderson, 1982).

Primero se hizo la titulación con un blanco (matraz de Erlenmeyer sin muestra de suelo), de acuerdo con este valor se determinó del factor de molaridad de NaOH mediante la siguiente fórmula (Anderson, 1982).

$$fM_{NaOH} = \frac{V_{HCl\ blanco} \times fM_{HCl} \times M_{NaOH}}{V_{NaOH\ vial} \times M_{HCl}}$$

fM_{NaOH} = Factor de molaridad NaOH

$V_{HCl\ blanco}$ = Volumen HCl gastado en el blanco (ml)

fM_{HCl} = Factor de molaridad HCl

M_{NaOH} = Molaridad de NaOH (M)

$V_{NaOH\ vial}$ = Volumen de NaOH que se puso en el vial (ml)

M_{HCl} = Molaridad de HCl (M)

Luego de hallar el factor de molaridad de NaOH, se determinó el mmol de NaOH inicial, con la siguiente fórmula (Anderson, 1982).

$$mmol_{NaOH\ i} = V_{NaOH\ vial} \times fM_{NaOH}$$

$mmol_{NaOH\ i}$ = mmol de NaOH inicial (mmol)

$V_{NaOH\ vial}$ = Volumen de NaOH que se puso en el vial (ml)

fM_{NaOH} = Factor de molaridad NaOH

Posteriormente se cuantificó los mmol de HCl consumidos y mmol de NaOH que reaccionaron con CO₂ (Anderson, 1982).

$$mmol_{HCl\ c} = V_{HCl\ g} \times fM_{HCl}$$

$mmol_{HClc}$ = mmol de HCl consumido (mmol)

V_{HClg} = Volumen de HCl gastado (ml)

fM_{HCl} = Factor de molaridad de HCl

$$mmol_{NaOHrx} = mmol_{NaOHi} \times mmol_{HClc}$$

$mmol_{NaOHrx}$ = mmol de NaOH que reaccionó con CO₂ (mmol)

$mmol_{NaOHi}$ = mmol de NaOH inicial (mmol)

$mmol_{HClc}$ = mmol de HCl consumido (mmol)

Posteriormente, se determinó los mmol de CO₂ producidos en la reacción (Anderson, 1982).

$$mmol_{CO2p} = \frac{mmol_{NaOHrx}}{mmol_{NaOHi}}$$

$mmol_{CO2p}$ = mmol de CO₂ producido (mmol)

$mmol_{NaOHrx}$ = mmol de NaOH que reaccionó con CO₂ (mmol)

$mmol_{NaOHi}$ = mmol de NaOH inicial (mmol)

Finalmente, se halló la masa C- CO₂ producidos por masa de suelo seco multiplicando por su peso atómico del carbono entre el peso del suelo seco (Anderson, 1982).

$$M_{C-CO2.dia} = \frac{mmol_{CO2p} \times P_C}{P_{suelo\ seco} \times \#días\ incubado}$$

$M_{C-CO2.dia}$ = Masa C- CO₂/masa de suelo seco (mg/kg) producido al día.

$mmol_{CO2p}$ = mmol de CO₂ producido (mmol)

P_C = Peso atómico del carbono (12 mg/mmol)

$P_{suelo\ seco}$ = Peso suelo seco a estufa con factor de humedad (kg)

$\#_{días\ incubado}$ = Número de días de incubación de la muestra

4.3.2. Metodología para analizar parámetros en *Brassica oleracea var. italica*

Para determinar el número de muestras en el seguimiento de parámetros en plantas (10 unidades por UE) se utilizó la siguiente fórmula matemático-estadístico (Ñaupás et al., 2013), teniendo en cuenta que del total de 800 plantas aproximadamente, se eliminó el 50% debido al efecto borde.

$$n = \frac{Z^2 pq \cdot N}{E^2(N - 1) + Z^2 pq} = 192$$

n = Muestra

N = Población (400 plantas)

Z = Nivel de confianza (95%)

E = Nivel de error (0.05)

p = Probabilidad de éxito (0.6)

q = Probabilidad de fracaso (0.4)

De esas 192 plantas, a cada UE les correspondería 10 muestras (192/20). Para darle un seguimiento a las plantas seleccionadas por un muestro aleatorio probabilístico, se utilizó como marca de seguimiento un lazo rojo colocado alrededor de la parte inferior del tallo, de esta forma facilitó el seguimiento de cada planta durante la experimentación.

a. Altura de la planta

La medición de altura de las plantas se realizó a partir de la segunda semana posterior al trasplante, la evaluación se realizó cada 7 días, para ello se utilizó la metodología de Lok que consiste en la evaluación de la altura a partir de la base del tallo hasta el hasta el ápice de la hoja verdadera más alta (Lok et al., 2008).

b. Diámetro del tallo

Se midió el diámetro del tallo con una regla vernier en la base del tallo, sobre la superficie del suelo (Zapata y Moreno, 2020) en las plantas seleccionadas. La evaluación se realizó posterior a los 30 días del trasplante, donde se evaluó cada 7 días.

c. Número de hojas

El conteo de las hojas verdaderas, se realizó a partir de los 15 días del trasplante, evaluándose cada 7 días. Fue empleada la metodología de Lok, donde se evaluó el número de hojas verdaderas de cada planta seleccionada (Lok et al., 2008).

d. Diámetro de inflorescencia

En el caso del diámetro de la inflorescencia de la planta, se utilizó una regla, tomando como valor el diámetro de la parte superior externa de la inflorescencia de cada planta dentro de cada UE (Toledo, 2003). la medición se realizó al momento de la cosecha.

e. Longitud radicular máxima

Se preseleccionó aleatoriamente dos plantas de cada UE, donde se visualizó la raíz principal y las secundarias, se evaluó la longitud radicular máxima al valor alcanzado por la prolongación de la raíz principal (Jiménez, 2020).

f. Volumen del sistema radicular principal

Luego de la anterior medición, se sustrajo cuidadosamente la planta desde el cuello de la raíz teniendo en cuenta que no se pierda el suelo adherido al sistema radicular. Al momento de remover el volumen principal de la raíz, se extrajo aproximadamente entre el 80 - 90% del total de raíces, el restante quedó atrapado en el suelo.

Una vez extraído el sistema radicular, se realizó las mediciones del volumen radicular principal, junto con el suelo adherido a la planta, es decir se tomó el alto, ancho y largo del volumen extraído, como se muestra en la Figura 6.



Figura 6. *Evaluación del volumen del sistema radicular principal.*

4.4. Rendimiento agrícola

La densidad de cultivo empleada en el diseño fue de 32 500 plantas.ha⁻¹ (40 plantas por UE), con un distanciamiento dentro del surco de 40 cm y de 70 cm entre surcos (Toledo, 2003). En la décima semana se realizó la cosecha del brócoli, para ello se registró el peso de la inflorescencia de las diez plantas seleccionadas al azar.

4.5. Análisis Beneficio-costo

Para establecer la relación beneficio-costo, se determinó los rendimientos, el costo derivado de su producción (por cada tratamiento y también de la siembra convencional) y los precios que se venden en el mercado local. Asimismo, se realizó previamente un flujo de caja (horizonte de 3 meses) en base de los costos de producción y con ello se determinó el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), además de la relación beneficio/costo (Anexo C).

Con el objeto de evaluar la rentabilidad del cultivo bajo varios tratamientos con el mercado convencional local, se recabó información de rendimientos locales (Lima produce aproximadamente 12.2 t.ha⁻¹) (Ministerio de Agricultura y Riego, 2019). y se comparó esta información con la obtenida durante la experimentación

4.6. Análisis estadístico

Se estableció un diseño de bloque completamente aleatorio con 5 tratamientos y 4 repeticiones. Se empleó el programa IBM SPSS Statistics 22.

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk (menos de 50 datos por tratamiento) fue establecida para determinar si se realizaría una prueba paramétrica o no paramétrica, teniendo en cuenta que T-Student y ANOVA son pruebas robustas frente a la ausencia de normalidad, siempre y cuando no sea demasiada. Se escogió pruebas no paramétricas a aquellas que no pasaran normalidad y además que tengan escasos datos en los que el error en T-Student y ANOVA fueran de importancia (Vallejo et al., 2010).

Para parámetros en los que se evaluó si existió diferencia significativa entre tratamientos de una única frecuencia (una variable independiente), se realizó ANOVA de un factor, aquí se determinó la homocedasticidad de las varianzas mediante la Prueba de Levene. Si hubo diferencia significativa en alguno de los tratamientos, se procedió a hacer

las pruebas Post-Hoc para analizar la significancia por pares, ya sea HSD Tukey (si el número de sujetos en tratamientos fue grande e igual), Bonferroni (si el número de los sujetos fue pequeño e igual) o Scheffe (si el número de sujetos no fue igual). En caso de que en la prueba de Levene, el $p < 0.05$ y por tanto no pasó homocedasticidad, se usó Welch o Brown-Forsythe en reemplazo de Levene y como post-hoc, T3 Dunnett (menos de 50 datos por grupo) o Games-Howell (prueba no paramétrica) (Dunnett, 1980). Como alternativa no paramétrica, cuando no pasó la prueba de normalidad se utilizó H-Kruskal Wallis y como post hoc, U de Mann Whitney.

Para parámetros de tipo ordinal, como lo fue el estado de degradación, se empleó la prueba no paramétrica de H de Kruskal-Wallis.

Por otro lado, para comprobar correlaciones de ciertas variables dependientes respecto a tratamientos (y entre las mismas variables), se utilizó Pearson o Spearman, dependiendo si los datos fueron paramétricos o no. Asimismo, se ejecutó un análisis multivariado de componentes principales para determinar la influencia de ciertos parámetros sobre los tratamientos.

4.7. Aspectos éticos

Se siguió los protocolos de bioseguridad del laboratorio de la Universidad Científica del Sur y del laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina para todo lo concerniente a la toma de muestras, transporte de estas y su respectiva disposición final. Cabe señalar que la empresa Heliae Global solo proporcionó el producto Phyco Terra®.

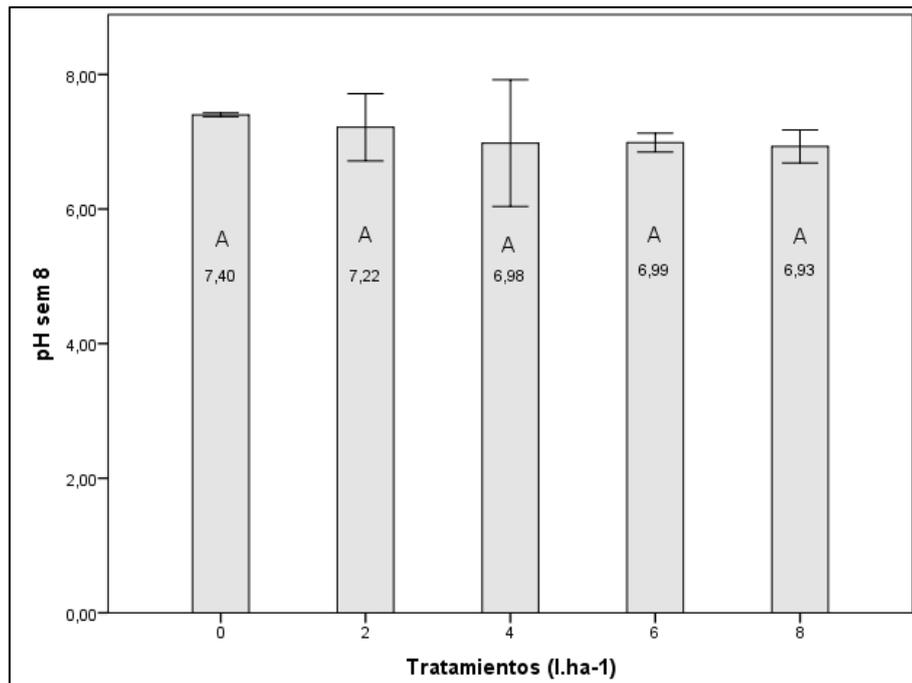
V. RESULTADOS

5.1. Análisis de suelo

5.1.1. Parámetros químicos del suelo

a. pH

La siguiente Figura 7 muestra las medias de pH correspondientes a la semana 8



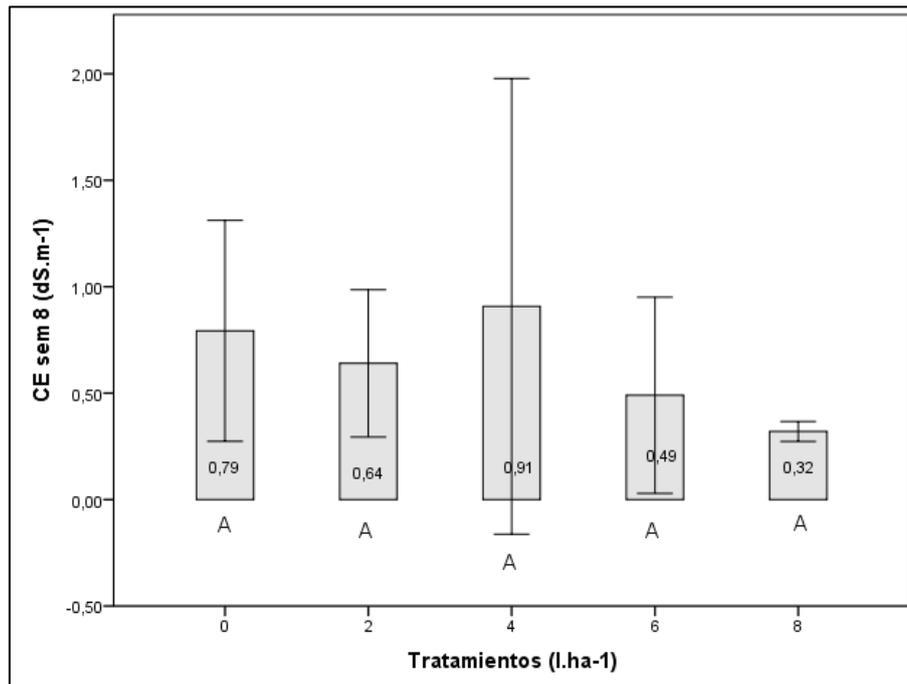
Nota: Letras distintas indican que hay diferencias significativas, de acuerdo con la prueba Anova ($p < 0.05$).

Figura 7. pH en la semana 8

En el análisis Anova de los datos de la última semana, se observó que no existen diferencias significativas ($p > 0.05$) entre todos los tratamientos de acuerdo con la Figura 7.

b. Conductividad eléctrica (CE)

De la misma forma, en la Figura 8 se muestra las medias de la CE de la última semana.



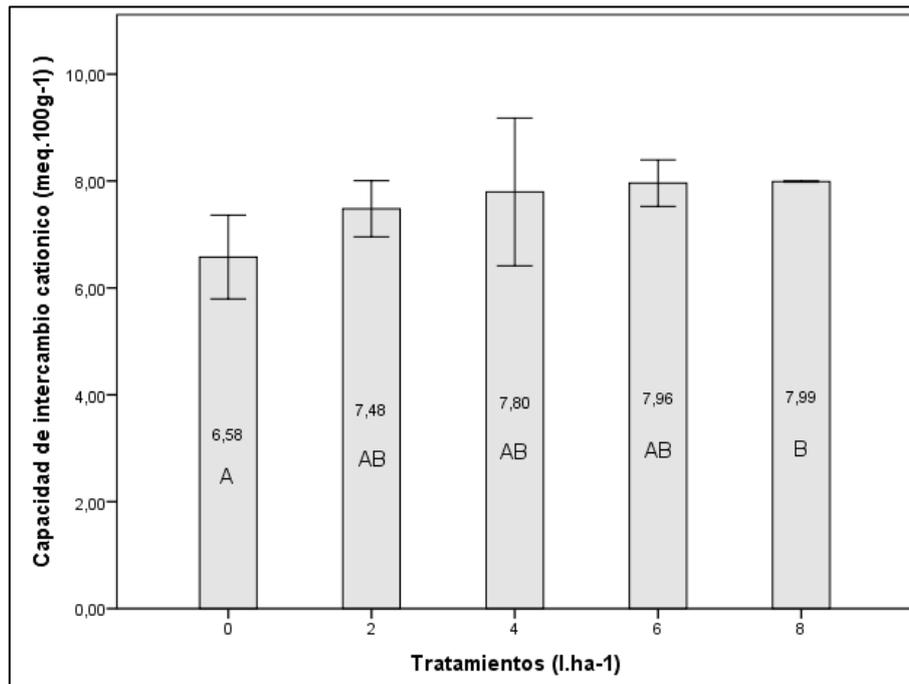
Nota: Letras distintas indican que hay diferencias significativas, de acuerdo con la prueba Anova ($p < 0.05$).

Figura 8. CE en la semana 8 ($dS.m^{-1}$)

Se puede observar que no hubo diferencias significativas entre todos los tratamientos ($p > 0.05$) para CE y este parámetro se comportó indistintamente en todos los tratamientos.

c. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Las medias se presentan en la Figura 9 correspondientes a las mediciones en la semana 8.



Nota: Letras distintas indican que hay diferencias significativas, de acuerdo con la prueba T3 Dunnet ($p < 0.05$)

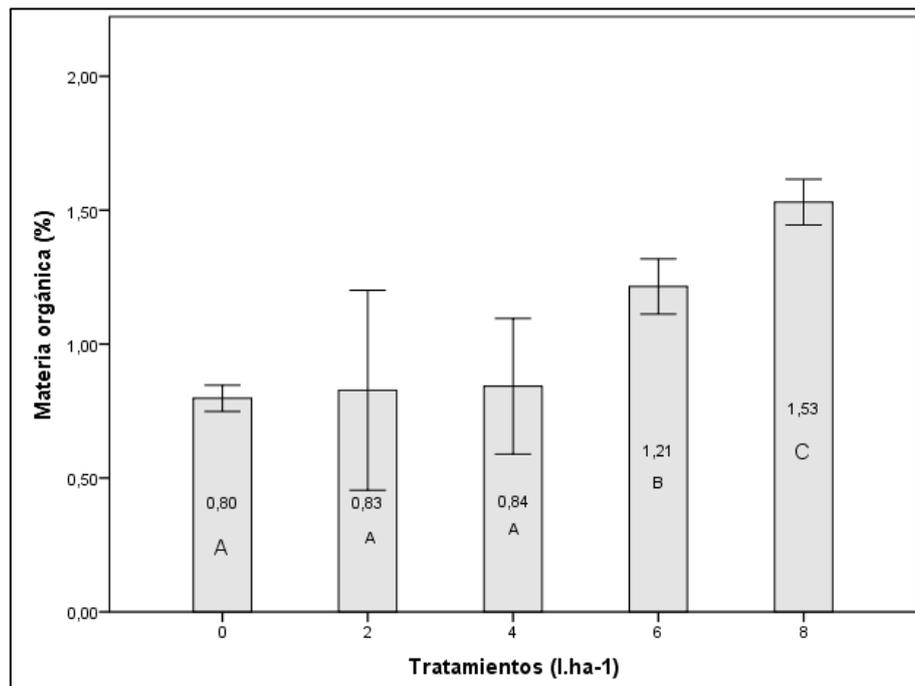
Figura 9. Capacidad de intercambio catiónico (meq.100g⁻¹) en la semana 8

La prueba ANOVA reflejó que existió un efecto estadísticamente significativo en el CIC, $F(4, 6.00) = 5.81$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.61$, donde el 61% (magnitud del efecto) de la varianza observada se explicaría por las diferencias entre tratamientos.

De acuerdo con la prueba T3-Dunnnett (Figura 9), el tratamiento de 8 l.ha⁻¹ presentó mayor CIC, diferenciándose significativamente del control ($p < 0.05$); sin embargo, con la aplicación de 6 l.ha⁻¹ y menores, ya no se observó diferencias significativas con el control ($p > 0.05$).

d. Contenido de materia orgánica

Las medias del contenido de materia orgánica se presentan en la Figura 10 correspondientes a las mediciones en la semana 8.



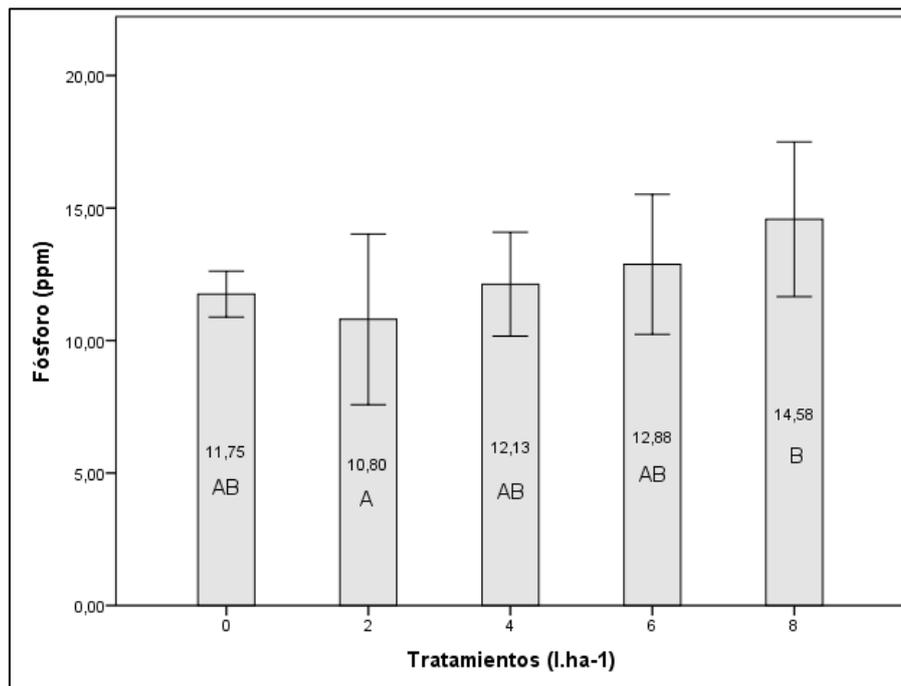
Nota: Letras distintas indican que hay diferencias significativas, de acuerdo con la prueba HSD Tukey ($p < 0.05$)

Figura 10. Materia orgánica (%) en la semana 8

Existió un efecto estadísticamente significativo en el porcentaje de materia orgánica $F(4,15) = 23.42, p < 0.05, \eta^2 = 0.86$, el 86% (magnitud del efecto) de la varianza observada se explicaría por las diferencias entre tratamientos. Además, HSD Tukey indicó que existieron diferencias significativas ($p < 0.05$) en porcentaje de materia orgánica (Figura 10). El tratamiento de 8 l.ha⁻¹ es el que alcanzó los valores máximos, diferenciándose significativamente de los demás tratamientos. Por otro lado, el control, el tratamiento de 2 l.ha⁻¹ y 4 l.ha⁻¹ no presentaron diferencias significativas manteniendo sus medias entre 0.80-0.84% de materia orgánica ($p > 0.05$), además que el tratamiento de 6 l.ha⁻¹ también presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) frente a menores concentraciones.

e. Contenido de fósforo (P)

La Figura 11 muestra las medias de contenido de P correspondientes a las mediciones en la semana 8.



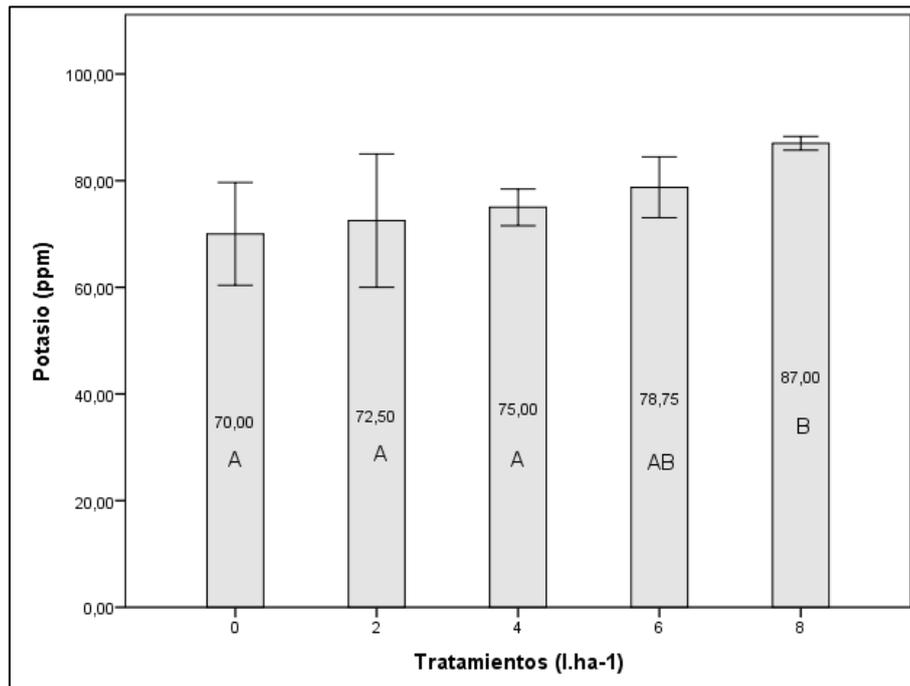
Nota: Letras distintas indican que hay diferencias significativas, de acuerdo con la prueba HSD Tukey ($p < 0.05$)

Figura 11. Fósforo (ppm) en la semana 8

El contenido de P $F(4,15) = 3.33, p < 0.05, \eta^2 = 0.47$ presentó diferencias significativas. Asimismo, HSD Tukey mostró tan solo diferencias significativas entre el tratamiento 2 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹ $t(15) = 3.45, p < 0.05$, siendo el tratamiento de 2 l.ha⁻¹ el que obtuvo una media menor de contenido de P y el de 8 l.ha⁻¹, la mayor media.

f. Contenido de potasio (K)

Las medias de contenido de K se presentan en la Figura 12 correspondientes a las mediciones en la semana 8.



Nota: Letras distintas indican que hay diferencias significativas, de acuerdo con la prueba HSD Tukey ($p < 0.05$)

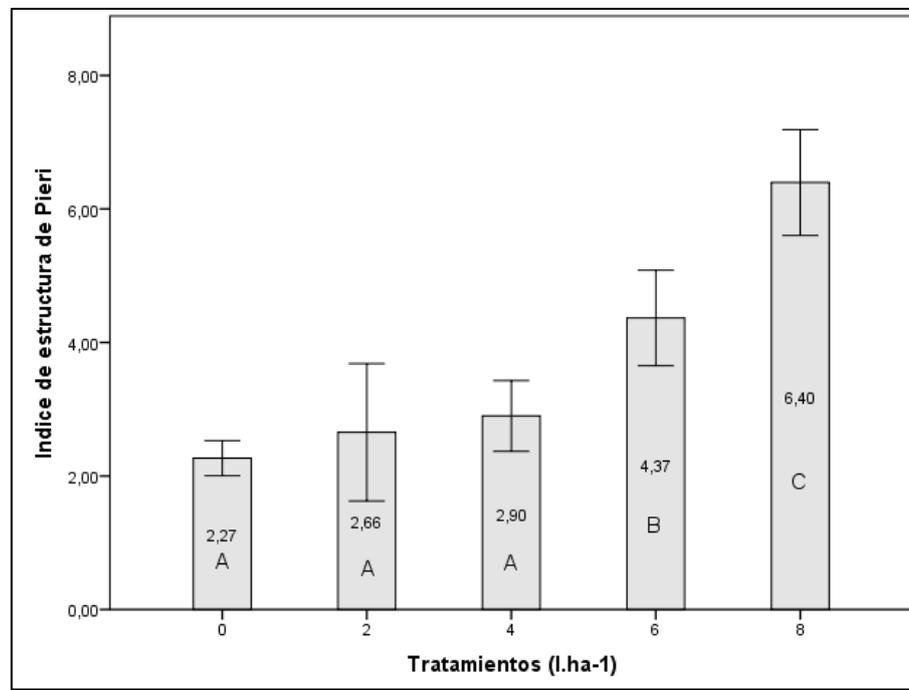
Figura 12. Potasio (ppm) en la semana 8

La prueba ANOVA reflejó que existió un efecto estadísticamente significativo en la concentración de K, $F(4,15) = 7.54$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.67$. Asimismo, HSD Tukey encontró diferencias entre el control, tratamiento de 2 l.ha⁻¹ y 4 l.ha⁻¹ con el tratamiento de 8 l.ha⁻¹ ($p < 0.05$). Los tratamientos de 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹ no presentaron diferencias significativas.

5.1.2. Parámetros físicos del suelo

a. Índice de estabilidad estructural de Pieri (IE)

La Figura 13 muestra las medias de IE correspondientes a la semana 8.



Nota: Letras distintas indican que hay diferencias significativas, de acuerdo con la prueba HSD Tukey ($p < 0.05$)

Figura 13. Índice de estabilidad estructural de Pieri en la semana 8.

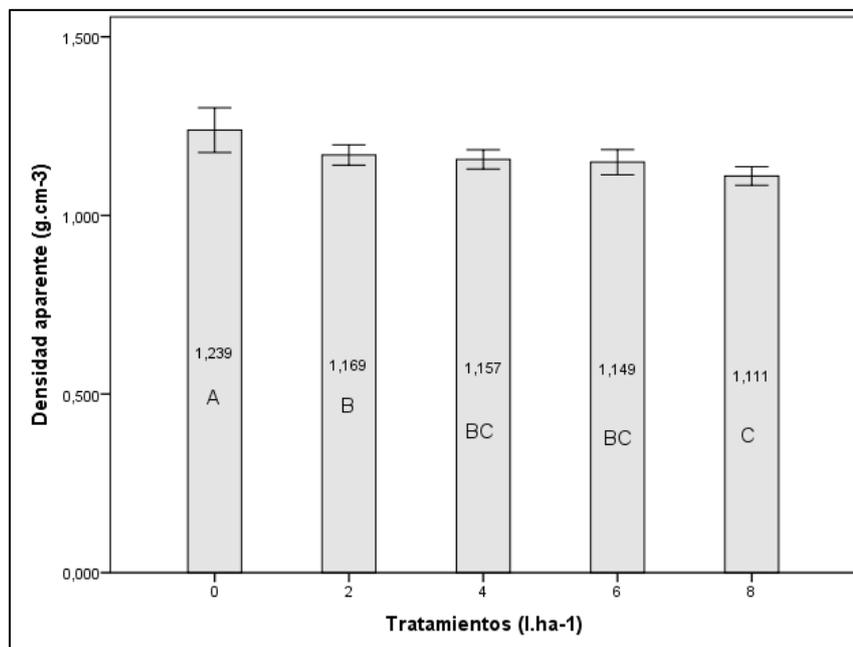
Las comparaciones por pares indicaron que existieron diferencias significativas ($p < 0.05$). Así, el tratamiento de 8 l.ha⁻¹ y 6 l.ha⁻¹ se diferenciaron entre sí y entre los demás tratamientos, con una media tres veces mayor que el control, para el tratamiento 8 l.ha⁻¹; y una media dos veces mayor, para el tratamiento 6 l.ha⁻¹ ($p < 0.05$). Por otro lado, los tratamientos 2 l.ha⁻¹, 4 l.ha⁻¹ y control, no presentaron diferencias significativas.

Por otro lado, de acuerdo con los datos anteriormente obtenidos para IE, se determinó de acuerdo con la escala de degradación formulada por Pieri, que sí existieron tratamientos que pasaron el rango y mejoraron su calidad, dichos resultados fueron significativos. La prueba U de Mann Whitney para comparaciones múltiples por pares indicó que existieron diferencias significativas sobre el estado de degradación del suelo

entre control, tratamiento de 2 l.ha⁻¹, tratamiento 4 l.ha⁻¹ y el tratamiento 8 l.ha⁻¹ ($p < 0.05$). Por otro lado, los tratamientos de 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹ no obtuvieron diferencia significativa ($p > 0.05$). (Anexos D19).

b. Densidad aparente

Las medias se presentan en la Figura 14 correspondientes a las mediciones en la semana 8.



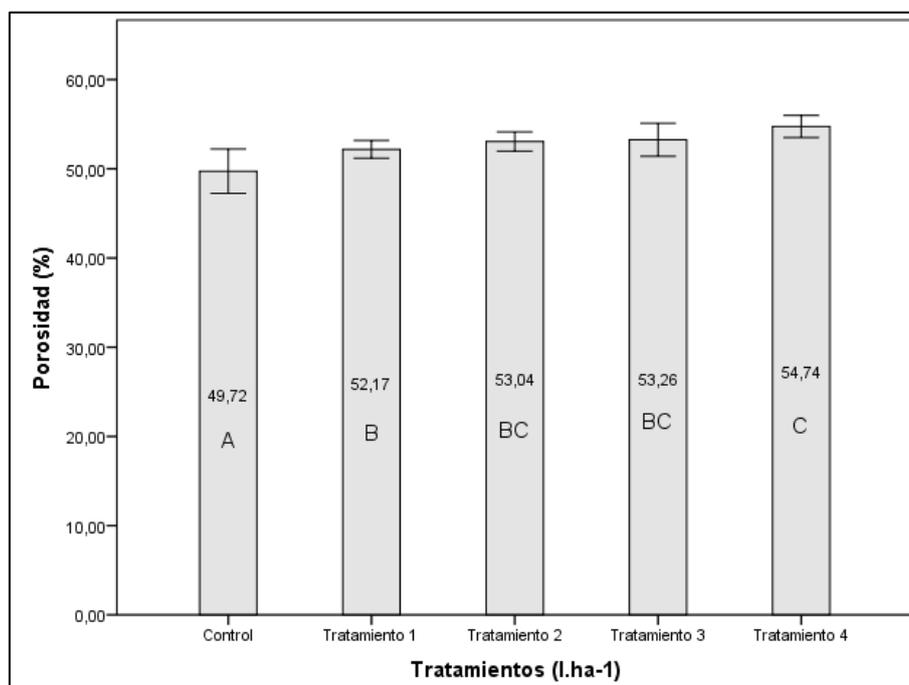
Nota: Letras distintas indican que hay diferencias significativas, de acuerdo con la prueba HSD Tukey ($p < 0.05$)

Figura 14. Densidad aparente (g.cm⁻³) en la semana 8

De acuerdo con la Figura 14, las pruebas Post Hoc de comparaciones múltiples por pares de HSD Tukey indicaron que existieron diferencias significativas ($p < 0.05$). El tratamiento de 8 l.ha⁻¹ (1.11 g.cm⁻³) presentó diferencias y menores medias respecto al control y tratamiento de 2 l.ha⁻¹ ($p < 0.05$), pero no se diferenció significativamente de los tratamientos de 4 l.ha⁻¹ y 6 l.ha⁻¹. Además, todos los tratamientos se diferenciaron significativamente del control.

c. Porosidad

La Figura 15 muestra las medias que corresponden a los datos de porosidad obtenidos en la semana 8.



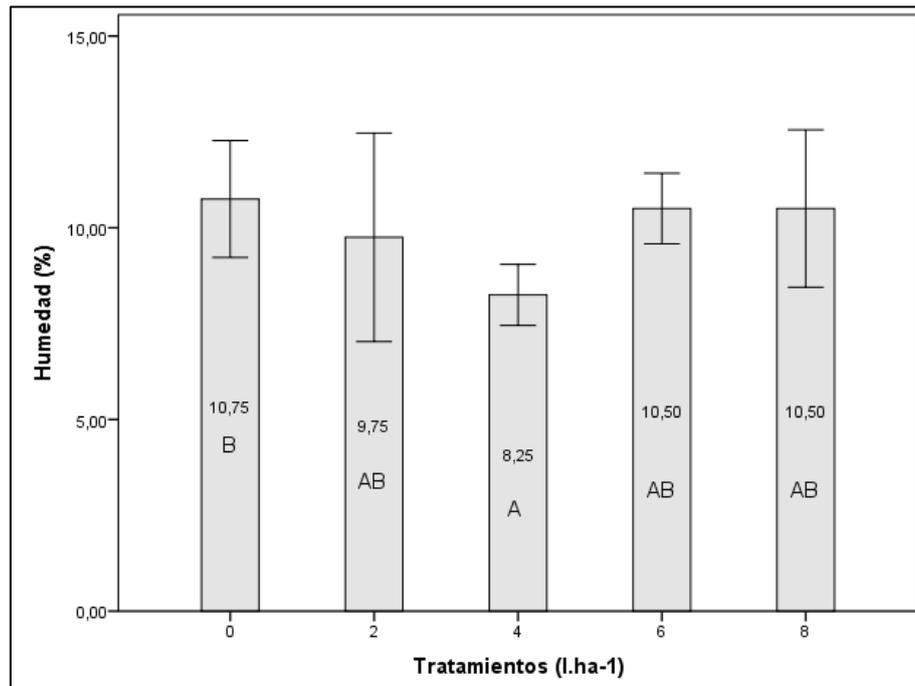
Nota: Letras distintas indican que hay diferencias significativas, de acuerdo con la prueba HSD Tukey ($p < 0.05$)

Figura 15. Porosidad (%) en la semana 8

Se observaron diferencias significativas desde el tratamiento de 2 l.ha⁻¹ hasta el tratamiento de 8 l.ha⁻¹ respecto al control ($p < 0.05$). No obstante, todos los tratamientos se mantuvieron en el rango medio de porosidad según Castillo (2005), aunque el tratamiento de 8 l.ha⁻¹ se acercó bastante al nivel alto de porosidad (Anexos A10).

d. Humedad disponible

Las medias se presentan en la Figura 16 correspondientes a las mediciones de humedad disponible en la semana 8.



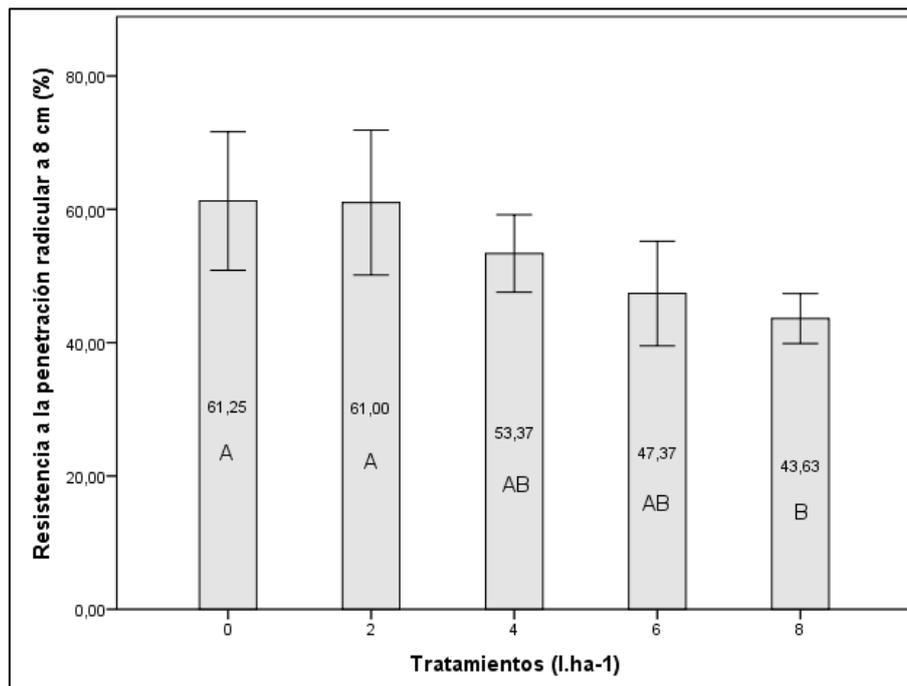
Nota: Letras distintas indican que hay diferencias significativas, de acuerdo con la prueba HSD Tukey ($p < 0.05$)

Figura 16. Humedad (%) en la semana 8

Existieron diferencias significativas aunque estas se dieron indistintamente en los tratamientos, donde el control obtuvo una mayor humedad, muy cercana al tratamiento de 8 l.ha⁻¹. El de 4 l.ha⁻¹ fue el que obtuvo un menor grado de humedad respecto a los demás tratamientos. Los únicos que se diferenciaron significativamente fueron el de 4 l.ha⁻¹ y el control ($p < 0.05$).

e. Resistencia a penetración radicular

Las medias se presentan en la Figura 17 correspondientes a las mediciones en la semana 10.



Nota: Letras distintas indican que hay diferencias significativas, de acuerdo con la prueba HSD Tukey ($p < 0.05$)

Figura 17. Resistencia a penetración radicular a los 8 cm (%) en *Brassica oleracea* var. *italica* (%) en la semana 10

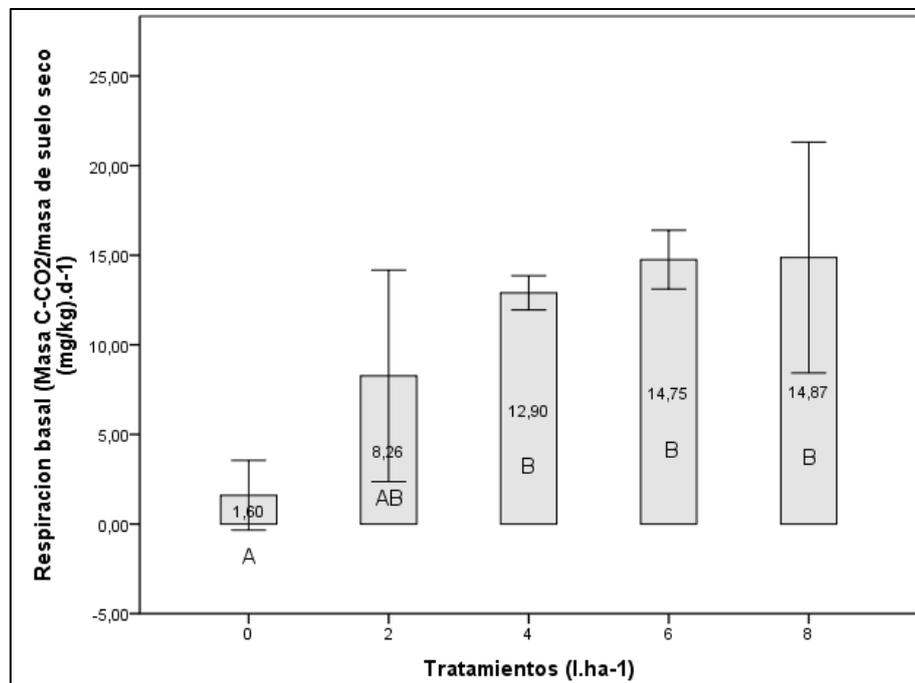
Las pruebas de comparaciones múltiples por pares indicaron que existieron diferencias significativas en la resistencia a la penetración radicular. Los resultados muestran que el control obtuvo una mayor resistencia a la penetración radicular en los primeros 8 cm, a diferencia del tratamiento de 8 l.ha⁻¹ ($p < 0.05$). Los tratamientos de 4 l.ha⁻¹, 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹ no presentaron diferencias significativas. Por otro lado, el tratamiento de 8 l.ha⁻¹, presentó diferencias significativas respecto al control y tratamiento de 2 l.ha⁻¹. En las Anexos F18-25, se presentan fotografías sobre lo observado.

5.1.3. Parámetro biológico del suelo

a. Respiración basal

Se utilizó una prueba de ANOVA de un factor, posteriormente se evaluó homocedasticidad ajustando los grados de libertad con Welch, por ser la que mejor

detectó el efecto. Las medias se presentan en la Figura 18 correspondientes a las mediciones en la semana 10.



Nota: Letras distintas indican que hay diferencias significativas, de acuerdo con la prueba T3 Dunnet ($p < 0.05$)

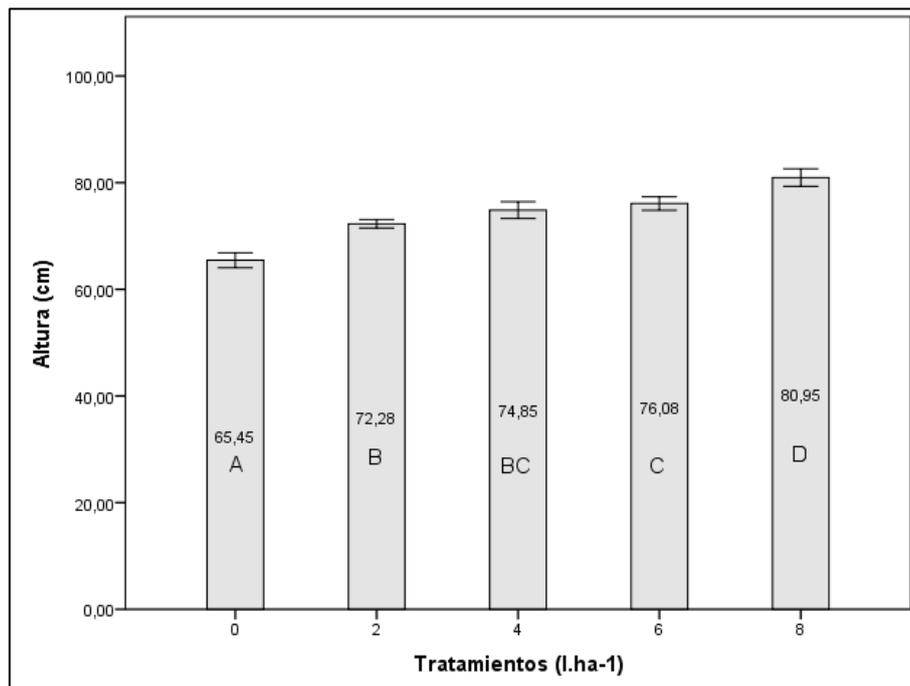
Figura 18. Respiración basal Masa C-CO₂/masa de suelo seco (mg/kg).d⁻¹ en la semana 10

La prueba ANOVA reflejó que existió un efecto estadísticamente significativo por el hecho de aplicar Phycos Terra® en la respiración basal de suelos $F(4, 6.97) = 19.22$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.84$. Asimismo, T3-Dunnett indicó que existió diferencias significativas ($p < 0.05$) en la respiración basal. Los resultados mostraron amplias diferencias del tratamiento de 4 l.ha⁻¹, 6 l.ha⁻¹ y de 8 l.ha⁻¹, respecto al control ($p < 0.05$); asimismo, el tratamiento de 2 l.ha⁻¹, no se diferenció significativamente del control ($p > 0.05$).

5.2. Análisis en *Brassica oleracea* var. *italica*

5.2.1. Altura de la planta

En la Figura 19 se muestra las alturas finales de las plantas en la semana 8.



Nota: Letras distintas indican que hay diferencias significativas, de acuerdo con la prueba HSD Tukey ($p < 0.05$)

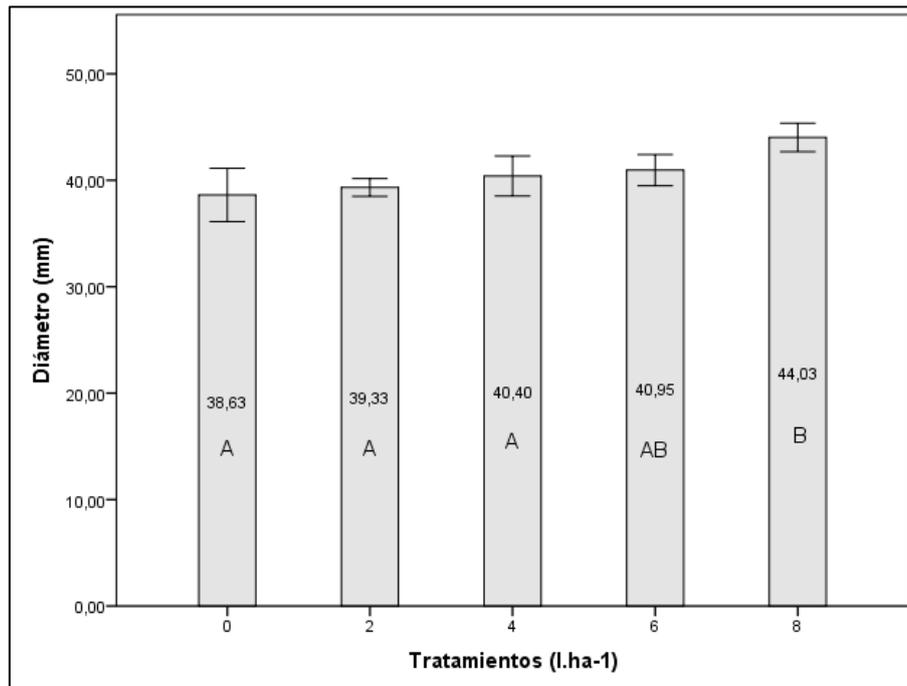
Figura 19. Altura en *Brassica oleracea var. italica* (cm) en la semana 8

Las comparaciones múltiples, mostraron diferencias significativas entre los tratamientos de 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹. Además, también hubo diferencias entre el control y todos los demás tratamientos. La aplicación de 8 l.ha⁻¹ fue la que obtuvo una mayor media de altura.

Por otro lado, la prueba de efectos principales intersujetos mostró que existió un efecto principal significativo de los tratamientos en la altura de la planta $F(1, 195) = 89760.04$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 1.00$, es decir, si se ignora la variable tiempo, habría diferencias estadísticamente significativas en la altura según los tratamientos y prácticamente el 100% de la varianza se explicaría por las diferencias entre tratamientos.

5.2.2. Diámetro de tallo

El diámetro del tallo finales se encuentra evidenciados en la Figura 20.



Nota: Letras distintas indican que hay diferencias significativas, de acuerdo con la prueba HSD Tukey ($p < 0.05$)

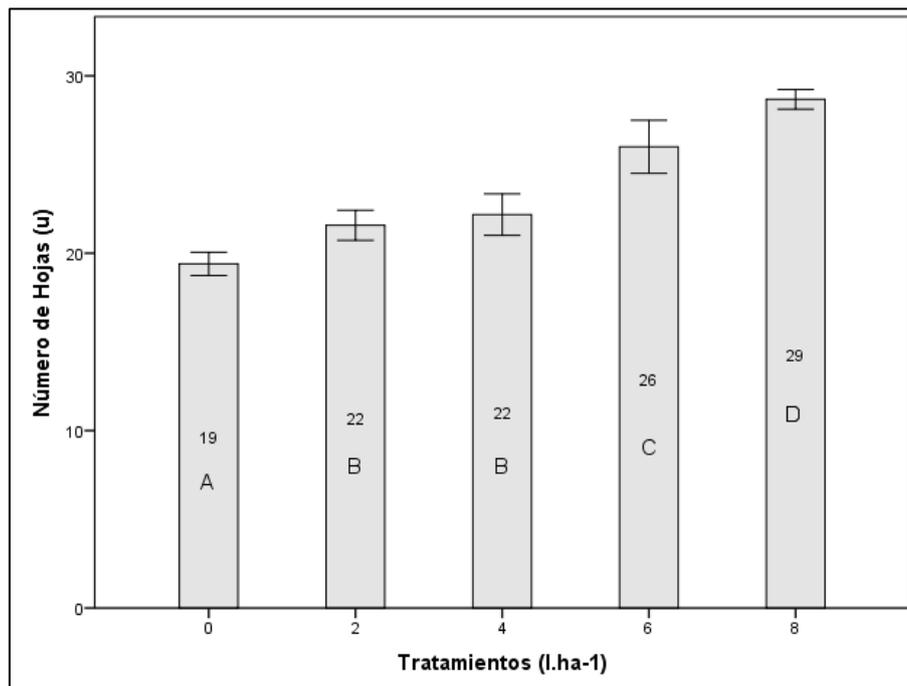
Figura 20. Diámetro en *Brassica oleracea* var. *italica* (mm) en la semana 8

De acuerdo con las comparaciones por pares, se evidenció que el tratamiento de 8 l.ha⁻¹ se diferenció significativamente de los tratamientos de 4 l.ha⁻¹, 2 l.ha⁻¹ y control. Por otro lado, el tratamiento de 6 l.ha⁻¹ no se diferenció de los demás ($p < 0.05$).

La prueba de efectos principales intersujetos mostró un efecto principal significativo de los tratamientos en el diámetro del tallo $F(1, 195) = 21442.07, p < 0.05$, $\eta^2 = 0.99$, es decir, si se ignora la variable tiempo, habría diferencias estadísticamente significativas en el diámetro del tallo según los tratamientos y el 99% de la varianza se explicaría por las diferencias entre tratamientos.

5.2.3. Número de hojas

El número de hojas en la semana 8 se encuentra evidenciado en la Figura 21.



Nota: Letras distintas indican que hay diferencias significativas, de acuerdo con la prueba HSD Tukey ($p < 0.05$)

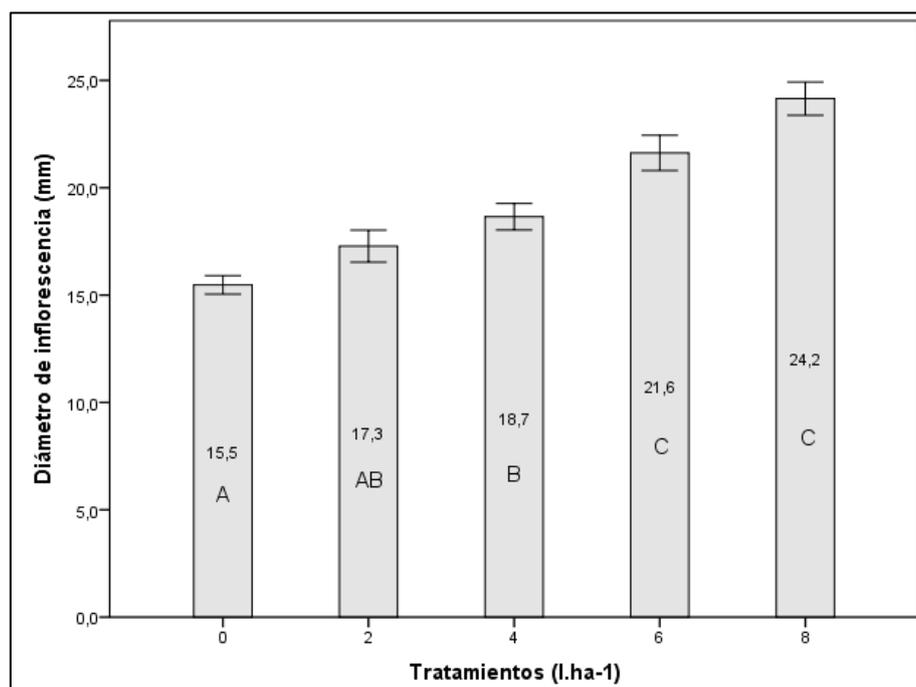
Figura 21. Número de hojas en *Brassica oleracea* var. *italica* (u) en la semana 8

De acuerdo con la Figura 21, se observó diferencias significativas entre el tratamiento de 8 l.ha⁻¹ y los demás; al igual que el tratamiento de 6 l.ha⁻¹ con los restantes. Sin embargo, los tratamientos de 2 l.ha⁻¹ y 4 l.ha⁻¹ no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$).

Por otro lado, la prueba de efectos principales intersujetos mostró un efecto principal significativo de los tratamientos en el número de hojas $F(1, 195) = 37006.23$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 1.00$, es decir, si se ignora la variable tiempo, habría diferencias estadísticamente significativas en el número de hojas según los tratamientos.

5.2.4. Diámetro de la inflorescencia

La prueba de H de Kruskal Wallis para muestras independientes determinó diferencias significativas en general y U de Mann Whitney por pares. Las medias se presentan en la Figura 22 correspondientes a las mediciones en la semana 10.



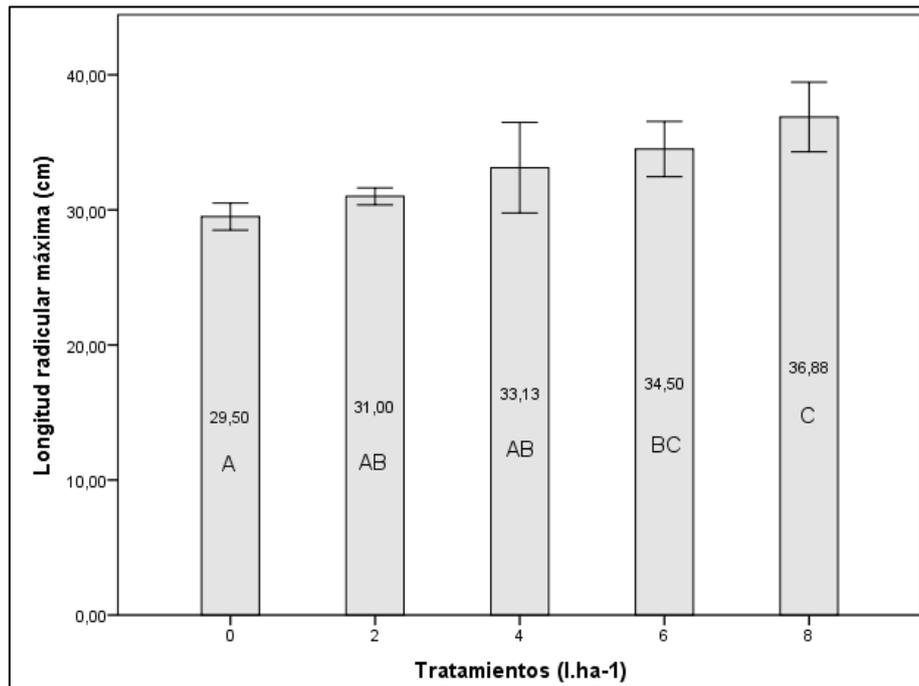
Nota: Letras distintas indican que hay diferencias significativas, de acuerdo con la prueba U de Mann Whitney ($p < 0.05$)

Figura 22. Diámetro de la inflorescencia en *Brassica oleracea* var. *italica* (cm) en la semana 10.

Las comparaciones múltiples por pares indicaron que existieron diferencias significativas de diámetro de la inflorescencia entre control y tratamiento de 4 l.ha⁻¹, 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹; diferencias entre el tratamiento de 2 l.ha⁻¹, 4 l.ha⁻¹ con el tratamiento de 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹ ($p < 0.05$).

5.2.5. Longitud radicular máxima

Las medias se presentan en la Figura 23 correspondientes a las mediciones en la semana 10.



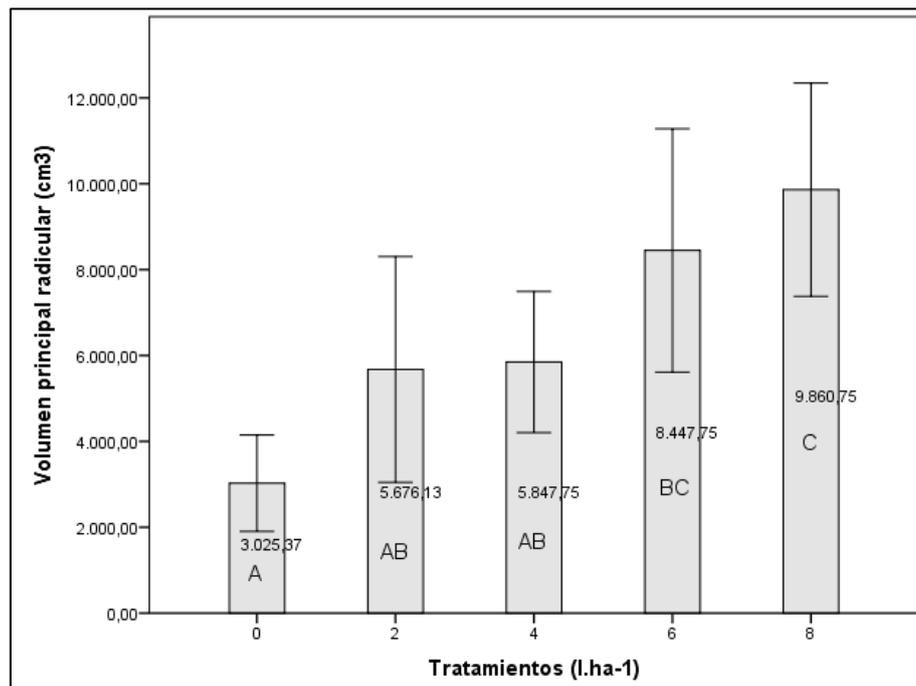
Nota: Letras distintas indican que hay diferencias significativas, de acuerdo con la prueba HSD Tukey ($p < 0.05$)

Figura 23. Longitud radicular máximo en *Brassica oleracea* var. *italica* (cm) en la semana 10

Las pruebas Post Hoc de comparaciones múltiples por pares de HSD Tukey indicaron diferencias significativa en la longitud radicular máxima, es el tratamiento de 8 l.ha⁻¹ el que se diferenció significativamente del control , tratamiento de 2 l.ha⁻¹ y el de 4 l.ha⁻¹ ($p < 0.05$). Los tratamientos de 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹ no se diferenciaron significativamente.

5.2.6. Volumen del sistema radicular principal

Las medias se presentan en la Figura 24 correspondientes a las mediciones en la semana 10.



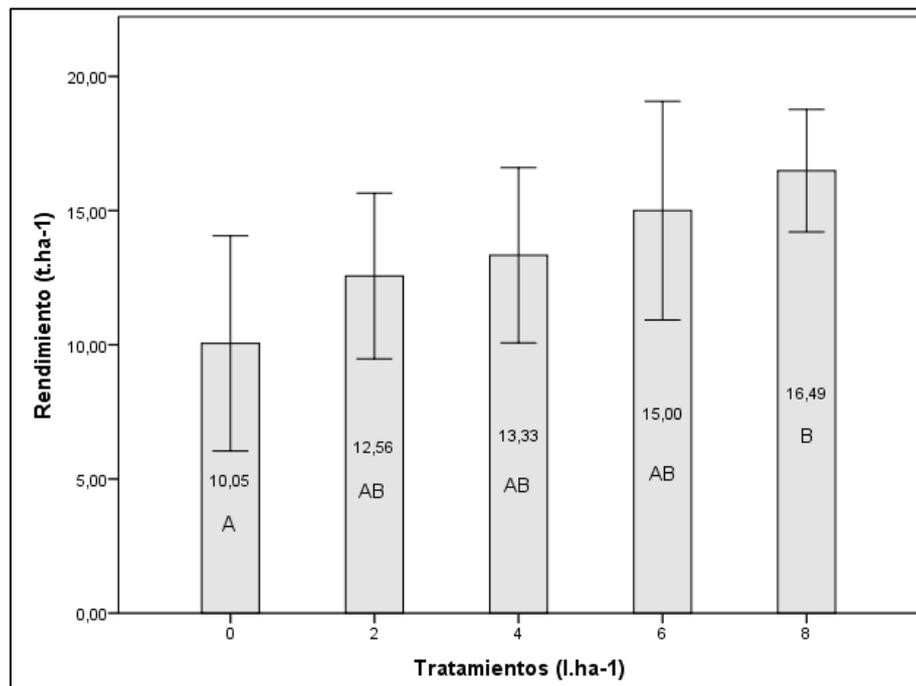
Nota: Letras distintas indican que hay diferencias significativas, de acuerdo con la prueba HSD Tukey ($p < 0.05$)

Figura 24. Volumen del sistema radicular principal en *Brassica oleracea* var. *italica* (cm³) en la semana 10.

El tratamiento de 8 l.ha⁻¹ se diferenció significativamente del control, tratamiento de 2 l.ha⁻¹ y 4 l.ha⁻¹, obteniendo un volumen medio máximo 9860 cm³ ($p < 0.05$). El tratamiento de 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹ no presentaron diferencias significativas. Asimismo, en los Anexos F18-25, se presentan imágenes sobre lo observado.

5.3. Resultado de rendimiento agrícola

Las medias se presentan en la Figura 25 correspondientes a las mediciones en la semana 10.



Nota: Letras distintas indican que hay diferencias significativas, de acuerdo con la prueba HSD Tukey ($p < 0.05$)

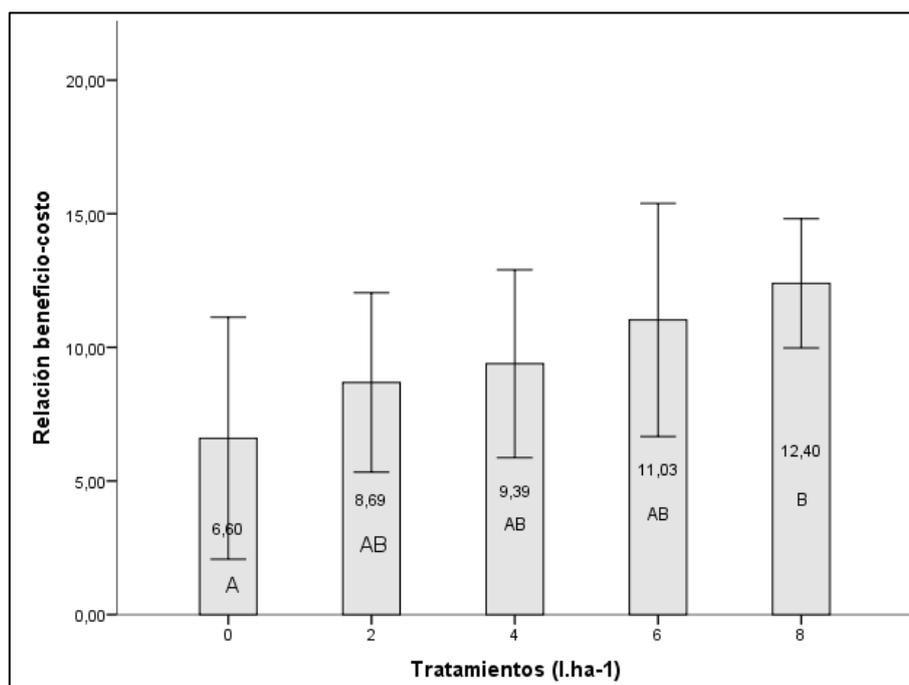
Figura 25. Rendimiento agrícola de *Brassica oleracea* var. *italica* (t.ha⁻¹) en la semana 10

De acuerdo con la Figura 25, se evidenciaron que tan solo hubo diferencias significativas entre el tratamiento de 8 l.ha⁻¹ y el control ($p < 0.05$). Además, se observó que no hubo diferencia significativa entre los tratamientos de 2 l.ha⁻¹, 4 l.ha⁻¹, 6 l.ha⁻¹ y control ($p > 0.05$).

Asimismo, se evaluó la diferencia significativa del tratamiento de 8 l.ha⁻¹ respecto al rendimiento agrícola del mercado local de Lima (rendimiento obtenido del informe del del Ministerio de Agricultura y Riego=12.2 t.ha⁻¹) (Ministerio de Agricultura y Riego, 2019), mediante la prueba T-student para una muestra, se evidenció una diferencia significativa ($t(3) = 5.98$ $p < 0.05$). (Anexos D52-57).

5.4. Resultado de análisis relación beneficio-costo

El proceso de análisis de relación beneficio-costo, además el VAN y TIR de los tratamientos se presentan en el Anexo C7. Las medias correspondientes a los tratamientos se presentan en la Figura 26.



Nota: Letras distintas indican que hay diferencias significativas, de acuerdo con la prueba HSD Tukey ($p < 0.05$)

Figura 26. Relación beneficio costo

Las pruebas Post Hoc de comparaciones múltiples por pares de HSD Tukey indicaron diferencias significativas ($p < 0.05$). Se observó que tan solo el tratamiento de 8 l.ha⁻¹ (B/C= 12.40) se diferencia significativamente del control (B/C= 6.60) ($p < 0.05$).

Además, se evaluó las diferencias significativas de los tratamientos respecto a la relación B/C del mercado local de Lima (12.2 t.ha⁻¹, relación B/C = 4.21) (Ministerio de Agricultura y Riego, 2019), mediante la prueba T-student para una muestra. Se evidenció que existen diferencias significativas de acuerdo con la siguiente Tabla 3.

Tabla 3. T-Student de relación beneficio/costo respecto al mercado local.

Tratamientos	t	p	Diferencia significativa
Control –Mercado local	1.68	$p > 0.05$	No
Tratamiento de 2 l.ha ⁻¹ –Mercado local	4.24	$p < 0.05$	Sí
Tratamiento 4 l.ha ⁻¹ –Mercado local	4.68	$p < 0.05$	Sí

Tratamiento 6 l.ha ⁻¹ –Mercado local	4.97	$p < 0.05$	Sí
Tratamiento 8 l.ha ⁻¹ –Mercado local	10.77	$p < 0.05$	Sí

Se observó diferencias significativas en todos los tratamientos frente al mercado local, excepto con el control, que mantuvo la misma relación beneficio costo.

5.5. Resultado de correlaciones y análisis multivariado

5.5.1. Correlaciones de efectos en suelos

Se realizó correlaciones referentes a las relaciones establecidas por los estudios de Heliae Global respecto a las propiedades Phycos Terra[®]. En este punto se evaluó la cadena de efectos cíclicos alrededor de la materia orgánica y su papel en la estructura de suelos. Para esto, se realizó las correlaciones de Pearson para materia orgánica, respiración basal, índice de estructura de Pieri, densidad aparente y porosidad, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Correlaciones Pearson de efectos en suelos

Tratamientos	ρ	p	N
%Materia orgánica - Respiración basal	0.55	$p < 0.05$	20
Respiración basal – Índice de estructura de Pieri	0.62	$p < 0.05$	20
%Materia orgánica– Índice de estructura de Pieri	0.96	$p < 0.05$	20
Densidad aparente- Porosidad	-0.99	$p < 0.05$	20
Densidad aparente- %Materia orgánica	-0.67	$p < 0.05$	20
Densidad aparente- %Humedad	0.23	$P > 0.05$	20

En el primer caso, existió una relación significativa entre la respiración basal y la materia orgánica ($p < 0.05$), esta relación fue directa y considerable ($0.4 < \rho \leq 0.60$) y por

tanto la correlación fue fuerte. En el segundo caso, existió una relación significativa entre la respiración basal y el índice de estructura de Pieri ($p < 0.05$), esta relación fue indirecta y muy intensa ($0.60 < \rho \leq 0.90$) y debido a ello la correlación fue muy alta. Además, existió una relación significativa entre la materia orgánica y el índice de estructura de Pieri ($p < 0.05$), esta relación fue directa y muy intensa ($0.60 < \rho \leq 0.90$) con una correlación muy alta.

Asimismo, existió una relación significativa entre la densidad aparente y porosidad ($p < 0.05$), esta relación fue indirecta y muy intensa ($0.60 < \rho \leq 0.90$) y por tanto la correlación fue muy alta. Finalmente, existió una relación significativa entre la densidad aparente y materia orgánica ($p < 0.05$), esta relación fue indirecta y muy intensa ($0.60 < \rho \leq 0.90$), la correlación fue muy alta.

Sin embargo, no existió relación significativa entre densidad aparente y humedad disponible ($p > 0.05$).

5.5.1. Análisis multivariado de suelo y rendimiento

Se realizó un análisis multivariado de componentes principales para los parámetros de suelo y rendimiento. Los resultados se muestran en la siguiente Figura 27.

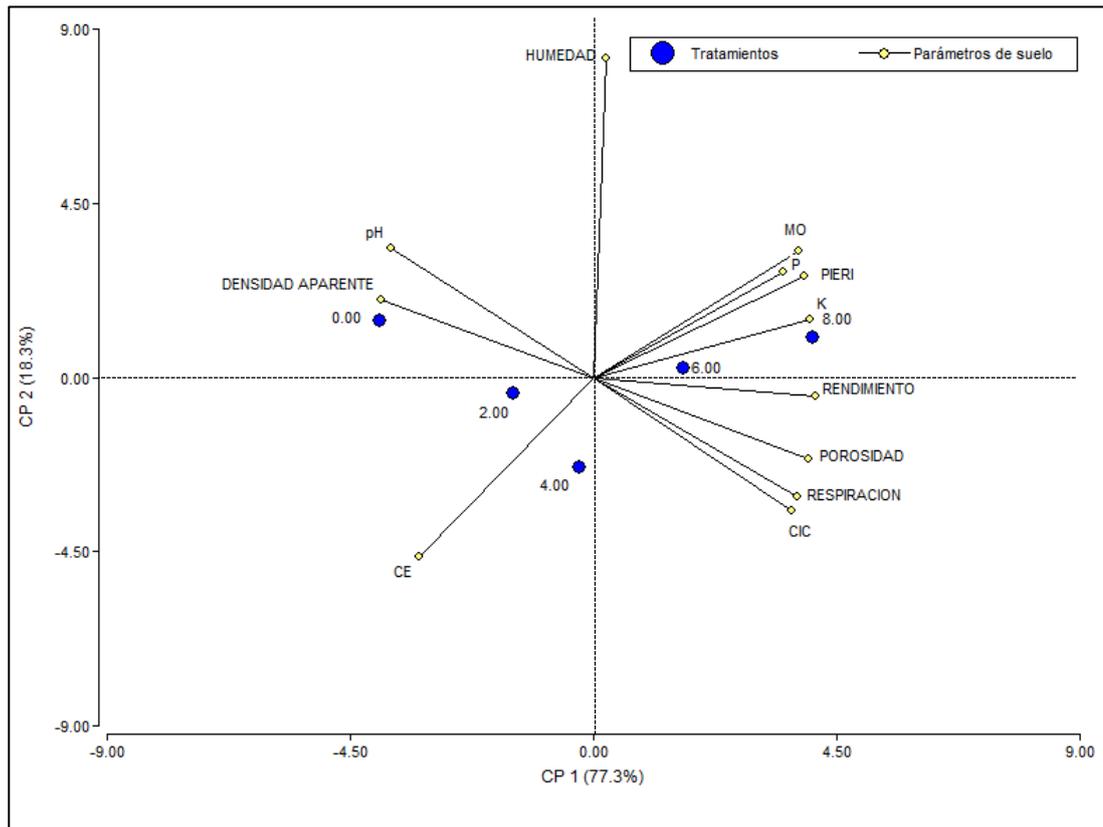


Figura 27. Análisis multivariado de componentes principales para suelo y rendimiento

Se evidenció de acuerdo con los vectores, que los parámetros de pH y densidad aparente fueron los que aportaron mayor información para el tratamiento sin aplicación de Phyco Terra® (0 l.ha⁻¹). Asimismo, la conductividad eléctrica fue la que contribuyó soporte a los tratamientos de 2 l.ha⁻¹ y 4 l.ha⁻¹. Por otro lado, los parámetros de P, K, materia orgánica, índice de estructura de Pieri, porosidad, respiración, CIC y rendimiento, fueron los factores clave que brindaron soporte a los tratamientos de 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹.

5.5.2. Análisis multivariado aéreo de *Brassica oleracea* var. *italica*

De la misma forma se realizó un análisis multivariado de componentes principales para los parámetros de la *Brassica oleracea* var. *italica*. Los resultados se muestran en la siguiente Figura 28.

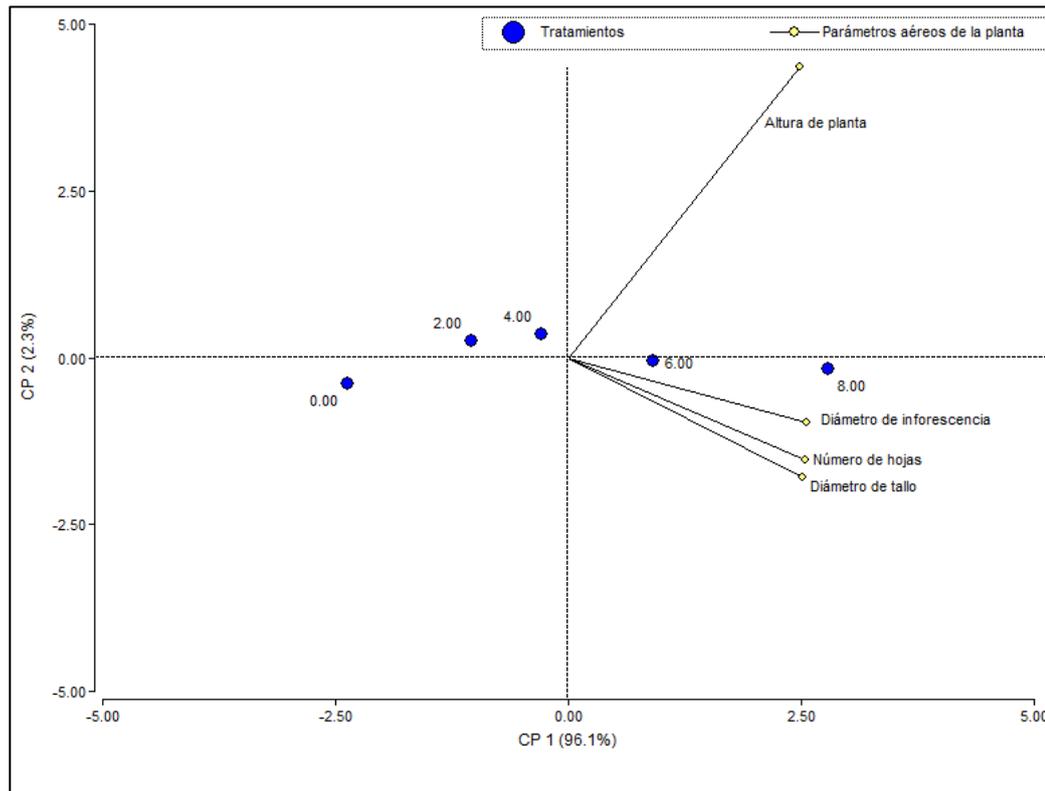


Figura 28. Análisis multivariado de componentes principales aéreas para *Brassica oleracea* var. *italica*.

Se observó que los parámetros de diámetro de tallo, número de hojas y diámetro de inflorescencia aportaron información y soporte a los tratamientos de 6 l.ha^{-1} y 8 l.ha^{-1} . Por otro lado, los tratamientos de 0 l.ha^{-1} , 2 l.ha^{-1} y 4 l.ha^{-1} no tuvieron parámetros que les brinden soporte. El parámetro de altura de planta contribuyó un soporte menor a los tratamientos de 6 l.ha^{-1} y 8 l.ha^{-1} .

5.5.3. Análisis multivariado radicular de *Brassica oleracea* var. *italica*

Asimismo, se ejecutó un análisis multivariado de componentes principales para los parámetros radiculares de la *Brassica oleracea* var. *italica*. Los resultados se muestran en la siguiente Figura 29.

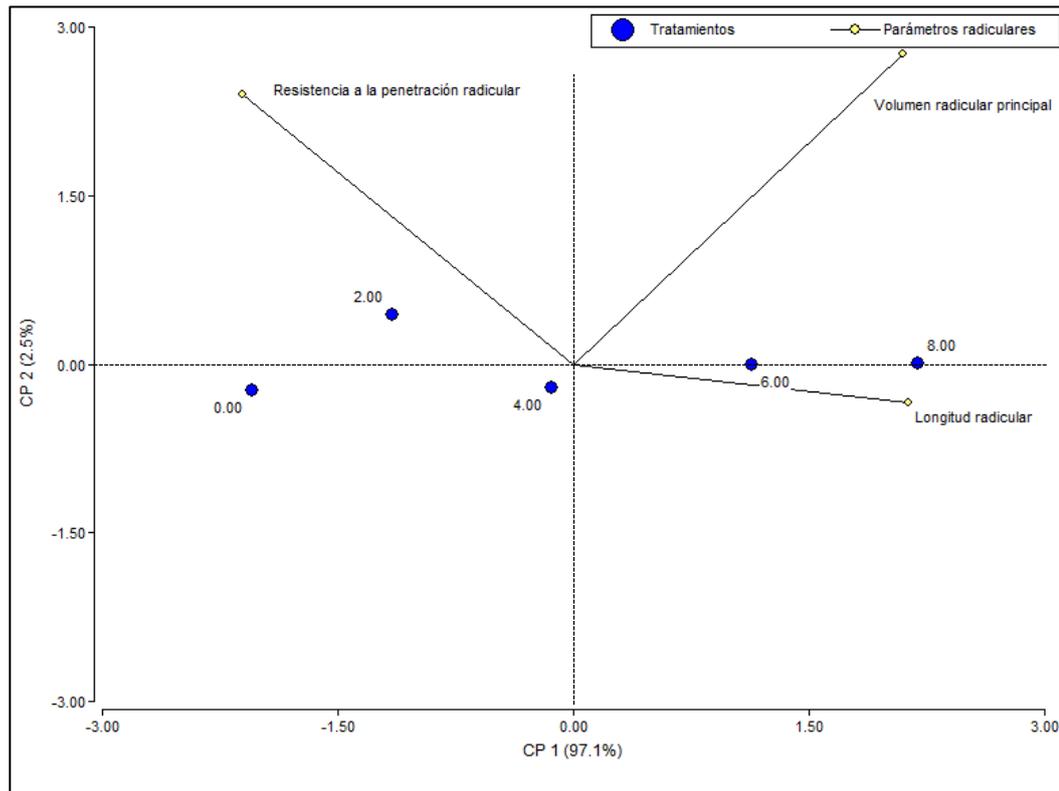


Figura 29. *Análisis multivariado de componentes principales radiculares para Brassica oleracea var. italica.*

Se evidenció que la resistencia a la penetración radicular aportó información a los tratamientos de 0 l.ha^{-1} , 2 l.ha^{-1} y 4 l.ha^{-1} . Asimismo, la longitud radicular brindó soporte a los tratamientos de 6 l.ha^{-1} y 8 l.ha^{-1} . Por otro lado, ningún parámetro aportó soporte a control. Finalmente, el volumen radicular no contribuyó a ninguno de los tratamientos.

VI. DISCUSIÓN

6.1. Variación en el pH

Según los resultados presentados, se evidenció que no hubo diferencias significativas luego de ocho semanas para el pH; sobre esto, Koritschner (2019) expone que una enmienda con contenido orgánico afecta muy ligeramente el pH del suelo y depende de las características de la enmienda si lo que producirá será un acrecentamiento, decrecimiento o estabilización del pH; por ejemplo, en un estudio sobre un complejo de microalgas nativas, se observó un aumento en el pH en los tratamientos con mayor contenido orgánico (Vargas, 2019); sin embargo, en el caso de la presente investigación, la aplicación de Phyco Terra[®], no generó variaciones entre los tratamientos, y si las hubo, fueron tan ligeras que no fueron significativas en el estudio.

De acuerdo con el análisis de componentes múltiples, el pH tuvo una influencia importante hacia el control, por tanto, refuerza la tesis de que el pH no se vio afectado por las aplicaciones de Phyco Terra[®] ni brinda soporte a estos, dada las características de la enmienda (Vargas, 2019).

Por otro lado, al culminar la investigación, los suelos de todos los tratamientos fueron neutro, con excepción del control (ligeramente alcalino), de acuerdo con ello, Esquivel (2021) indica que uno de los efectos que se generaría en estos suelos, sería la precipitación de algunos micronutrientes, impidiendo su disponibilidad para las plantas jóvenes ($\text{Fe}^{3+} + 3\text{OH}^- \leftrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3$), y generando cultivos pobres. Asimismo, valores de pH por encima del 7, podrían afectar la actividad microbiológica del suelo e incidir en el producto final (Castro y Daza, 2016).

6.2. Variación en la conductividad eléctrica (CE)

De acuerdo con las especificaciones del producto de Heliae Global (2020), regula la salinidad en el suelo, sin embargo, de acuerdo con los resultados obtenidos, se observó que no es del todo así en las condiciones edáficas de la experimentación y con el cultivo del brócoli, ya que los niveles de salinidad cambian inestablemente a lo largo de las semanas y al finalizar la experimentación.

Esto se puede explicar, de acuerdo con lo que señala Andrades (2001) sobre los suelos con textura más fina (arcillosos) son los que generan altos valores de CE, además, según Castillo (2021) el valor de CE se vuelve más alto cuanto mayor sea su capacidad de concentración de sales solubles en relación con su fácil flujo y movilización en la solución del suelo (húmedo y relativamente poroso). La textura del área experimental fue franco arenosa, debido a que es un suelo costero, por tanto, sus valores de CE, como mostraron los resultados, son entre no salinos y ligeramente salinos.

Asimismo, de acuerdo con el análisis multivariado de componentes principales, se observó que los tratamientos de 2 l.ha⁻¹ y 4 l.ha⁻¹ se vieron influenciados por la conductividad eléctrica. Sin embargo, para los tratamientos de 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹, su influencia es mucho menor. Una posible explicación respecto a los datos obtenidos en CE sería lo expuesto por López (2020) que indica que más que modificar la salinidad en el suelo, genera en la planta un aumento en la tolerancia frente al estrés salino. Esto es observable y evidenciable en los resultados fisiológicos de la planta (Figura 19) y en su rendimiento agrícola (Figura 25).

6.3. Variación en la capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Los rangos del CIC varían de acuerdo con la textura del suelo, y el nivel aceptable para un suelo franco arenoso (gruesa) es de 6-12 meq.100g⁻¹ y del de franco arenoso (moderadamente gruesa), de 12-30 meq.100g⁻¹ (Anexo A5) (Moro, 2015).

Los resultados del análisis multivariado mostraron que el CIC brindó soporte ligero a los tratamientos de 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹, esto se encuentra conforme con lo encontrado en México, que determinó las diferencias de distintos manejos de suelo y cultivos, el agroecológico (franco-arcillo-arenoso), convencional (franco arenoso) y mixto (franco-arcillo-arenoso), y en lo referente al CIC, no encontró diferencias entre estos manejos y sus valores se mantuvieron bajos, al igual que los tratamientos analizados; asimismo, menciona que este CIC está estrechamente relacionado con el pH, arcilla y materia orgánica (Martínez et al., 2021), materia orgánica aportada por la Phyco Terra®.

6.4. Variación en la concentración de materia orgánica

Esta investigación concordó con un estudio realizado en Ecuador sobre la comparación de la estructura del suelo en diferentes manejos donde se encontró que existen elementos susceptibles a los manejos agronómicos, como la materia orgánica y el nitrógeno (Barrenzuela, 2017), esto mismo se observó en los resultados del tratamiento de 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹ que se diferenciaron significativamente de los otros tratamientos y control, debido a un mayor aporte orgánico.

Asimismo, de acuerdo con el análisis multivariado de componentes principales, el contenido de materia orgánica se vió fuertemente influenciado por los tratamientos de 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹, al igual que en un estudio de manzanos en México, dónde se demostró que una aplicación de biofertilización tuvo un efecto positivo en la materia orgánica en

un 24.41%, sin embargo, a diferencia de la presente investigación, ellos además de la biofertilización aplicaron de forma combinada una fertilización química, además de que hicieron aplicaciones sucesivas en tres años observando efectos residuales (Orozco et al., 2016).

Por otro lado, se halló una respuesta positiva en *Lactuca sativa* L. var. *crispa* mediante el uso de *Chlorella sp.*; se encontró que su aplicación fomentó la recuperación y aumento de aquellos nutrientes deficientes en el suelo, además de un aumento en el rendimiento igualando a los efectos del uso de fertilizantes químicos (León, 2015), quedó demostrado que la materia orgánica en el suelo es susceptible a cambios proporcionales frente a las aplicaciones de los tratamientos.

6.5. Variación en los macronutrientes fósforo y potasio

En el caso de P se encontró diferencias entre el tratamiento de 2 l.ha⁻¹ y el tratamiento de 8 l.ha⁻¹; y en el caso del K, diferencias entre el control, tratamiento de 2 l.ha⁻¹ y de 4 l.ha⁻¹. Es decir, hubo un mayor impacto en el macronutriente K que en el P. Esto se explica debido a que la microalga *Chlorella sp* presenta 16 veces más contenido de K que de P (Becerra y Sánchez, 2019).

Según Andrades (2001), los resultados de K se encontraron en un nivel bajo, incluso el tratamiento de 8 l.ha⁻¹ no alcanzó al nivel regular. Por otro lado, en lo referente al P, el control y el tratamiento de 2 l.ha⁻¹ se mantuvo en los niveles bajos, mientras que el tratamiento de 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹ pasaron al rango regular. Lo que implica que en concentraciones mayores a 4 l.ha⁻¹ se podría visualizar un efecto significativo en los macronutrientes.

Sobre esto señala Becerra (2019) en su investigación donde evalúa el potencial de la microalga *Chlorella sp* en el cultivo de zanahoria y sus efectos en el suelo, que esta

solución de microalga presenta contenidos importantes de K, P, materia orgánica y N, por tanto, se considera muy útil como bioestimulante, recuperando suelos con deficiencia nutricional.

Según el análisis multivariado, el contenido P y K presentaron un mayor efecto en los tratamientos de 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹; así un aumento en las concentraciones de estos macronutrientes, según Villareal (2017) implicaría un aumento en la altura de la planta, mayor desarrollo radicular, aparición pronta de frutos y calidad. Además, Andrades (2001) señala que la materia orgánica facilita la retención de estos macronutrientes y evita su pérdida y poca asimilabilidad por parte de la planta.

Según Toledo (2003), el requerimiento de P de la *Brassica oleracea* var. *italica* es de 20 ppm de acuerdo con su densidad y profundidad de muestreo; en el tratamiento de 8 l.ha⁻¹ se obtuvo 14.57 ppm (representando el 75% de su requerimiento), lo que indicó un efecto positivo respecto al control (11.75 ppm).

6.6. Variación en el índice de estabilidad estructural de Pieri y en la degradación del suelo

El tratamiento de 8 l.ha⁻¹, si bien es cierto no culminó físicamente degradado según lo encontrado en el índice de Pieri al término del cultivo (Pieri, 1995), aún podría ser reversible y volver a su estado previo, debido a ello la importancia de mantener un manejo continuado con aplicaciones sucesivas en próximas siembras (Heliae Global, 2020). Cabe precisar que en los resultados del análisis de degradación del suelo (Anexo D19), los tratamientos de 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹, no tuvieron diferencia significativa, y teniendo en cuenta que solo el tratamiento de 8 l.ha⁻¹ presentó un estado no degradado diferenciándose significativamente de los demás, esto implicó que ambos tratamientos estuvieron muy

juntos en el borde del rango de Pieri, y que ambas categorías de los tratamientos podrían ser intercambiables.

Los resultados de esta investigación mostraron, al igual que los de Torres (2013), que la estructura pudo ser influenciada por otros parámetros, como el desarrollo radicular, humus joven, actividad microbiana como la emisión de polisacáridos excretados por microalgas, etc. Aquello se comprobó, gracias a las correlaciones realizadas, debido a que existió una relación intensa entre la respiración basal y el IE ($0.4 < \rho \leq 0.60$), y una relación directa y muy intensa ($0.4 < \rho \leq 0.60$) entre la materia orgánica y el IE. Asimismo, de acuerdo con el análisis multivariado de componentes principales, el IE se ve fuertemente influenciado por los tratamientos de 6 l.ha^{-1} y 8 l.ha^{-1} . Lo que indicó que a estas concentraciones se podría ver efectos sobre el IE.

En una investigación con la *Chlorella sp.*, muestra que los responsables de la mejora en la estructura del suelo son los polisacáridos, denominado mucílago, y que son capaces de eliminar la erosión y a la vez aumentar el contenido orgánico del suelo; además, se encontró en dicha investigación que estas microalgas son capaces de controlar infecciones y plagas (Ortiz et al., 2019), estos efectos concordaron con Torres (2013) y Melendres (2017), tan solo que este último demostró efectos de la estructura del suelo en la porosidad, densidad aparente y la humedad en el suelo.

Todos estos efectos sobre la estructura no serían posibles, de no tener un manejo sostenible del suelo, como los que se llevó a cabo en la presente investigación, ya que estas generarían un impacto positivo a mediano y largo plazo (Ramos et al., 2021).

6.7. Variación en la densidad aparente, porosidad y humedad

Para el caso de la densidad aparente del suelo, suele cambiar a menudo respecto al manejo que se le haga al suelo, tanto es así que como señala Ramírez (2015), esta se

suele utilizar como indicador de estructura del suelo, ya que, en la mayoría de las veces, una densidad baja suele implicar mayor porosidad y por tanto agregación, reduciendo la compactación del suelo y eventualmente, como señala Andrades (2001) una mayor humedad que facilitaría la asimilación y disponibilidad de nutrientes. Todo ello concuerda con la presente investigación, donde la densidad aparente estaba ligada a los valores de porosidad (la relación fue indirecta y muy intensa ($0.60 < \rho \leq 0.90$)), debido a que la agregación del suelo generó además mayor actividad biológica en el suelo (movimiento) e intercambio gaseoso, disminuyendo de esta manera la densidad aparente del suelo en tratamientos como los de 6 l.ha^{-1} y 8 l.ha^{-1} respecto al control.

Además, los resultados estuvieron en concordancia con lo hallado por Ramírez (2015), que mostró la relación inversa de la porosidad a la densidad aparente y directa en ocasiones a la humedad en la producción de semillas *Megathyrsus maximus*, más bien encontró que la aplicación de humus no generó una tendencia al aumento o a la disminución en la humedad disponible, como lo observado en todos los tratamientos, donde la humedad no tuvo diferencias significativas; por otro lado, también demostró que la porosidad es influenciada por la estructura del suelo. De acuerdo con lo último, igualmente en la presente investigación no se encontró correlación significativa entre densidad aparente y humedad ($p > 0.05$).

Por otro lado, los resultados de esta investigación concertaron con lo encontrado por Seguel (2003) y Salamanca (2005), que evidenciaron que la aplicación de materia orgánica favoreció enormemente en las propiedades físicas del suelo, como es el caso de la porosidad, que aumentó respecto al control y que en el caso de la presente investigación, se vio influenciada por los tratamientos de 6 l.ha^{-1} y 8 l.ha^{-1} .

6.8. Variación en la resistencia a la penetración radicular

La resistencia a la penetración radicular varió indistintamente en los tratamientos, ya que el suelo del control (61.25% de resistencia) resistió el avance de las raíces significativamente mucho más respecto al tratamiento de 8 l.ha⁻¹ (43.63 % de resistencia) en los primeros 8 cm. Esto mostró, de acuerdo con Monsalve y Bochet (2010), una compactación menor en el tratamiento de 8 l.ha⁻¹ reflejada por su mayor porosidad.

De la misma forma que señala Monsalve y Bochet (2010) y como los resultados mostrados, este parámetro estuvo relacionado con la estructura, densidad aparente y la porosidad del suelo, por tanto, un suelo con mayor compactación y con menor porosidad, generó que el sistema radicular presente dificultades al momento de alcanzar e intercambiar nutrientes con el suelo, como es evidenciado en el análisis multivariado radicular, donde los tratamientos de 0 l.ha⁻¹, 2 l.ha⁻¹ y 4 l.ha⁻¹ tuvieron una mayor influencia en la resistencia a la penetración radicular.

6.9. Variación en la respiración basal de suelos

En una investigación donde se trató de establecer indicadores biológicos en una región semiárida el 66% de la variación observada en la respiración se explicó por el contenido de carbono (Fernández et al., 2018), mientras que, en la presente investigación, el 84% de la variación de los efectos observados se explicaría por las diferencias entre tratamientos. Sin embargo, se señala en dicha investigación que, si se aumenta el contenido orgánico sobre cierto umbral, los efectos son contraproducentes y genera una disminución en la respiración basal de suelos.

Respecto a esta variación encontrada en la actividad microbiológica del suelo, en especial en los tratamientos de 4 l.ha⁻¹, 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹, una investigación sobre actividad enzimática y respiración basal en suelos de cacao señaló que es una evidencia indirecta

de que existe una proliferación distinta en comunidades microbianas de las unidades experimentales de los tratamientos, que a su vez es ocasionada por los manejos agroecológicos que se realizan; lo que concuerda con la hipótesis planteada de a mayor contenido orgánico y mejor manejo del suelo, existe una mayor respiración de este (Arnaldo et al., 2009).

Asimismo, al igual que en este estudio, se encontró en una evaluación de indicadores biológicos una correlación directa entre la cantidad de carbono orgánico con la biomasa microbiana, su respiración y coeficiente metabólico (Palma, 2011), solo que en la presente investigación la correlación aparte de haber sido directa fue considerable ($0.4 < \rho \leq 0.60$). Cabe precisar, que según Fernández (2018), la variación en la actividad biológica inferida a partir de su respiración respondió a una variable a corto plazo, y eventualmente podría cambiar.

Los resultados presentados concuerdan con una investigación sobre la actividad de la *Chlorella sp.* en suelo con textura franco arenosa, la respiración del suelo se vio incrementada en los tratamientos donde se aplicó estas microalgas, respecto a los cultivos sin estas, esto fue una respuesta gracias al desarrollo de una comunidad estable de microorganismos en el suelo, al igual que la presente investigación la toma de muestra se hizo hasta los primeros 30 cm, donde se dice que hay una mayor actividad biológica (Nguyen y Tran, 2019).

Finalmente, se pudo comprobar gracias al análisis multivariado, lo señalado por Heliae Global (2020), que la Phyco Terra® tuvo efectos en la actividad microbiana del suelo, principalmente a partir de aplicaciones de 6 l.ha^{-1} , a mayor contenido orgánico, mayor sería la actividad microbiana (Torres, 2013).

6.10. Variación en la altura, diámetro de tallo y número de hojas

En el cultivo de *Brassica oleracea* var. *italica*, se pudo identificar efectos sobre la altura, diámetro de tallo y el número de hojas, es decir sobre el desarrollo del tejido meristemático principal y secundario. De acuerdo con los resultados obtenidos se presenciaron los mismos efectos en el área foliar con lo señalado por Bolaño y Ramírez (2016), donde aplicaron un consorcio de la microalga *Chlorella sp.* en el cultivo de rábano (*Raphanus sativus*).

Respecto al diámetro del tallo, Toledo (2003) sostiene que la *Brassica oleracea* var. *italica* puede llegar a tener entre 2 y 6 cm de grosor, de acuerdo con ello, el tratamiento de 8 l.ha⁻¹ fue el que más se acercó al límite superior (4.5 cm en la semana 8), mientras que el control, obtuvo las medias más bajas (3.6 cm en la semana 8).

Al igual que en esta investigación, donde en líneas generales, se obtuvo una diferencia significativa del tratamiento de 8 l.ha⁻¹ respecto a los demás tratamientos, así como también el crecimiento meristemático brindó soporte a los tratamientos de 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹, en un informe sobre el efecto biofertilizante a base de *Chlorella* y *Scenedesmus* sobre el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), las diferencias significativas se encontraron en el tratamiento con mayor concentración (100%) en número de vainas y flores, además de crecimiento como altura de planta y profundidad de raíz (Tello, 2018), que en el caso de la presente investigación, el tratamiento de 8 l.ha⁻¹ alcanzó alturas por encima de los 80 cm, mientras que el control, muy por debajo de los 70 cm (en la semana 8).

Sin embargo, los resultados aquí presentados entraron en relativo conflicto con los hallados por Becerra (2019) ya que encontraron que su tratamiento 2 (44 ml de aplicación de microalgas *Chlorella sp.*) fue el que obtuvo mayor número de hojas y altura de la zanahoria (*Daucus carota* L.) respecto a su tratamiento 3 (88 ml de aplicación de

microalgas *Chlorella sp.*), esto se puede explicar de acuerdo con lo que señaló Jáuregui (2021), que las microalgas deben encontrarse correctamente disueltas en un volumen mínimo, de lo contrario los efectos podrían llegar a ser adversos, dado su nivel de acidez y alta concentración.

6.11. Variación en el diámetro de la inflorescencia

Este parámetro influyó directamente sobre el rendimiento agrícola ya que fue un factor determinante del peso de la *Brassica oleracea* var. *italica*. Respecto a estos valores de diámetro de inflorescencia, según Collantes (1994) encontró que existe una influencia importante de la densidad de siembra, ya que, con densidades bajas se puede obtener diámetros mayores.

Asimismo, Guadarrama (2018) y Toledo (2003) señala que el diámetro de la inflorescencia-pella se ve influenciada por el manejo del suelo y especialmente por el contenido de humus, como es evidenciable en los tratamientos de 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹. Por otro lado, Villareal (2017) afirma que el P disponible en el suelo no solo favorece el tamaño de la inflorescencia y su calidad, si no su pronta aparición y maduración en el cultivo.

6.12. Variación en la longitud radicular máxima y volumen del sistema radicular principal

Ramírez (2015) menciona que la adición de estiércol y demás materia orgánica promueve cambios en las propiedades físicas del suelo facilitando la penetración y desarrollo del sistema radicular y de esta forma se logra alcanzar el agua y nutrientes que permitan un crecimiento eficiente del cultivo.

Se evidenció los efectos en las raíces debido a que estimuló mediante citoquininas y oligosacáridos su crecimiento y desarrollo (Hajnal, 2016), ello observado en los

tratamientos de 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹ respecto al control. Asimismo, estos efectos también se pueden explicar por el aporte de P que la Phyco Terra[®] hizo posible (Heliae Global, 2020), sin embargo, esto contradice a Bolaño y Ramírez (2016) que señalan que, en cultivos de ciclo corto, son difíciles de encontrar diferencias en las raíces del cultivo respecto a este macronutriente, lo cual según lo mostrado, no es del ampliamente válido dadas las condiciones experimentales.

El volumen radicular también evidenció el efecto producido por la aplicación orgánica, siendo proporcional a la longitud máxima de la raíz. Es el caso del tratamiento de 8 l.ha⁻¹ que al tener mayor desarrollo radicular formó mayor agregación en el suelo, permitiendo tener una estructura radicular fuerte consistente con su longitud máxima (Hajnal, 2016). Así también lo demostró el análisis multivariado de componentes principales, que evidenció que los tratamientos de 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹ brindaron soporte al sistema radicular.

Cabe precisar, según Torres (2013) que la mejora en las condiciones del suelo (principalmente estructura del suelo) implica un mejor volumen de acción de las raíces, como lo evidenciado en el control, el cual tuvo 70% menos de volumen de sistema radicular respecto al tratamiento de 8 l.ha⁻¹, y 47% menos de volumen de sistema radicular, respecto a su más cercano, tratamiento de 2 l.ha⁻¹.

6.13. Rendimiento agrícola y relación beneficio costo

Fraire (2010), comprobó que la densidad del cultivo afecta no solo al diámetro de la inflorescencia de la *Brassica oleracea* var. *italica*, sino también a su rendimiento, es decir su peso unitario. Asimismo, Toledo (2003) indica que un rendimiento esperado con las mejores condiciones va entre 11.5-12.2 t.ha⁻¹, como se observó en los resultados y en el análisis multivariado, los tratamientos de 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹ superaron tal predicción.

Esto se puede explicar, según Ramírez (2015) debido a que en suelos con bajo contenido de nutrientes, materia orgánica y tendencia a la acidez muestran baja productividad y su rendimiento se encuentra por debajo del 50% del esperado, asimismo, señala que el carbono orgánico es el principal responsable de obtener rendimientos aceptables.

Las relaciones de beneficio-costo de los tratamientos fueron proporcionales a la aplicación y rendimiento, los costos fueron ligeramente mayores respecto al control, no obstante, la relación beneficio-costo del tratamiento de 8 l.ha⁻¹ prácticamente duplicó al del control. Respecto a las relaciones beneficio-costo de los tratamientos comparados con el mercado local también fueron superiores, exceptuando al control; esto mostró la viabilidad económica del producto para competir en el mercado nacional.

VII. CONCLUSIONES

- Se confirmó la eficacia de la *Chlorella sp.* como biofertilizante y recuperador de suelos, asimismo como sus facultades para el mejoramiento del rendimiento en cultivos de *Brassica oleracea* var. *italica*.
- La aplicación de Phyco Terra[®] presentó propiedades que influyeron positivamente en las propiedades físicoquímicas del suelo. Es el caso que para los tratamientos de 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹, los parámetros de materia orgánica, estructura de suelo, K, P, porosidad, respiración basal y CIC fueron los que brindaron mayor soporte a dichos tratamientos, generando una mayor influencia en ellos. Por otro lado, para los tratamientos de 2 l.ha⁻¹ y 4 l.ha⁻¹, el parámetro que les brindó apoyo fue la conductividad eléctrica. Finalmente, para el control, los parámetros que tuvieron mayor influencia en el, fueron el pH y densidad aparente.
- La aplicación de Phyco Terra[®] favoreció los parámetros biológicos del suelo y planta. En los tratamientos de 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹, la respiración basal de suelos, longitud y volumen radicular, número de hojas, diámetro de tallo e inflorescencia tuvieron un mayor aporte e influencia en ellos, Y en el caso de los tratamientos de 2 l.ha⁻¹ y 4 l.ha⁻¹, fue la resistencia a la penetración radicular en los primeros 8 cm la que le brindó soporte a ellos.
- Se evidenció efectos en el rendimiento agrícola en los tratamientos de 6 l.ha⁻¹ y 8 l.ha⁻¹, mejorando las relaciones de beneficio costo respecto al control y al mercado local, ya que la inversión inicial se recuperó con el tamaño obtenido en las inflorescencias del brócoli.

VIII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el análisis de uso de actividad deshidrogenasa, además de la respiración basal, ya que es una medida representativa e importante del metabolismo de degradación de un suelo.
- Se enfatiza la importancia de realizar mediciones y evaluaciones frecuentes al suelo durante la aplicación para evitar desviaciones perniciosas, como es el caso del pH.
- Se sugiere para una próxima experimentación, realizar análisis de biomasa total seca para cada tratamiento.
- Se sugiere hacer estudios e investigaciones sobre la Phyco Terra® en *Brassica oleracea* var. *italica*, pero suelos con características edáficas contrastadas a las estudiadas, para de esta forma determinar las variaciones en los resultados.
- Se recomienda hacer estudios con distintas hortalizas enfocando los análisis en el rendimiento agrícola.
- Se recomienda hacer campañas continuas en esta hortaliza, para determinar efectos a largo plazo y diseñar modelaciones de predicción,
- Finalmente, dados los efectos de la Phyco Terra® observados, de forma general se resalta la importancia de cambiar dosis sugeridas por parte de Heliae Global para hortalizas, y sean a partir de 6 l.ha⁻¹.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afanador, L., Coca, A., Vargas, F., & Bautista, M. (2020). Evaluación de la calidad de suelos en agroecosistemas de Colombia a través de la selección de un conjunto mínimo de datos. *Colombia Forestal*, 23(1), 35-50. doi:<https://dx.doi.org/10.14483/2256201x.14856>
- Ali, D. (2016). Investigating the Gender Gap in Agricultural Productivity: Evidence from Uganda. *World Development*, 87(1), 152-170. Obtenido de <https://bit.ly/2tje78F>
- Alkorta, I., Becerril, J., & Garbisu, C. (2010). Phytostabilization of metal contaminated soils. *Reviews on Environmental Health*, 25(2), 135-146. doi:10.1515/REVEH.2010.25.2.135
- Anderson, J. (1982). Soil respiration. En A. Page, R. Miller, D. Keeney, A. Page, R. Miller, & D. Keeney (Edits.), *Methods of soil analysis, part 2* (págs. 831-871). Madison: Am Soc Agron, Soil Sci Soc Am.
- Andrade, C. (2017). Análisis sustentable de las fincas de brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) en Santa Rosa de Quives, Lima, Perú. *Ecología Aplicada*, 16(2), 135-142. doi:<http://dx.doi.org/10.21704/rea.v16i2.1017>
- Andrades, M. (2001). *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen* (3 ed., Vol. 2). Universidad de La Rioja. Recuperado el 10 de octubre de 2021
- Angers, D., & Caron, J. (1998). Plant-induced changes in soil structure: processes and feedbacks. *Biogeochemistry*, 42(1), 55-72.
- Antony, S. (2019). Uso de cáscara de huevo molida como material encalante en un suelo ácido del Perú. *Idesia (Arica)*, 37(3), 115-120. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019000300115>

- Araujo, G., Silva, F., Souza, B., & Étore, F. (2019). Spatial variability of soil pH sampled by two methodologies used in precision agriculture in farms under crop rotation. *Dyna*, 289-297. doi:10.15446/dyna.v86n209.70897
- Arnaldo, A., Contreras, F., García, P., & Paolini, J. (2009). Correlación de actividades enzimáticas con la respiración basal en suelos cacaoteros del occidente venezolano. *Avances en Química*, 4(2), 73-77.
- Atlas, R., & Bartha, R. (2001). *Ecología microbiana y microbiología ambiental* (4 ed.). Addison Wesley.
- Barrenzuela, S. (2017). Estudio comparativo de la estructura elemental de materia orgánica de suelo y mantillo cultivados de cacao en El Oro, Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 5(1), 54-62. Obtenido de <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>
- Becerra, X., & Sánchez, G. (2019). *Evaluación del potencial de Chlorella spp. en la germinación y producción de zanahoria (Daucus carota L.), en sustrato agrícola del lote A1-USMEUAN*. Bogotá: Universidad de Manizales.
- Beyer, A., Rodríguez, P., Collantes, R., & Joyo, G. (2016). Factores socioeconómicos, productivos y fuentes de información sobre plaguicidas para productores de *Fragaria x ananassa* en Cañete, Lima, Perú. *Idesia (Arica)*, 31-37. doi:doi:http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292017005000008
- Bolaño, R., & Ramírez, A. (2016). *Evaluación del desarrollo de la biomasa de rábano (Raphanus sativus) en el suelo agrícola de la hacienda de los henares, (FunzaCundinamarca) a través de enmiendas orgánicas*. Bogotá: Universidad Antonio Nariño.

- Bonilla, A., y Singaña, D. (2019). La productividad agrícola más allá del rendimiento por hectárea: Análisis de los cultivos de arroz y maíz duro en Ecuador. *Revista de Ciencias de la Vida*, 29(1), 70-83. doi:<https://doi.org/10.17163/lgr.n29.2019.06>
- Cargnelutti, A., Machado, M., Gasparin, E., & Becker, D. (2018). Dimensionamento Amostral para Avaliação de Altura e Diâmetro de Plantas de Timbaúva. *Floresta e ambiente*, 25(1). doi:<https://doi.org/10.1590/2179-8087.121314>
- Castillo, C. (2005). *Selección Y Calibración De Indicadores Locales Y Técnico Para Evaluar La Degradación De Los Suelos Laderas, En La Microcuenca Cuscamá El Tuma - La Dalia Matagalpa*. Recuperado el 11 de octubre de 2021, de <https://repositorio.una.edu.ni/1094/1/tnp35c352.pdf>
- Castillo-Valdez, Ximena, Etchevers, J. D., Hidalgo-Moreno, Claudia Ma. I., & Aguirre-Gómez, Arturo. (2021). Evaluación de la calidad de suelo: generación e interpretación de indicadores. *Terra Latinoamericana*, 39, e698. Epub 05 de abril de 2021. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.698>
- Castro, G., y Daza, M. (2016). Evaluación de enmiendas en el proceso de compostaje de residuos de curtiembres. *Producción + Limpia*, 11(1), 53-59. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552016000100006&lng=en&tlng=es.
- Chagua, P., Malpartida, R., Torres, E., Echevarria, J., y Chuquillin, R. (2019). La seguridad alimentaria nutricional en el Perú: disponibilidad agroalimentaria. *Revista Puriq*, 1(2), 10. doi:<https://doi.org/10.37073/puriq.1.02.33>
- Collantes, C. (1994). *Efecto de la densidad de siembra y de la fertilización nitrogenada en el rendimiento y calidad del brócoli (Brassica oleracea L. (Grupo Itálica)) cv. "Pirate"*. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.

- Cremona, M., & Enriquez, A. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. *EEA Bariloche*, *31*(73), 5-8. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12123/7709>
- Cruz, W., Rodríguez, L., Salas, M., Hernández, V., Campos, R., Chávez, M., & Gordillo, A. (2020). Efecto de la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico en la acidez de suelos cultivados con maíz en dos regiones de Chiapas, México. *Terra Latinoamericana*, *28*(3), 475-480. doi:<https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.506>
- Diaz, G., Herrera, G., Barajas, C., Rodríguez, F., & Martínez, G. (2011). La melaza como control ecológico de las moscas. *Abanico Veterinario*, *1*(1), 16-23.
- Dunnett, C. (1980). Pairwise Multiple Comparisons in the Unequal Variance Case. *Journal of the American Statistical Association*, *75*, 796–800.
- Esparaza, J., Forero, F., & Mardones, M. (2020). Use of organophosphates by farmers in the community of Guaslán- Ecuador and hematological changes. *Revista Ciencia y Agricultura*, *17*(1), 31-50. doi:<https://doi.org/10.19053/01228420>
- Esquivel, G. (07 de octubre de 2021). *Importancia del Hierro (Fe) en la agricultura*. Obtenido de [http://drokasa.pe/application/webroot/imgs/notas/Importancia_del_Hierro_\(Fe\)_en_la_agricultura_peruana.pdf](http://drokasa.pe/application/webroot/imgs/notas/Importancia_del_Hierro_(Fe)_en_la_agricultura_peruana.pdf)
- Estrada, H., Hidalgo, M., Guzmán, P., Almaraz, S., Navarro, G., & Etchevers, J. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Agrociencia*, *51*, 813-831.

- FAO. (1999). *El suelo, diferencias según su aspecto físico y químicos*. Cochabamba. Recuperado el 02 de octubre de 2021, de <http://www.fao.org/3/ah645s/ah645s04.htm>
- FAO. (2009). *La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050*. Roma: Secretaría del Foro de Alto Nivel de Expertos.
- FAO. (2018). *Estructura del suelo*. Recuperado el 11 de octubre de 2021, de https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s07.htm
- FAO. (2018). *Textura del suelo*. Recuperado el 02 de octubre de 2021, de http://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm#top
- Fernández, L. (2014). Aplicación del índice de estabilidad estructural de Pieri (1995) a suelos montañosos de Venezuela. *Terra Nueva Etapa*, 30(48), 143-153. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72132517007>
- Fernández, R., Frasier, L., Rorig, M., Quiroga, A., & Nollemeyer, E. (2018). Evaluación de indicadores biológicos en suelos de la región semiárida pampeana central. *Ecología austral*, 28(1), 145-156.
- Fraire, L., Nieto, D., Cárdenas, E., Gutiérrez, G., Bujanos, R., & Vaquera, H. (2010). Efecto de variedades y densidad de plantación en la calidad física del florete de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Revista fitotecnia mexicana*, 33(2), 141-147. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802010000200007

- Gabriels, D., & Lobo, D. (2011). Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo. *Venesuelos*, 14(1), 37-48.
- García, F. (2020). Soil management and environmental sustainability of crop-livestock systems. *Agrociencia Uruguay*, 24(1), 205-225. doi:<http://dx.doi.org/10.31285/agro.24.205>
- García, G., & Martel, A. (2021). Usos y aplicaciones de macroalgas, microalgas y cianobacterias en agricultura ecológica. *Instituto de Algología Aplicada*, 1(1).
- Guadarrama, A., Mejía, J., & Ramírez, M. (2018). Mineralización de la materia orgánica en suelos con manejo diferencial en cultivo de rosa. *Acta universitaria*, 28(2), 33-41. doi:<https://doi.org/10.15174/au.2018.1654>.
- Guerrero, P., Quintero, R., Espinoza, V., Benedicto, G., & Sánchez, M. (2012). Respiración de CO₂ como indicador de la actividad microbiana en abonos orgánicos de *Lupinus*. *Terra Latinoamericana*, 30(4), 355-362. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57325814007>
- Hajnal-Jafari, T., Djuric, S., & Stamenov, D. (2016). Influence of green algae *Chlorella vulgaris* on initial growth of different agricultural crops. *Zbornik Matice Srpske za Prirodne Nauke*, 130(130), 29-33. doi: 10.2298/ZMSPN1630029H
- Heliae Global. (2020). *Phyco Terra Organic*. Recuperado el 3 de diciembre de 2020, de <https://heliae.app.box.com/s/5lcdgric1pl6yh9xmcee6y26yuf69edt>
- Hernández, R., Santacruz, F., Briceño, D., Di Filippo, D. y Hernández, G. (2018). Seaweed as potential plant growth stimulants for agriculture in Mexico. *Hidrobiologica*, 28(1), 129-140.

<https://doi.org/10.24275/UAM/IZT/DCBI/HIDRO/2017V28N1/HERNANDEZ>

C

Holland, J., & Biswas, A. (2015). Predicting the mobile water content of vineyard soils in New South Wales, Australia. *Agric. Water Management*(148), 34-42.

Huanca, P., Paredes, B., Rodríguez, M., Gonzales, D., Tejada, T., & Chávez, J. (2015). Caracterización Y Aplicación De Una Zeolita Natural De Ocuvi (Perú) Para La Remoción De Pb (II) En Solución A Nivel Laboratorio. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 9(13), 1-12. Obtenido de <https://www.executivebs.org/publishing.cl/aci/2018/Vol9/Nro3/1-ACI1313-17-full.pdf>

INEI. (2020). *Informe técnico: Comportamiento de la Economía Peruana en el Segundo Trimestre de 2020*. Lima: INEI.

Jauregui, E. (julio de 2021). Aplicación de Phyco terra en suelos degradados. (J. Sandoval, Entrevistador)

Jiménez, L. (2020). Metodología de propagación in vitro de Dahlia sp. *Avances*, 22(3), 406-422. Obtenido de <http://www.ciget.pinar.cu/ojs/index.php/publicaciones/article/view/560/1623>

Julca, A., Meneses, L., Blas, R., & Bello, S. (2006). La materia orgánica del suelo, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49-61. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>

Koritschoner, J. J, Rampoldi, E. A, & Hang, S. (2019). Cambios en las características físicas y químicas de un suelo después de la incorporación de compost de distinto origen. *Agriscientia*, 36(1), 15-23. Obtenido de

http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-298X2019000100002&lng=es&tlng=es.

León, M. (2015). *Respuesta de lechuga (Lactuca sativa L. var. crispata) y remolacha*. Quito.

Lok, S., Crespo, G., & Torres, V. (2008). Metodología para la selección de indicadores de sostenibilidad del sistema suelo-planta en pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 42(1), 71-76. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193015413012>

López, G., Lira, R., & Méndez, B. (2016). Medición de Intercambio Gaseoso, Área Foliar e Índice de Clorofila en Plantas Elicitadas. *Agronano Tecnología*.

López, I., Martínez, L., Pérez, G., Reyes, Y., Núñez, M., & Cabrera, J. (2020). Las algas y sus usos en la agricultura. Una visión actualizada. *Cultivos Tropicales*, 41(2). Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362020000200010&lng=es&tlng=es.

Martínez, F., Guevara, F., Aguilar, C., Rodríguez, L., & Reyes, M. (2021). Caracterización físico-química y biológica del suelo cultivado con maíz en sistemas convencional, agroecológico y mixto en la Frailesca, Chiapas. *Terra Latinoamericana*, 38(4), 871-881. doi:<https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.793>

Martinez, M., Osuna, E., y Espinoza, M. (2019). Impacto acumulado de la agricultura de conservación en propiedades del suelo y rendimiento de maíz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(4), 765-778. doi:<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1640>

- Medina, J., Volke, V., y Galvis, A. (2017). Incremento de la materia orgánica del suelo y rendimiento de mango en Luvisoles, Campeche, México. *Agronomía Mesoamerica*, 28(2), 499-508. doi:doi:10.15517/ma.v28i2.22236
- Melendres, A., Zermeño, A., Ramírez, H., Cárdenas, J., & Cadena, M. (2017). Eficiencia del uso del agua de un viñedo y su relación con porosidad del suelo. *Tecnología y ciencias del agua*, 28(5), 57-69.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2019). *Anuario Estadístico de Producción Agrícola 2018*. Lima: Dirección General de Seguimiento y Evaluación de Políticas. Obtenido de https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos_y_estadisticas/anuarios/agricola/agricola_2018.pdf
- Ministerio del Ambiente. (2014). *Guía para muestreo de suelos*. Lima: MINAM.
- Ministerio del Ambiente. (2020). *Estadística Ambiental*. Recuperado el 18 de diciembre de 2020, de <https://sinia.minam.gob.pe/informacion/estadisticas>
- Monsalve, M., & Bochet, E. (2010). Capacidad de las raíces para penetrar sustratos compactados y detectar grietas. Metodología y aplicación a la colonización vegetal de laderas erosionadas en ambiente semiárido. *Cuaternario y Geomorfología*, 24(1-2), 47-61. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10261/94502>
- Monzó, J. (2020). *Efecto de una cubierta de paja de arroz sobre la respiración basal del suelo*. Gandia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Morales, C., Lobato, C., Flores, J., & Mendez Candelario. (2019). Cambios en las propiedades físicas y químicas de un suelo debido a un proceso de restauración

aplicado a un derrame de hidrocarburos. *Acta universitaria*, 29(1), 26-36.
doi:<https://doi.org/10.15174/au.2019.2154>

Morgan, K., Dukes, M., & Zotarelli, L. (2019). Interpretación Del Contenido De La Humedad Del Suelo Para Determinar Capacidad De Campo Y Evitar Riego Excesivo En Suelos Arenosos Utilizando Sensores De Humedad. *Agricultural and Biological Engineering*. doi:doi.org/10.32473/edis-ae496-2013

Moro, A. (2015). *Relaciones catiónicas y su interpretación en los análisis de suelos*. Recuperado el 08 de octubre de 2021, de <http://aqmlaboratorios.com/relaciones-cationicas-analisis-de-suelos/>

Muñoz, V., López, R., & López, L. (2010). Influencia del método de laboreo en el desarrollo radicular del trigo. *Vida Rural*, 5(1), 68-73.

Murakami, K., Freire, A., Carvalho, M., & Midori, I. (2020). Effect of the environment and use of alternative products in the post-harvest of papaya. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 42(3), 505-535. doi:<https://dx.doi.org/10.1590/0100-29452020505>

Napoles, Y., Rodríguez, I., & Sisne, M. (2017). Entomofauna presente en la asociación frijol, trigo y maíz en la finca “La provechosa”, Ciego de Ávila. *Universidad&Ciencia*, 6(2), 50-62. Obtenido de <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/431>

Nguyen, T., & Tran, T. (2019). Auto-flocculation through cultivation of *Chlorella vulgaris* in seafood wastewater discharge: Influence of culture conditions on microalgae growth and nutrient removal. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 127(4), 492-498.

- Novillo, I., Carrillo, M., & Cargua, J. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Temas agrarios*, 23(2), 177-187. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6587923>
- Ñaupas, H., Mejía, E., Novoa, E., & Villagómez, A. (2013). *Metodología de la investigación* (Cuarta ed.). Bogotá: Ediciones de la U.
- Ocampo, J. (2017). Uso de trampas cromáticas para el monitoreo de Trips (*Frankliniella occidentalis*) en especies suculentas. *Universidad Autónoma del Estado de México*.
- Ojeda, M., & Pire, R. (2011). Efecto de la salinidad en dos portainjertos de vid cultivados a pie franco o injertados. *Revista fitotecnia mexicana*, 34(1).
- Olarte, B. (2007). La cuenca del río Chillón: Problemática y potencial productivo. *Ingeniería Industrial*, 25(1), 53-68. Obtenido de <https://tinyurl.com/y47rswsq>
- ONU. (2019). *Unos 24.000 millones de toneladas de suelo fértil se pierden cada año por la desertificación*. Obtenido de Noticias ONU: <https://tinyurl.com/y4bcpdf8>
- Orozco, A., Valverde, M., Martínez, R., Chávez, C., & Benavides, R. (2016). Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado con manzano. *Terra Latinoamericana*, 34(4), 441-456. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000400441&lng=es&tlng=es.
- Ortiz, M., Sandoval, K., & Solarte, L. (2019). Chlorella, ¿un potencial biofertilizante? *Orinoqu*, 23(2), 71-78. doi:<http://doi.org/10.22579/20112629.582>
- Osorio, N. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(4), 1-4. Obtenido de

<https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf>

Paches, M. (2020). Degradacion de suelos. *Universitat Politecnica de Valencia*, 1(1), 1-9. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/142676>

Palma, D. (2011). *Evaluación de la actividad biológica (respiración y biomasa microbiana) como indicadores de la salud de suelos ubicados en San Joaquín, estado Carabobo*. Carabobo.

Pérez, Y., López, I., & Reyes, Y. (2020). Las algas como alternativa natural para la producción de diferentes cultivos producción de diferentes cultivos. *Cultivos Tropicales*, 41(2), 9-21. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362020000200009&lng=es&tlng=pt.

Pieri, C. (1995). Land-use change in the semiarid and arid tropics of Africa. En B. Turner, A. Gómez, F. González, & F. di Castri, *Global land use change: A perspective from the Columbian Encounter* (págs. 341-360). Madrid, España: CSIC.

Pieri, C., Dumanski, J., Hamblin, A., & Young, A. (1995). *Land Quality Indicators*. Washington D.C: World Bank.

Quichimbo, P., Guamán, J., Cajamarca, M., & Aguirre, A. (2016). Evaluación del contenido de humedad del suelo por gravimetría y reflectometría. *Ecuador es Calidad*, 4(1), 22-28. doi:<https://doi.org/10.36331/revista.v4i1.25>

Ramírez, J., Fernandez, Y., González, P., Salazar, C., Iglesias, J., & Olivera, Y. (2015). Influencia de la fertilización en las propiedades físico-químicas de un suelo dedicado a la producción de semilla de *Megathyrsus maximus*. *Pastos y Forrajes*,

- Ramos, R., Palomeque, M., Megía, H., & Landeron, D. (2021). Modelo del cambio de uso de suelo en el sistema lagunar Carmen-Pajonal-Machona, México. *Terra Latinoamericana*, 39, 58-67. doi:<https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.587>
- Ritchie, G., Landis, T., Dumroese, K., & Haase, D. (1995). Capítulo 2: Evaluación de la Calidad de la Planta. En G. Ritchie, T. Landis, K. Dumroese, & D. Haase, *Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor* (Vol. 7). Recuperado el 05 de octubre de 2021
- Rivera, E., Sánchez, M., & Domínguez, H. (2018). pH as a growth factor in plants. *Universidad Tecnológica de Panamá*, 4(Especial).
- Rodríguez, O., & Rodríguez, A. (2002). Comparación del CIC en dos suelos, utilizando Acetato de Amonio, Acetato de Sodio y Cloruro de Amonio. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 19(4), 253-263. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182002000400001&lng=es&tlng=es.
- Rodríguez, T., Obando, A., & Acuña, M. (2018). Entender el extractivismo en regiones fronterizas. Monocultivos y despojo en las fronteras de Costa Rica. *Sociedad y ambiente*, 17, 165-200. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-65762018000200165&lng=es&tlng=es.
- Sadeghian , S., & Arias, E. (2018). Lixiviación del potasio en suelos de la zona cafetera y su relación con la textura. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(1), 34-42. doi:<https://doi.org/10.18684//bsaa.v16n1.1140>

- Salamanca, A., & Sadeghian, S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en los suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé*, 56(4), 381-397.
- Salazar, C., Gonzalez, j., Corrales, D., Lacayo, J., Carrillo, K., & Montero, H. (2020). Comparación de dos métodos para la determinación de la densidad aparente del suelo. *Alcances Tecnológicos*, 13(1), 5-12. doi:<https://doi.org/10.35486/at.v13i1.164>
- Santander, Ó. (2017). Línea Base de diversidad biológica para la investigación en ecosistemas de montaña en parcelas de investigación priorizadas por el INAIGEM. *Boletín INAIGEM*, 2(3), 35-53. Obtenido de <https://bit.ly/2DCP5Ic>
- Santibáñez, C. (2020). *Evaluación de la actividad microbiológica del suelo*. (U. d. Chile, Editor) Obtenido de www.dgf.uchile.cl/mece
- Seguel, O., García, V., & CasANOVA, M. (2003). Variación en el tiempo de las propiedades físicas de un suelo con adición de enmiendas orgánicas. *Agricultura Técnica*, 63(3), 287-297. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072003000300008>
- SENAMHI. (2020). *Mapa climático del Perú*. Recuperado el 15 de diciembre de 2020, de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>
- Tácuna, R., Aguirre, L., & Flores, E. (2015). Influence of revegetation using native species and the incorporation pf organic matter in the recovery of degraded rangelands. *Ecología Aplicada*, 14(2), 191-200.
- Tello, E. (2018). *Respuesta agronómica del fréjol (Phaseolus vulgaris L.) a un biofertilizante con base en microalgas Chlorella y Scenedesmus*. Quito: UCE.

- Toledo, J. (2003). *Cultivo del brócoli* (1 ed.). Lima: INIA. Recuperado el 04 de octubre de 2021
- Torres, C., Etchevers, C., Fuentes, J., Govaerts, M., León, B., & Herrera, J. (2013). Influencia de las raíces sobre la agregación del suelo. *Terra Latinoamericana*, 31(1), 71-84. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792013000100071&lng=es&tlng=es.
- Unión Europea. (2011). *Colección Buenas prácticas*. Guatemala: INFOAGRO. Obtenido de <https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/10/13195641664990/barrerasfinal.pdf>
- Uribe, M., Mateo, L., Mendoza, A., Amora, E., González, D., & Durán, D. (2018). Efecto del alga marina *Sargassum vulgare* C. Agardh en suelo y el desarrollo de plantas de cilantro. *Idesia (Arica)*, 3, 69-76. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292018005001202>
- USDA. (1999). *Guía para la evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*. Washington DC, Estados Unidos: Instituto de Calidad de Suelos.
- USDA. (2020). *IRRIGATION Water Requirement GUIDE*. Recuperado el 02 de octubre de 2020, de https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs144p2_067451.pdf
- Vallejo, G., Fernández, P., & Livacic, P. (2010). Pruebas robustas para modelos A□OVA de dos factores con varianzas heterogéneas. *Psicológica: Revista de metodología y psicología experimental*, 31(1), 129-148.

- Vargas, L. (2019). *Estado actual del estudio de las algas como bioestimulante y perspectivas de su uso en la agricultura sostenible*. Quito: Univeridad Manizales.
- Vásquez, J., Macías, F., & Menjivar, J. (2013). Respiración del suelo según su uso y su relación con algunas formas de carbono en el Departamento del Magdalena, Colombia. *Bioagro*, 25(3), 175-180. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612013000300004&lng=es&tlng=es.
- Vásquez, J., Reposo, G., Guecaimburú, J., Rojo, V., Giacobone, C., & Martínez, M. (2013). Uso de conductividad eléctrica del suelo para determinar la profundidad al horizonte petrocálcico. *Universidad Nacional de Luján*, 1-6.
- Vilcapoma, G. (2007). Frutos silvestres (solanáceas) de la cuenca del Río Chillón, provincia de Canta, Lima-Perú. *Ecología Aplicada*, 6(1-2), 23-37.
- Vilcapoma, G., y Beltran, H. (2018). Las asteráceas de la cuenca del río Chillón, Perú. *Ecología Aplicada*, 17(2), 171-184. doi:<https://dx.doi.org/10.21704/rea.v17i2.1237>
- Vilcapoma, L., López, M., Pereyra, P., Palacios, D., Perez, B., Rojas, J., y Sajo-Bohus, L. (2019). Measurement of radon in soils of Lima City - Peru during the period 2016-2017. *Earth Sciences Research Journal*, 23(3), 171-183. doi:<https://dx.doi.org/10.15446/esrj.v23n3.74108>
- Villagaray, S. (2014). Recuperación de terrenos degradados por el cultivo de coca (erythroxyton coca) En VRAEM, Perú, con aplicación de Tecnología Agroforestal. *Acta Nova*, 6(3), 210-224. Obtenido de <https://tinyurl.com/y4vhrek7>

- Villalba M., Merino G. y Etchevers B. (2020). Diagnóstico de la fertilidad química de suelos (Rhodic Paleudult) en sistemas agrarios y forestal de la región Oriental de Paraguay. *Investigación Agraria*, 22(2), 92-99. Epub December 00, 2020. <https://dx.doi.org/10.18004/investig.agrar.2020.diciembre.2202658>
- Villareal, J., Jaramillo, S., Name, V., & Villalaz, J. (2017). Forma de Fòsforo en suelos de Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, 26, 97-111. Obtenido de <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/72>
- von Uexkull, H. (1986). *Efficient fertilizer use in acid upland soils o the himud tropics*. Roma: FAO Land and Water Development Division. Obtenido de <http://www.fao.org/3/aq356e/aq356e.pdf>
- Zalba, P., Bravo, O., Amiotti, N., & Peinemann, N. (2002). Metodos Alternativos Para Determinar Las Disponibilidades De Fosforo En Suelos Agricolas. *Ciencia del Suelo*, 20(1), 50-55.
- Zamora, B., Mendoza, M., Sangerman, D., Quevedo, A., & Navarro, A. (2019). La investigación científica en México: secuestro de carbono orgánico en suelos agrícolas y de agostadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(1), 155-164. doi:<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1733>
- Zapata, E., & Moreno, M. (2020). Evaluación de la eficiencia del bioestimulante Aquaclean ACF-32 en la producción de Plántulas de Plátano (*Musa paradisiaca* L) utilizando la metodología de cámaras de multiplicación en el distrito de Turbo Antioquia. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD*, 35(1), 50-62. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/37424>

X. ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
ANOVA	Análisis de varianza
°C	Grados centígrados
CIC	Capacidad de intercambio catiónico
C.E	Conductividad eléctrica
cm	Centímetros
dS	DeciSiemens
dS.m ⁻¹	DeciSiemens por metro
ha	Hectáreas
IE	Índice de estabilidad estructural de Pieri
L	Litros
l.ha ⁻¹	Litros por hectárea
meq	Miliequivalentes
ml	Mililitros
mg	Miligramos
mm	milímetros
mS	MiliSiemens
pH	Potencial de hidrógeno
ppm	Partes por millón
t	Tonelada
UE	Unidad experimental

XI. ANEXOS

Anexo A. Valores de referencia para los parámetros de suelo

Tabla A1. *Clases texturales según la USDA*

Nombres vulgares de los suelos(textura general)	Arenoso (%)	Limoso (%)	Arcilloso (%)	Clase textural
Suelos arenosos (textura gruesa)	86-100	0-14	0-10	Arenoso
	70-86	0-30	0-15	Franco arenoso
Suelos francos (textura moderadamente gruesa)	50-70	0-50	0-20	Franco arenoso
Suelos francos (textura mediana)	23-52	28-50	7-27	Franco
	20-50	74-88	0-27	Franco limoso
Suelos francos (textura moderadamente fina)	0-20	88-100	0-12	Limoso
	20-45	15-52	27-40	Franco arcilloso
	45-80	0-28	20-35	Franco arenoso arcilloso
Suelos arcillosos (textura fina)	0-20	40-73	27-40	Franco limoso arcilloso
	45-65	0-20	35-55	Arcilloso arenoso
	0-20	40-60	40-60	Arcilloso limoso
	0-45	0-40	40-100	Arcilloso

Nota: Adaptado de USDA (2020)

Tabla A2. *Clasificación de suelo según pH*

Extremamente ácido	<4.5
Fuertemente ácido	4.5-5.5
Medianamente ácido	5.6-6
Ligeramente ácido	6.1-6.5
Neutro	6.6-7.3
Medianamente básico	7.4-7.8
Básico	7.9-8.4
Ligeramente alcalino	8.5-9
Alcalino	9.1-10
Fuertemente alcalino	>10

Nota: Adaptado de Rivera. Sánchez y Domínguez (2018)

Tabla A3. *Valoración de suelos según su conductividad eléctrica*

CE (dS/m)	Clasificación
0-0.35	No salino
0.35-0.65	Ligeramente salino
0.62-1.15	Salino
1-15<	Muy Salino

Nota: Adaptado de Andrades (2021)

Tabla A4. Valoración de suelos según el CIC

CIC total (meq.100g⁻¹)	Nivel	Valoración
0-10	Muy bajo	Suelo muy pobre
10-20	Bajo	Suelo pobre
20-35	Medio	Suelo medio
35-45	Medio alto	Suelo rico
Mayor a 45	Alto	Suelo muy rico

Nota: Adaptado de Moro (2015)

Tabla A5. CIC de suelos según su textura

Textura del suelo	CIC total (meq.100g⁻¹)
Arena	0-6
Franco Arenoso (grueso)	6-12
Franco Arenoso (moderadamente grueso)	12-30
Arcilloso	18-150
Orgánico	150-350

Nota: Adaptado de Moro (2015)

Tabla A6. Valoración de suelos según su materia orgánica

Arenoso (%)	Franco (%)	Arcilloso (%)	Clasificación
<0.7	<1	<1.2	Muy bajo
0.7-1.2	1-1.5	1.2-1.7	Bajo
1.2-1.7	1.5-2	1.7-2.2	Normal
1.7-2.2	2-2.5	2.2-3	Alto
>2.2	>2.5	>3	Muy Alto

Nota: Adaptado de Andrades (2001)

Tabla A7 Clasificación de los niveles de Fósforo (ppm)

Textura	Clasificación		
	Bajo	Normal	Alto
Secano arenoso	<8	9-12	>13
Secano franco	<12	13-18	>19
Secano arcilloso	<15	16-24	>25
Regadío arenoso	<12	13-18	>19
Regadío franco	<15	16-25	>26
Regadío arcilloso	<20	21-30	>31

Nota: Adaptado de Andrades (2001)

Tabla A8. Clasificación de los niveles de Potasio (ppm)

Textura	Clasificación		
	Bajo	Normal	Alto
Secano arenoso	<95	96-135	>136
Secano franco	<125	126-195	>196
Secano arcilloso	<155	156-255	>256
Regadío arenoso	<135	136-215	>216
Regadío franco	<155	156-295	>296
Regadío arcilloso	<175	176-330	>331

Nota: Adaptado de Andrades (2001)

Tabla A9. Estados de degradación del suelo según su Índice de estabilidad estructural de Pieri

Índice de estabilidad estructural de Pieri (IE)	Estado de Degradación	Descripción
<5	Degradados	Suelos altamente susceptibles a erosionarse y degradación física o ya degradados.
5-7	Altamente susceptibles	Suelos no degradados físicamente pero con alto riesgo por erosión y compactación.
7-9	Levemente susceptibles	Suelos no degradados físicamente pero con un bajo riesgo.
>9	Estables estructuralmente	Suelos estables con alta concentración de carbono orgánico

Nota: Adaptado de Pieri, Dumanski, Hamblin y Young (1995)

Tabla A10. Niveles de porosidad del suelo

Unidad (%)	Descripción
<40	Muy Bajo
40-45	Bajo
45-55	Medio
55-65	Alto
>65	Muy Alto

Nota: Adaptado de Castillo (2005)

Tabla A11. *Niveles de humedad del suelo*

Textura	Capacidad de campo	Punto de marchitamiento	Humedad Disponible
Arenoso	9%	2%	7%
Arenoso-Franco	14%	4%	10%
Franco arenoso-limoso	23%	9%	14%
Franco arenoso + materia orgánica	29%	10%	19%
Franco	34%	12%	22%
Franco Arcilloso	30%	16%	14%
Arcilloso	38%	34%	14%
Arcilloso con buena estructura	50%	30%	20%

Nota: Adaptado de Morgan. Dukes y Zotarelli (2019)

Anexo B. Materiales utilizados en la investigación

Ensayo	Material	Cantidad	Unidad
Delimitación del área	Estacas	16	unidad (es)
	Soga de nylon	3	paquetes
	Letreros	20	unidad (es)
Muestreo para Caracterización Físico Química	Pala	1	unidad (es)
	Balde	1	unidad (es)
	Bolsas plásticas	21	unidad (es)
	Papel	20	unidad (es)
	Marcador	1	unidad (es)
Ensayo de pH. Conductividad eléctrica y Temperatura	Libreta	1	unidad (es)
	Termómetro digital de suelos	1	unidad (es)
	Cronómetro	1	unidad (es)
	Multiparámetro Hanna HI98130	1	unidad (es)
	Agua destilada	20	l
	Balanza analítica	1	unidad (es)
	Tamiz 2 mm	1	unidad (es)
	Vaso Precipitado	10	unidad (es)
	Baguetas de vidrio	1	unidad (es)
	Papel filtro	100	unidad (es)
Ensayo de Densidad aparente. real y porosidad del suelo	Libreta	1	unidad (es)
	Bolsas de papel	20	unidad (es)
	Marcador	1	unidad (es)
	Tamiz 2 mm	1	unidad (es)
	Estufa 105°C-48 h	1	unidad (es)
	Balanza Analítica	1	unidad (es)
	Probeta 100 ml	4	unidad (es)
	Agua destilada	1	l
Vaso precipitado	3	unidad (es)	
Ensayo de respiración de suelos	Libreta	1	unidad (es)
	Cloruro de Bario (BaCl ₂) 1.25 M	20	ml
	Agitador magnético	1	unidad (es)
	Fenoltaleína	50	ml
	Hidróxido de Sodio (NaOH) 1M	50	ml
	Ácido clorhídrico (HCl) 0.2 M	300	ml
	Bureta de 10 mL	1	unidad (es)

	Frascos con tapa	21	unidad (es)
	Columna	1	unidad (es)
	Pipeta de 1 ml	1	unidad (es)
	Vaso precipitado	5	unidad (es)
	Viales	21	unidad (es)
	Balanza analítica	1	unidad (es)
	Tamiz de 2 mm	1	unidad (es)
	Agua destilada	500	ml
	Estufa a 25°C por 5 días	1	unidad (es)
Altura, diámetro de tallo y de inflorescencia	Libreta	1	unidad (es)
	Cinta métrica	1	unidad (es)
	Regla Vernier	1	unidad (es)
Ensayo de desarrollo radicular	Libreta	1	unidad (es)
	Cinta métrica	1	unidad (es)
	Pala	1	unidad (es)
	Trinche manual	1	unidad (es)
Rendimiento agrícola	Balanza	1	unidad (es)

Anexo C. Análisis de beneficio costo

Figura C1

Costos de cultivo de brócoli en mercado de productor convencional local

COSTOS DE CULTIVO BROCOLI EN MERCADO DE PRODUCTOR CONVENCIONAL LOCAL					
Actividad/recursos		Unidades	Cantidad	Costo unitario	Costo Total
Preparación del suelo y siembra (mes 0)	Plántulas	Ha	1	\$526.00	\$526.00
	Preparación de suelo (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Trasplante (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Maquinaria	H/M	1	\$100.00	\$100.00
	Aporque (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Sub-total				
Manejo de cultivo (mes 1-2)	Urea	kilogramo	330	\$0.36	\$118.80
	Superfosfato triple	kilogramo	130	\$0.28	\$36.40
	Sulfato de Potasio	kilogramo	120	\$0.45	\$54.00
	Estiércol	Tonelada	30	\$12.00	\$360.00
	Mano de obra	Jornal	4	\$13.50	\$54.00
	Pesticidas liq.	Litros	3	\$35.00	\$105.00
	Herbicidas	Litros	1	\$40.00	\$40.00
	Adherentes	Litros	0.5	\$8.00	\$4.00
	Mano de obra	Jornal	10	\$13.50	\$135.00
Sub-total					\$907.20
	Riego (mano de obra)	Jornal	6	\$13.50	\$81.00
	Agua	Anual	0.25	\$210.50	\$52.63
	Sub-total				\$133.63
Cosecha (mes 3)	Mano de obra	Jornal	30	\$13.50	\$405.00
	Transporte	Jornal	6	\$13.50	\$81.00
	Sub-total				\$486.00
Costo directo					\$2,638.83
Imprevistos (10%)					\$263.88
Gastos administrativos (10%)					\$263.88
Gastos financieros (5%)					\$131.94
Costo Total					\$3,298.53

Figura C2

Costos de cultivo agroecológico sin aplicación Phyco Terra®

COSTOS DE CULTIVO AGROECOLÓGICO DE BROCOLI SIN APLICACIÓN DE PHYCOTERA					
Actividad/recursos		Unidades	Cantidad	Costo unitario	Costo Total
Preparación del suelo y siembra (mes 0)	Plántulas	Ha	1	\$526.00	\$526.00
	Preparación de suelo (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Trasplante (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Maquinaria	H/M	1	\$100.00	\$100.00
	Aporque (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Sub-total				
Manejo de cultivo (mes 1-2)	Biol (producción propia)	Litros	5	\$0.00	\$0.00
	Compost	Toneada	5	\$0.00	\$0.00
	Trampa cromática (5/1000m2)	u	50	\$0.50	\$25.00
	Trampa de melaza	Litros	7	\$6.00	\$42.00
	Aplicación de Biol y compost (mano de obra)	Jornal	15	\$13.50	\$202.50
	Instalación de trampa cromática y de melaza (mano de obra)	Jornal	2	\$13.50	\$27.00
	Deshierbo manual (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
Sub-total					\$458.50
Labores de cultivo (mes 1-2)	Riego (mano de obra)	Jornal	6	\$13.50	\$81.00
	Agua	Anual	0.25	\$210.50	\$52.63
	Sub-total				
Cosecha (mes 3)	Mano de obra	Jornal	30	\$13.50	\$405.00
	Transporte	Jornal	6	\$13.50	\$81.00
	Sub-total				
Costo directo					\$2,190.13
Imprevistos (10%)					\$219.01
Gastos administrativos (10%)					\$219.01
Gastos financieros (5%)					\$109.51
Costo Total					\$2,737.66

Figura C3

Costos de cultivo agroecológico con aplicación Phycoterra® (2 l .ha⁻¹)

COSTOS DE CULTIVO AGROECOLÓGICO DE BROCOLI - APLICACIÓN DE PHYCOTERA (2 l/ha)

Actividad/recursos		Unidades	Cantidad	Costo unitario	Costo Total
Preparación del suelo y siembra (mes 0)	Plántulas	Ha	1	\$526.00	\$526.00
	Preparación de suelo (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Trasplante (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Maquinaria	H/M	1	\$100.00	\$100.00
	Phycoterra	Litros	2	\$10.60	\$21.20
	Aplicación Phycoterra (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Aporque (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Sub-total				
Manejo de cultivo (mes 1-2)	Biol (producción propia)	Litros	5	\$0.00	\$0.00
	Compost	Toneada	5	\$0.00	\$0.00
	Trampa cromática (5/1000m2)	u	50	\$0.50	\$25.00
	Trampa de melaza	Litros	7	\$6.00	\$42.00
	Aplicación de Biol y compost (mano de obra)	Jornal	15	\$13.50	\$202.50
	Instalación de trampa cromática y de melaza (mano de obra)	Jornal	2	\$13.50	\$27.00
	Deshierbo manual (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Aplicación Phycoterra (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
Sub-total					\$458.50
Labores de cultivo (mes 1-2)	Riego (mano de obra)	Jornal	6	\$13.50	\$81.00
	Agua	Anual	0.25	\$210.50	\$52.63
	Sub-total				
Cosecha (mes 3)	Mano de obra	Jornal	30	\$13.50	\$405.00
	Transporte	Jornal	6	\$13.50	\$81.00
	Sub-total				
Costo directo					\$2,373.33
Imprevistos (10%)					\$237.33
Gastos administrativos (10%)					\$237.33
Gastos financieros (5%)					\$118.67
Costo Total					\$2,966.66

Figura C4

Costos de cultivo agroecológico con aplicación Phycoterra® (4 l. ha⁻¹)

COSTOS DE CULTIVO AGROECOLÓGICO DE BROCOLI - APLICACIÓN DE PHYCOTERA (4 l/ha)					
Actividad/recursos		Unidades	Cantidad	Costo unitario	Costo Total
Preparación del suelo y siembra (mes 0)	Plántulas	Ha	1	\$526.00	\$526.00
	Preparación de suelo (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Trasplante (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Maquinaria	H/M	1	\$100.00	\$100.00
	Phycoterra	Litros	4	\$10.60	\$42.40
	Aplicación Phycoterra (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Aporque (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Sub-total				
Manejo de cultivo (mes 1-2)	Biol (producción propia)	Litros	5	\$0.00	\$0.00
	Compost	Toneada	5	\$0.00	\$0.00
	Trampa cromática (5/1000m ²)	u	50	\$0.50	\$25.00
	Trampa de melaza	Litros	7	\$6.00	\$42.00
	Aplicación de Biol y compost (mano de obra)	Jornal	15	\$13.50	\$202.50
	Instalación de trampa cromática y de melaza (mano de obra)	Jornal	2	\$13.50	\$27.00
	Deshierbo manual (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Aplicación Phycoterra (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
Sub-total					\$458.50
Labores de cultivo (mes 1-2)	Riego (mano de obra)	Jornal	6	\$13.50	\$81.00
	Agua	Anual	0.25	\$210.50	\$52.63
	Sub-total				
Cosecha (mes 3)	Mano de obra	Jornal	30	\$13.50	\$405.00
	Transporte	Jornal	7	\$13.50	\$94.50
	Sub-total				
Costo directo					\$2,408.03
Imprevistos (10%)					\$240.80
Gastos administrativos (10%)					\$240.80
Gastos financieros (5%)					\$120.40
Costo Total					\$3,010.03

Figura C5

Costos de cultivo agroecológico con aplicación Phycoterra® (6 l. ha⁻¹)

COSTOS DE CULTIVO AGROECOLÓGICO DE BROCOLI - APLICACIÓN DE PHYCOTERA (6 l/ha)					
Actividad/recursos		Unidades	Cantidad	Costo unitario	Costo Total
Preparación del suelo y siembra (mes 0)	Plántulas	Ha	1	\$526.00	\$526.00
	Preparación de suelo (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Trasplante (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Maquinaria	H/M	1	\$100.00	\$100.00
	Phycoterra	Litros	6	\$10.60	\$63.60
	Aplicación Phycoterra (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Aporque (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Sub-total				
Manejo de cultivo (mes 1-2)	Biol (producción propia)	Litros	5	\$0.00	\$0.00
	Compost	Toneada	5	\$0.00	\$0.00
	Trampa cromática (5/1000m2)	u	50	\$0.50	\$25.00
	Trampa de melaza	Litros	7	\$6.00	\$42.00
	Aplicación de Biol y compost (mano de obra)	Jornal	15	\$13.50	\$202.50
	Instalación de trampa cromática y de melaza (mano de obra)	Jornal	2	\$13.50	\$27.00
	Deshierbo manual (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Aplicación Phycoterra (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
Sub-total					\$458.50
Labores de cultivo (mes 1-2)	Riego (mano de obra)	Jornal	6	\$13.50	\$81.00
	Agua	Anual	0.25	\$210.50	\$52.63
	Sub-total				
Cosecha (mes 3)	Mano de obra	Jornal	30	\$13.50	\$405.00
	Transporte	Jornal	8	\$13.50	\$108.00
	Sub-total				
Costo directo					\$2,442.73
Imprevistos (10%)					\$244.27
Gastos administrativos (10%)					\$244.27
Gastos financieros (5%)					\$122.14
Costo Total					\$3,053.41

Figura C6

Costos de cultivo agroecológico con aplicación Phycoterra® (8 l. ha⁻¹)

COSTOS DE CULTIVO AGROECOLÓGICO DE BROCOLI - APLICACIÓN DE PHYCOTERA (8 l/ha)					
Actividad/recursos		Unidades	Cantidad	Costo unitario	Costo Total
Preparación del suelo y siembra (mes 0)	Plántulas	Ha	1	\$526.00	\$526.00
	Preparación de suelo (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Trasplante (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Maquinaria	H/M	1	\$100.00	\$100.00
	Phycoterra	Litros	8	\$10.60	\$84.80
	Aplicación Phycoterra (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Aporque (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Sub-total				
Manejo de cultivo (mes 1-2)	Biol (producción propia)	Litros	5	\$0.00	\$0.00
	Compost	Toneada	5	\$0.00	\$0.00
	Trampa cromática (5/1000m ²)	u	50	\$0.50	\$25.00
	Trampa de melaza	Litros	7	\$6.00	\$42.00
	Aplicación de Biol y compost (mano de obra)	Jornal	15	\$13.50	\$202.50
	Instalación de trampa cromática y de melaza (mano de obra)	Jornal	2	\$13.50	\$27.00
	Deshierbo manual (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
	Aplicación Phycoterra (mano de obra)	Jornal	12	\$13.50	\$162.00
Sub-total					\$458.50
Labores de cultivo (mes 1-2)	Riego (mano de obra)	Jornal	6	\$13.50	\$81.00
	Agua	Anual	0.25	\$210.50	\$52.63
	Sub-total				
Cosecha (mes 3)	Mano de obra	Jornal	30	\$13.50	\$405.00
	Transporte	Jornal	10	\$13.50	\$135.00
	Sub-total				
Costo directo					\$2,490.93
Imprevistos (10%)					\$249.09
Gastos administrativos (10%)					\$249.09
Gastos financieros (5%)					\$124.55
Costo Total					\$3,113.66

Figura C7

Análisis de la relación beneficio costo de los tratamientos y productor local

Flujo de caja		TD mensual				0.83%		VAN	TIR	B/C (0.833)
Horizonte de evaluación	Inversión inicial	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5				
Repetición1	Control	-\$1,112.00	-\$569.83	-\$4,929.38	2571.03	40%	4.51			
Repetición1	Tratamiento 1	-\$1,295.20	-\$592.73	-\$6,960.15	4323.62	53%	7.29			
Repetición1	Tratamiento 2	-\$1,316.40	-\$597.07	-\$7,623.58	4941.03	58%	8.28			
Repetición1	Tratamiento 3	-\$1,337.60	-\$601.40	-\$8,287.00	5558.44	62%	9.24			
Repetición1	Tratamiento 4	-\$1,358.80	-\$607.43	-\$8,936.92	6159.34	66%	10.14			
Repetición2	Control	-\$1,112.00	-\$569.83	-\$4,929.38	2571.03	40%	4.51			
Repetición2	Tratamiento 1	-\$1,295.20	-\$592.73	-\$7,637.08	4983.97	59%	8.41			
Repetición2	Tratamiento 2	-\$1,316.40	-\$597.07	-\$7,623.58	4941.03	58%	8.28			
Repetición2	Tratamiento 3	-\$1,337.60	-\$601.40	-\$7,610.08	4898.09	57%	8.14			
Repetición2	Tratamiento 4	-\$1,358.80	-\$607.43	-\$10,629.23	7810.20	78%	12.86			
Repetición 4	Control	-\$1,112.00	-\$569.83	-\$6,283.23	3891.72	54%	6.83			
Repetición 4	Tratamiento 1	-\$1,295.20	-\$592.73	-\$6,960.15	4323.62	53%	7.29			
Repetición 4	Tratamiento 2	-\$1,316.40	-\$597.07	-\$7,623.58	4941.03	58%	8.28			
Repetición 4	Tratamiento 3	-\$1,337.60	-\$601.40	-\$10,994.69	8199.81	81%	13.63			
Repetición 4	Tratamiento 4	-\$1,358.80	-\$607.43	-\$10,832.31	8008.30	79%	13.18			
Repetición 4	Control	-\$1,112.00	-\$569.83	-\$8,449.38	6004.82	73%	10.54			
Repetición 4	Tratamiento 1	-\$1,295.20	-\$592.73	-\$9,667.85	6965.00	74%	11.75			
Repetición 4	Tratamiento 2	-\$1,316.40	-\$597.07	-\$10,331.27	7582.41	78%	12.70			
Repetición 4	Tratamiento 3	-\$1,337.60	-\$601.40	-\$10,656.23	7869.64	79%	13.09			
Repetición 4	Tratamiento 4	-\$1,358.80	-\$607.43	-\$10,967.69	8140.37	80%	13.40			
Productor convert		-\$1,112.00	-\$1,013.71	-\$7,566.00	4266.25	50%	4.21			

Anexo D. Cuadros estadísticos

Tabla D1. *Análisis de varianza (ANOVA) para pH semana 8*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0.637	4	0.159	1.656	0.212
Dentro de grupos	1.441	15	0.096		
Total	2.078	19			

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D2. *Análisis de varianza (ANOVA) para CE semana 8*

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0.877	4	0.219	1.586	0.229
Dentro de grupos	2.073	15	0.138		
Total	2.950	19			

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D3. *Análisis de varianza (ANOVA) para materia orgánica*

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1.655	4	0.414	23.421	0.000
Dentro de grupos	0.265	15	0.018		
Total	1.920	19			

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D4. *Análisis de varianza (ANOVA) para fósforo*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	32.045	4	8.011	3.329	0.039
Dentro de grupos	36.093	15	2.406		
Total	68.138	19			

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D5. *Análisis de varianza (ANOVA) para potasio*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	702.800	4	175.700	7.535	0.002
Dentro de grupos	349.750	15	23.317		
Total	1052.550	19			

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D6. *Análisis de varianza (ANOVA) para índice de estabilidad estructural de Pieri*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	45.965	4	11.491	57.084	0.000
Dentro de grupos	3.020	15	0.201		
Total	48.984	19			

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D7. *Análisis de varianza (ANOVA) para densidad aparente*

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0.035	4	0.009	15.042	0.000
Dentro de grupos	0.009	15	0.001		
Total	0.044	19			

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D8. *Análisis de varianza (ANOVA) para porosidad*

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	54.579	4	13.645	13.015	0.000
Dentro de grupos	15.726	15	1.048		
Total	70.305	19			

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D9. *Análisis de varianza (ANOVA) para humedad disponible*

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	16.700	4	4.175	3.432	0.035
Dentro de grupos	18.250	15	1.217		
Total	34.950	19			

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D10. *Análisis de varianza (ANOVA) para resistencia a la penetración radicular*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2009.650	4	502.413	5.238	0.002
Dentro de grupos	3357.125	35	95.918		
Total	5366.775	39			

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D11. *Análisis de varianza (ANOVA) para respiración basal de suelos*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	508.276	4	127.069	19.224	0.000
Dentro de grupos	99.150	15	6.610		
Total	607.427	19			

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D12. *Análisis de varianza (ANOVA) para altura de la planta semana 8*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	5175.070	4	1293.768	70.754	0.000
Dentro de grupos	3565.650	195	18.285		
Total	8740.720	199			

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D13. *Análisis de varianza (ANOVA) para diámetro de tallo semana 8*

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	695.930	4	173.982	6.134	0.000
Dentro de grupos	5530.625	195	28.362		
Total	6226.555	199			

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D14. *Análisis de varianza (ANOVA) para diámetro de tallo semana 8*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2211.230	4	552.808	56.088	0.000
Dentro de grupos	1921.925	195	9.856		
Total	4133.155	199			

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D15. *Análisis de varianza (ANOVA) para longitud radicular máxima*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	268.250	4	67.063	9.956	0.000
Dentro de grupos	235.750	35	6.736		
Total	504.000	39			

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D16. *Análisis de varianza (ANOVA) para volumen del sistema radicular principal*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	225919940.65	4.00	56479985.16	7.868	0.000
Dentro de grupos	251249501.25	35.00	7178557.18		
Total	477169441.90	39.00			

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D17. *Análisis de varianza (ANOVA) para rendimiento agrícola*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	78.958	4	19.740	3.619	0.030
Dentro de grupos	81.814	15	5.454		
Total	160.772	19			

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D18. *Análisis de varianza (ANOVA) para relación beneficio costo*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	78.958	4	19.740	3.619	0.030
Dentro de grupos	81.814	15	5.454		
Total	160.772	19			

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D19. Prueba Kruskal – Wallis para estado de degradación

Estado de degradación	
Kruskal – Wallis	15.200
gl	4
Sig. asintótica	0.004

Nota: Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de 0.05

Muestra 1- Muestra 2	Estadístico de prueba	Estándar error	Dev. Estadístico de prueba	Sig.	Sig. ajust.
C-T1	0.000	3.141	0.000	1.000	1.000
C-T2	0.000	3.141	0.000	1.000	1.000
C-T3	-2.500	3.141	-0.796	0.426	1.000
C-T4	-10.000	3.141	-3.183	0.001	0.015
T1-T2	0.000	3.141	0.000	1.000	1.000
T1-T3	-2.500	3.141	-0.796	0.426	1.000
T1-T4	-10.000	3.141	-3.183	0.001	0.150
T2-T3	-2.500	3.141	-0.796	0.426	1.000
T2-T4	-10.000	3.141	-3.183	0.001	0.150
T3-T4	-7.500	3.141	-2.387	0.017	0.170

Nota: Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son las mismas. El nivel de significación es 0.05.

Tabla D20. Prueba Kruskal – Wallis para diámetro de inflorescencia

Diámetro de inflorescencia	
Kruskal – Wallis	137.829
Gl	4
Sig. Asintótica	0.000

Nota: Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de 0.05

Muestra 1- Muestra 2	Estadístico de prueba	Estándar error	Dev. Estadístico de prueba	Sig.	Sig. ajust.
C-T1	-34.988	12.887	-2.715	0.007	0.660
C-T2	-61.425	12.887	-4.766	0.000	0.000
C-T3	-104.462	12.887	-8.106	0.000	0.000
C-T4	-134.062	12.887	-10.403	0.000	0.000
T1-T2	-26.438	12.887	-20.051	0.040	0.402
T1-T3	-69.475	12.887	-5.391	0.000	0.000
T1-T4	-99.075	12.887	-7.688	0.000	0.000
T2-T3	-43.038	12.887	-3.339	0.001	0.008
T2-T4	-72.638	12.887	-5.636	0.000	0.000
T3-T4	-29.600	12.887	-2.297	0.220	0.216

Nota: Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son las mismas. El nivel de significación es 0.05.

Tabla D21. Prueba de esfericidad de Mauchly para pH

Efecto inter sujetos	W de Mauchly	Aprox. Chi- cuadrado	gl	Sig.	Épsilon		
					Greenhouse- Geisser	Huynh- Feldt	Límite inferior
Semanas	0.003	76.926	14	0.000	0.538	0.841	0.200

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D22. Prueba de esfericidad de Mauchly para conductividad eléctrica

Efecto inter sujetos	W de Mauchly	Aprox. Chi- cuadrado	gl	Sig.	Épsilon		
					Greenhouse- Geisser	Huynh- Feldt	Límite inferior
semanas	0.006	67.511	14	0.000	0.382	0.553	0.200

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D23. Prueba de esfericidad de Mauchly para altura de planta

Efecto inter sujetos	W de Mauchly	Aprox. Chi-cuadrado	Gl	Sig.	Épsilon		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Límite inferior
semanas	0.000		20		0.487	0.505	0.167

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D24. Prueba de esfericidad de Mauchly para diámetro de tallo

Efecto inter sujetos	W de Mauchly	Aprox. Chi-cuadrado	gl	Sig.	Épsilon		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Límite inferior
Semanas	0.311	225.616	9	0.000	0.627	0.649	0.250

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D25. Prueba de esfericidad de Mauchly para número de hojas

Efecto inter sujetos	W de Mauchly	Aprox. Chi-cuadrado	gl	Sig.	Épsilon		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Límite inferior
Semanas	0.005	1020.590	20	0.000	0.461	0.478	0.167

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D26. Prueba dentro de sujetos para pH

Origen		Tipo III de suma de cuadrados	gl	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado	Potencia observada ^a
Semanas	Esfericidad asumida	0.377	5	2.719	0.026	0.153	0.793
	Greenhouse-Geisser	0.377	2.689	2.719	0.063	0.153	0.586
	Huynh-Feldt	0.377	4.207	2.719	0.035	0.153	0.736
	Límite inferior	0.377	1.000	2.719	0.120	0.153	0.339
semanas * Tratamientos	Esfericidad asumida	0.579	20	1.045	0.424	0.218	0.692
	Greenhouse-Geisser	0.579	10.757	1.045	0.427	0.218	0.476
	Huynh-Feldt	0.579	16.827	1.045	0.425	0.218	0.629
	Límite inferior	0.579	4.000	1.045	0.417	0.218	0.252
Error(semanas)	Esfericidad asumida	2.079	75				
	Greenhouse-Geisser	2.079	40.340				
	Huynh-Feldt	2.079	63.099				
	Límite inferior	2.079	15.000				

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D27. Prueba intersujetos para pH

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado	Potencia observada ^a
Interceptación	5892.186	1	111356.002	0.000	1.000	1.000
Tratamientos	0.921	4	4.352	0.016	0.537	0.828
Error	0.794	15				

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D28. Prueba dentro de sujetos para conductividad eléctrica

Origen		Tipo III de suma de cuadrados	gl	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado	Potencia observada ^a
semanas	Esfericidad asumida	1.909	5	11.592	0.000	0.436	1.000
	Greenhouse-Geisser	1.909	1.910	11.592	0.000	0.436	0.986
	Huynh-Feldt	1.909	2.766	11.592	0.000	0.436	0.998
	Límite inferior	1.909	1.000	11.592	0.004	0.436	0.889
semanas * Tratamientos	Esfericidad asumida	0.990	20	1.503	0.105	0.286	0.879
	Greenhouse-Geisser	0.990	7.642	1.503	0.202	0.286	0.543
	Huynh-Feldt	0.990	11.065	1.503	0.167	0.286	0.677
	Límite inferior	0.990	4.000	1.503	0.251	0.286	0.355
Error(semanas)	Esfericidad asumida	2.470	75				
	Greenhouse-Geisser	2.470	28.657				
	Huynh-Feldt	2.470	41.494				
	Límite inferior	2.470	15.000				

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D29. Prueba intersujetos para conductividad eléctrica

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado	Potencia observada ^a
Interceptación	15.908	1	184.036	0.000	0.925	1.000
Tratamientos	0.961	4	2.778	0.066	0.426	0.616
Error	1.297	15				

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D30. Prueba dentro de sujetos para altura de planta

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado	Potencia observada ^a	
Semanas	Esfericidad asumida	555701.376	6	10809.165	0.000	0.982	1.000
	Greenhouse-Geisser	555701.376	2.920	10809.165	0.000	0.982	1.000
	Huynh-Feldt	555701.376	3.030	10809.165	0.000	0.982	1.000
	Límite inferior	555701.376	1.000	10809.165	0.000	0.982	1.000
semanas * Tratamientos	Esfericidad asumida	2942.634	24	14.310	0.000	0.227	1.000
	Greenhouse-Geisser	2942.634	11.681	14.310	0.000	0.227	1.000
	Huynh-Feldt	2942.634	12.121	14.310	0.000	0.227	1.000
	Límite inferior	2942.634	4.000	14.310	0.000	0.227	1.000
Error(semanas)	Esfericidad asumida	10024.990	1170				
	Greenhouse-Geisser	10024.990	569.444				
	Huynh-Feldt	10024.990	590.894				
	Límite inferior	10024.990	195.000				

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D31. Prueba intersujetos para altura de planta

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado	Potencia observada ^a
Interceptación	3259253.725	1	89760.036	0.000	0.998	1.000
Tratamientos	5787.442	4	39.847	0.000	0.450	1.000
Error	7080.595	195				

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D32. Prueba dentro de sujetos para diámetro de tallo

Origen		Tipo III de suma de cuadrados	gl	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado	Potencia observada ^a
Semanas	Esfericidad asumida	104688.204	4	2529.951	0.000	0.928	1.000
	Greenhouse-Geisser	104688.204	2.509	2529.951	0.000	0.928	1.000
	Huynh-Feldt	104688.204	2.597	2529.951	0.000	0.928	1.000
	Límite inferior	104688.204	1.000	2529.951	0.000	0.928	1.000
Semanas * Tratamientos	Esfericidad asumida	603.787	16	3.648	0.000	0.070	1.000
	Greenhouse-Geisser	603.787	10.037	3.648	0.000	0.070	0.995
	Huynh-Feldt	603.787	10.387	3.648	0.000	0.070	0.996
	Límite inferior	603.787	4.000	3.648	0.007	0.070	0.873
Error(Semanas)	Esfericidad asumida	8069.010	780				
	Greenhouse-Geisser	8069.010	489.304				
	Huynh-Feldt	8069.010	506.367				
	Límite inferior	8069.010	195.000				

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D33. Prueba intersujetos para diámetro de tallo

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado	Potencia observada ^a
Interceptación	781593.849	1	21442.067	0.000	0.991	1.000
Tratamientos	2729.624	4	18.721	0.000	0.277	1.000
Error	7108.028	195				

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D34. Prueba dentro de sujetos para número de hojas

Origen		Tipo III de suma de cuadrados	gl	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado	Potencia observada ^a
Semanas	Esfericidad asumida	48996.389	6	2891.098	0.000	0.937	1.000
	Greenhouse-Geisser	48996.389	2.768	2891.098	0.000	0.937	1.000
	Huynh-Feldt	48996.389	2.869	2891.098	0.000	0.937	1.000
	Límite inferior	48996.389	1.000	2891.098	0.000	0.937	1.000
Semanas * Tratamientos	Esfericidad asumida	1639.740	24	24.189	0.000	0.332	1.000
	Greenhouse-Geisser	1639.740	11.071	24.189	0.000	0.332	1.000
	Huynh-Feldt	1639.740	11.477	24.189	0.000	0.332	1.000
	Límite inferior	1639.740	4.000	24.189	0.000	0.332	1.000
Error(Semanas)	Esfericidad asumida	3304.729	1170				
	Greenhouse-Geisser	3304.729	539.728				
	Huynh-Feldt	3304.729	559.509				
	Límite inferior	3304.729	195.000				

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D35. Prueba intersujetos para número de hojas

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado	Potencia observada ^a
Interceptación	238893.531	1	37006.233	0.000	0.995	1.000
Tratamientos	1702.790	4	65.943	0.000	0.575	1.000
Error	1258.821	195				

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D36. Prueba Post Hoc para pH

HSD Tukey				
(I) Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Control	Tratamiento 1	0.0425	0.06640	0.966
	Tratamiento 2	0.0000	0.06640	0.138
	Tratamiento 3	0.1204	0.06640	0.402
	Tratamiento 4	0.2458	0.06640	0.016
Tratamiento 1	Control	-0.0425	0.06640	0.966
	Tratamiento 2	0.1250	0.06640	0.367
	Tratamiento 3	0.0779	0.06640	0.766
	Tratamiento 4	0.2033	0.06640	0.052
Tratamiento 2	Control	-0.1675	0.06640	0.138
	Tratamiento 1	-0.1250	0.06640	0.367
	Tratamiento 3	-0.0471	0.06640	0.951
	Tratamiento 4	0.0783	0.06640	0.762
Tratamiento 3	Control	-0.1204	0.06640	0.402
	Tratamiento 1	-0.0779	0.06640	0.766
	Tratamiento 2	0.0471	0.06640	0.951
	Tratamiento 4	0.1254	0.06640	0.364
Tratamiento 4	Control	-0.2458*	0.06640	0.016
	Tratamiento 1	-0.2033	0.06640	0.052
	Tratamiento 2	-0.0783	0.06640	0.762
	Tratamiento 3	-0.1254	0.06640	0.364

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D37. Prueba Post Hoc para conductividad eléctrica

HSD Tukey				
(I) Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Control	Tratamiento 1	0.1713	0.08487	0.304
	Tratamiento 2	0.1218	0.08487	0.616
	Tratamiento 3	0.2023	0.08487	0.173
	Tratamiento 4	0.2665	0.08487	0.045
Tratamiento 1	Control	-0.1713	0.08487	0.304
	Tratamiento 2	-0.0495	0.08487	0.976
	Tratamiento 3	0.0311	0.08487	0.996
	Tratamiento 4	0.0952	0.08487	0.793
Tratamiento 2	Control	-0.1218	0.08487	0.616
	Tratamiento 1	0.0495	0.08487	0.976
	Tratamiento 3	0.0806	0.08487	0.873
	Tratamiento 4	0.1447	0.08487	0.460
Tratamiento 3	Control	-0.2023	0.08487	0.173
	Tratamiento 1	-0.0311	0.08487	0.996
	Tratamiento 2	-0.0806	0.08487	0.873
	Tratamiento 4	0.0641	0.08487	0.939
Tratamiento 4	Control	-0.2665*	0.08487	0.045
	Tratamiento 1	-0.0952	0.08487	0.793
	Tratamiento 2	-0.1447	0.08487	0.460
	Tratamiento 3	-0.0641	0.08487	0.939

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D38. Prueba Post Hoc para capacidad de intercambio catiónico

		T3 Dunnett		
		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Control	Tratamiento 1	-0.90250	0.29671	0.165
	Tratamiento 2	-1.21750	0.49953	0.325
	Tratamiento 3	-1.38250*	0.28197	0.034
	Tratamiento 4	-1.41250	0.24669	0.052
Tratamiento 1	Control	0.90250	0.29671	0.165
	Tratamiento 2	-0.31500	0.46464	0.994
	Tratamiento 3	-0.48000	0.21417	0.373
	Tratamiento 4	-0.51000	0.16497	0.240
Tratamiento 2	Control	1.21750	0.49953	0.325
	Tratamiento 1	0.31500	0.46464	0.994
	Tratamiento 3	-0.16500	0.45537	1.000
	Tratamiento 4	-0.19500	0.43441	1.000
Tratamiento 3	Control	1.38250*	0.28197	0.034
	Tratamiento 1	0.48000	0.21417	0.373
	Tratamiento 2	0.16500	0.45537	1.000
	Tratamiento 4	-0.03000	0.13669	1.000
Tratamiento 4	Control	1.41250	0.24669	0.052
	Tratamiento 1	0.51000	0.16497	0.240
	Tratamiento 2	0.19500	0.43441	1.000
	Tratamiento 3	0.03000	0.13669	1.000

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D39. Prueba Post Hoc para pH semana 8

HSD Tukey				
(I) Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Control	Tratamiento 1	0.18500	0.21918	0.912
	Tratamiento 2	0.42000	0.21918	0.351
	Tratamiento 3	0.41250	0.21918	0.367
	Tratamiento 4	0.47000	0.21918	0.253
Tratamiento 1	Control	-0.18500	0.21918	0.912
	Tratamiento 2	0.23500	0.21918	0.818
	Tratamiento 3	0.22750	0.21918	0.834
	Tratamiento 4	0.28500	0.21918	0.695
Tratamiento 2	Control	-0.42000	0.21918	0.351
	Tratamiento 1	-0.23500	0.21918	0.818
	Tratamiento 3	-0.00750	0.21918	1.000
	Tratamiento 4	0.05000	0.21918	0.999
Tratamiento 3	Control	-0.41250	0.21918	0.367
	Tratamiento 1	-0.22750	0.21918	0.834
	Tratamiento 2	0.00750	0.21918	1.000
	Tratamiento 4	0.05750	0.21918	0.999
Tratamiento 4	Control	-0.47000	0.21918	0.253
	Tratamiento 1	-0.28500	0.21918	0.695
	Tratamiento 2	-0.05000	0.21918	0.999
	Tratamiento 3	-0.05750	0.21918	0.999

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D40. Prueba Post Hoc para CE semana 8

HSD Tukey				
(I) Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Control	Tratamiento 1	0.15250	0.26285	0.976
	Tratamiento 2	-0.11500	0.26285	0.992
	Tratamiento 3	0.30250	0.26285	0.778
	Tratamiento 4	0.47250	0.26285	0.410
Tratamiento 1	Control	-0.15250	0.26285	0.976
	Tratamiento 2	-0.26750	0.26285	0.843
	Tratamiento 3	0.15000	0.26285	0.977
	Tratamiento 4	0.32000	0.26285	0.742
Tratamiento 2	Control	0.11500	0.26285	0.992
	Tratamiento 1	0.26750	0.26285	0.843
	Tratamiento 3	0.41750	0.26285	0.526
	Tratamiento 4	0.58750	0.26285	0.220
Tratamiento 3	Control	-0.30250	0.26285	0.778
	Tratamiento 1	-0.15000	0.26285	0.977
	Tratamiento 2	-0.41750	0.26285	0.526
	Tratamiento 4	0.17000	0.26285	0.965
Tratamiento 4	Control	-0.47250	0.26285	0.410
	Tratamiento 1	-0.32000	0.26285	0.742
	Tratamiento 2	-0.58750	0.26285	0.220
	Tratamiento 3	-0.17000	0.26285	0.965

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D41. Prueba Post Hoc para materia orgánica

HSD Tukey				
(I) Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Control	Tratamiento 1	-0.03000	0.09397	0.997
	Tratamiento 2	-0.04500	0.09397	0.988
	Tratamiento 3	-0.41750*	0.09397	0.004
	Tratamiento 4	-0.73250*	0.09397	0.000
Tratamiento 1	Control	0.03000	0.09397	0.997
	Tratamiento 2	-0.01500	0.09397	1.000
	Tratamiento 3	-0.38750*	0.09397	0.007
	Tratamiento 4	-0.70250*	0.09397	0.000
Tratamiento 2	Control	0.04500	0.09397	0.988
	Tratamiento 1	0.01500	0.09397	1.000
	Tratamiento 3	-0.37250*	0.09397	0.009
	Tratamiento 4	-0.68750*	0.09397	0.000
Tratamiento 3	Control	0.41750*	0.09397	0.004
	Tratamiento 1	0.38750*	0.09397	0.007
	Tratamiento 2	0.37250*	0.09397	0.009
	Tratamiento 4	-0.31500*	0.09397	0.030
Tratamiento 4	Control	0.73250*	0.09397	0.000
	Tratamiento 1	0.70250*	0.09397	0.000
	Tratamiento 2	0.68750*	0.09397	0.000
	Tratamiento 3	0.31500*	0.09397	0.030

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D42. Prueba Post Hoc para fósforo

		HSD Tukey		
(I) Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Control	Tratamiento 1	0.95000	1.09685	0.905
	Tratamiento 2	-0.37500	1.09685	0.997
	Tratamiento 3	-1.12500	1.09685	0.840
	Tratamiento 4	-2.82500	1.09685	0.126
Tratamiento 1	Control	-0.95000	1.09685	0.905
	Tratamiento 2	-1.32500	1.09685	0.747
	Tratamiento 3	-2.07500	1.09685	0.363
	Tratamiento 4	-30.78	1.09685	0.026
Tratamiento 2	Control	0.37500	1.09685	0.997
	Tratamiento 1	1.32500	1.09685	0.747
	Tratamiento 3	-0.75000	1.09685	0.957
	Tratamiento 4	-2.45000	1.09685	0.220
Tratamiento 3	Control	1.12500	1.09685	0.840
	Tratamiento 1	2.07500	1.09685	0.363
	Tratamiento 2	0.75000	1.09685	0.957
	Tratamiento 4	-1.70000	1.09685	0.548
Tratamiento 4	Control	2.82500	1.09685	0.126
	Tratamiento 1	3.77500*	1.09685	0.026
	Tratamiento 2	2.45000	1.09685	0.220
	Tratamiento 3	1.70000	1.09685	0.548

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D43. Prueba Post Hoc para potasio

		HSD Tukey		
(I) Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Control	Tratamiento 1	-2.50000	3.41443	0.946
	Tratamiento 2	-5.00000	3.41443	0.599
	Tratamiento 3	-8.75000	3.41443	0.128
	Tratamiento 4	- 17.00000*	3.41443	0.001
Tratamiento 1	Control	2.50000	3.41443	0.946
	Tratamiento 2	-2.50000	3.41443	0.946
	Tratamiento 3	-6.25000	3.41443	0.393
	Tratamiento 4	- 14.50000*	3.41443	0.005
Tratamiento 2	Control	5.00000	3.41443	0.599
	Tratamiento 1	2.50000	3.41443	0.946
	Tratamiento 3	-3.75000	3.41443	0.805
	Tratamiento 4	- 12.00000*	3.41443	0.022
Tratamiento 3	Control	8.75000	3.41443	0.128
	Tratamiento 1	6.25000	3.41443	0.393
	Tratamiento 2	3.75000	3.41443	0.805
	Tratamiento 4	-8.25000	3.41443	0.164
Tratamiento 4	Control	17.00000*	3.41443	0.001
	Tratamiento 1	14.50000*	3.41443	0.005
	Tratamiento 2	12.00000*	3.41443	0.022
	Tratamiento 3	8.25000	3.41443	0.164

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D44. Prueba Post Hoc para índice de estabilidad estructural de Pieri

		HSD Tukey		
(I) Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Control	Tratamiento 1	-0.38750	0.31726	0.740
	Tratamiento 2	-0.63250	0.31726	0.315
	Tratamiento 3	-2.10000*	0.31726	0.000
	Tratamiento 4	-4.12750*	0.31726	0.000
Tratamiento 1	Control	0.38750	0.31726	0.740
	Tratamiento 2	-0.24500	0.31726	0.935
	Tratamiento 3	-1.71250*	0.31726	0.001
	Tratamiento 4	-3.74000*	0.31726	0.000
Tratamiento 2	Control	0.63250	0.31726	0.315
	Tratamiento 1	0.24500	0.31726	0.935
	Tratamiento 3	-1.46750*	0.31726	0.003
	Tratamiento 4	-3.49500*	0.31726	0.000
Tratamiento 3	Control	2.10000*	0.31726	0.000
	Tratamiento 1	1.71250*	0.31726	0.001
	Tratamiento 2	1.46750*	0.31726	0.003
	Tratamiento 4	-2.02750*	0.31726	0.000
Tratamiento 4	Control	4.12750*	0.31726	0.000
	Tratamiento 1	3.74000*	0.31726	0.000
	Tratamiento 2	3.49500*	0.31726	0.000
	Tratamiento 3	2.02750*	0.31726	0.000

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D45. Prueba Post Hoc para densidad aparente

		HSD Tukey		
(I) Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Control	Tratamiento 1	0.069750*	0.017053	0.007
	Tratamiento 2	0.082000*	0.017053	0.002
	Tratamiento 3	0.089750*	0.017053	0.001
	Tratamiento 4	0.128250*	0.017053	0.000
Tratamiento 1	Control	- 0.069750*	0.017053	0.007
	Tratamiento 2	0.012250	0.017053	0.949
	Tratamiento 3	0.020000	0.017053	0.766
	Tratamiento 4	0.058500*	0.017053	0.026
Tratamiento 2	Control	- 0.082000*	0.017053	0.002
	Tratamiento 1	-0.012250	0.017053	0.949
	Tratamiento 3	0.007750	0.017053	0.990
	Tratamiento 4	0.046250	0.017053	0.099
Tratamiento 3	Control	- 0.089750*	0.017053	0.001
	Tratamiento 1	-0.020000	0.017053	0.766
	Tratamiento 2	-0.007750	0.017053	0.990
	Tratamiento 4	0.038500	0.017053	0.212
Tratamiento 4	Control	- 0.128250*	0.017053	0.000
	Tratamiento 1	- 0.058500*	0.017053	0.026
	Tratamiento 2	-0.046250	0.017053	0.099
	Tratamiento 3	-0.038500	0.017053	0.212

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D46. Prueba Post Hoc para porosidad

		HSD Tukey		
(I) Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Control	Tratamiento 1	-2.45000*	0.72401	0.029
	Tratamiento 2	-3.32000*	0.72401	0.003
	Tratamiento 3	-3.53250*	0.72401	0.002
	Tratamiento 4	-5.01250*	0.72401	0.000
Tratamiento 1	Control	2.45000*	0.72401	0.029
	Tratamiento 2	-0.87000	0.72401	0.751
	Tratamiento 3	-1.08250	0.72401	0.581
	Tratamiento 4	-2.56250*	0.72401	0.021
Tratamiento 2	Control	3.32000*	0.72401	0.003
	Tratamiento 1	0.87000	0.72401	0.751
	Tratamiento 3	-0.21250	0.72401	0.998
	Tratamiento 4	-1.69250	0.72401	0.187
Tratamiento 3	Control	3.53250*	0.72401	0.002
	Tratamiento 1	1.08250	0.72401	0.581
	Tratamiento 2	0.21250	0.72401	0.998
	Tratamiento 4	-1.48000	0.72401	0.293
Tratamiento 4	Control	5.01250*	0.72401	0.000
	Tratamiento 1	2.56250*	0.72401	0.021
	Tratamiento 2	1.69250	0.72401	0.187
	Tratamiento 3	1.48000	0.72401	0.293

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D47. Prueba Post Hoc para humedad

		HSD Tukey		
(I) Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Control	Tratamiento 1	1.00000	0.77996	0.705
	Tratamiento 2	2.50000*	0.77996	0.040
	Tratamiento 3	0.25000	0.77996	0.997
	Tratamiento 4	0.25000	0.77996	0.997
Tratamiento 1	Control	-1.00000	0.77996	0.705
	Tratamiento 2	1.50000	0.77996	0.347
	Tratamiento 3	-0.75000	0.77996	0.868
	Tratamiento 4	-0.75000	0.77996	0.868
Tratamiento 2	Control	-2.50000*	0.77996	0.040
	Tratamiento 1	-1.50000	0.77996	0.347
	Tratamiento 3	-2.25000	0.77996	0.073
	Tratamiento 4	-2.25000	0.77996	0.073
Tratamiento 3	Control	-0.25000	0.77996	0.997
	Tratamiento 1	0.75000	0.77996	0.868
	Tratamiento 2	2.25000	0.77996	0.073
	Tratamiento 4	0.00000	0.77996	1.000
Tratamiento 4	Control	-0.25000	0.77996	0.997
	Tratamiento 1	0.75000	0.77996	0.868
	Tratamiento 2	2.25000	0.77996	0.073
	Tratamiento 3	0.00000	0.77996	1.000

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D48. Prueba Post Hoc para resistencia a la penetración radicular

		HSD Tukey		
(I) Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Control	Tratamiento 1	0.25000	4.89688	1.000
	Tratamiento 2	7.87500	4.89688	0.502
	Tratamiento 3	13.87500	4.89688	0.055
	Tratamiento 4	17.62500*	4.89688	0.008
Tratamiento 1	Control	-0.25000	4.89688	1.000
	Tratamiento 2	7.62500	4.89688	0.534
	Tratamiento 3	13.62500	4.89688	0.062
	Tratamiento 4	17.37500*	4.89688	0.009
Tratamiento 2	Control	-7.87500	4.89688	0.502
	Tratamiento 1	-7.62500	4.89688	0.534
	Tratamiento 3	6.00000	4.89688	0.737
	Tratamiento 4	9.75000	4.89688	0.291
Tratamiento 3	Control	-13.87500	4.89688	0.055
	Tratamiento 1	-13.62500	4.89688	0.062
	Tratamiento 2	-6.00000	4.89688	0.737
	Tratamiento 4	3.75000	4.89688	0.939
Tratamiento 4	Control	-	4.89688	0.008
		17.62500*		
	Tratamiento 1	-	4.89688	0.009
		17.37500*		
	Tratamiento 2	-9.75000	4.89688	0.291
	3	-3.75000	4.89688	0.939

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D49. Prueba Post Hoc para respiración basal de suelos

T3 Dunnett				
Control	Tratamiento 1	-6.66068	1.95231	0.161
	Tratamiento 2	-	0.68004	0.000
	Tratamiento 3	11.29318*	0.79946	0.000
	Tratamiento 4	-	2.11368	0.027
	Tratamiento 4	13.26680*		
Tratamiento 1	Control	6.66068	1.95231	0.161
	Tratamiento 2	-4.63250	1.87843	0.369
	Tratamiento 3	-6.48805	1.92488	0.175
	Tratamiento 4	-6.60613	2.74476	0.309
Tratamiento 2	Control	11.29318*	0.68004	0.000
	Tratamiento 1	4.63250	1.87843	0.369
	Tratamiento 3	-1.85555	0.59674	0.165
	Tratamiento 4	-1.97363	2.04563	0.948
Tratamiento 3	Control	13.14872*	0.79946	0.000
	Tratamiento 1	6.48805	1.92488	0.175
	Tratamiento 2	1.85555	0.59674	0.165
	Tratamiento 4	-0.11808	2.08837	10.000
Tratamiento 4	Control	13.26680*	2.11368	0.027
	Tratamiento 1	6.60613	2.74476	0.309
	Tratamiento 2	1.97363	2.04563	0.948
	Tratamiento 3	0.11808	2.08837	1.000

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D50. Prueba Post Hoc para altura de planta semana 8

		HSD Tukey		
(I) Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Control	Tratamiento 1	-6.82500*	0.95617	0.000
	Tratamiento 2	-9.40000*	0.95617	0.000
	Tratamiento 3	-10.62500*	0.95617	0.000
	Tratamiento 4	-15.50000*	0.95617	0.000
Tratamiento 1	Control	6.82500*	0.95617	0.000
	Tratamiento 2	-2.57500	0.95617	0.059
	Tratamiento 3	-3.80000*	0.95617	0.001
	Tratamiento 4	-8.67500*	0.95617	0.000
Tratamiento 2	Control	9.40000*	0.95617	0.000
	Tratamiento 1	2.57500	0.95617	0.059
	Tratamiento 3	-1.22500	0.95617	0.703
	Tratamiento 4	-6.10000*	0.95617	0.000
Tratamiento 3	Control	10.62500*	0.95617	0.000
	Tratamiento 1	3.80000*	0.95617	0.001
	Tratamiento 2	1.22500	0.95617	0.703
	Tratamiento 4	-4.87500*	0.95617	0.000
Tratamiento 4	Control	15.50000*	0.95617	0.000
	Tratamiento 1	8.67500*	0.95617	0.000
	Tratamiento 2	6.10000*	0.95617	0.000
	Tratamiento 3	4.87500*	0.95617	0.000

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D51. Prueba Post Hoc para diámetro de tallo

T3 Dunnett				
(I) Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Control	Tratamiento 1	-0.70000	1.19084	0.977
	Tratamiento 2	-1.77500	1.19084	0.570
	Tratamiento 3	-2.32500	1.19084	0.293
	Tratamiento 4	-5.40000*	1.19084	0.000
Tratamiento 1	Control	0.70000	1.19084	0.977
	Tratamiento 2	-1.07500	1.19084	0.896
	Tratamiento 3	-1.62500	1.19084	0.651
	Tratamiento 4	-4.70000*	1.19084	0.001
Tratamiento 2	Control	1.77500	1.19084	0.570
	Tratamiento 1	1.07500	1.19084	0.896
	Tratamiento 3	-0.55000	1.19084	0.991
	Tratamiento 4	-3.62500*	1.19084	0.022
Tratamiento 3	Control	2.32500	1.19084	0.293
	Tratamiento 1	1.62500	1.19084	0.651
	Tratamiento 2	0.55000	1.19084	0.991
	Tratamiento 4	-3.07500	1.19084	0.078
Tratamiento 4	Control	5.40000*	1.19084	0.000
	Tratamiento 1	4.70000*	1.19084	0.001
	Tratamiento 2	3.62500*	1.19084	0.022
	Tratamiento 3	3.07500	1.19084	0.078

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D52. Prueba Post Hoc para número de hojas

HSD Tukey				
(I) Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Control	Tratamiento 1	-2.175*	0.702	0.019
	Tratamiento 2	-2.775*	0.702	0.001
	Tratamiento 3	-6.600*	0.702	0.000
	Tratamiento 4	-9.275*	0.702	0.000
Tratamiento 1	Control	2.175*	0.702	0.019
	Tratamiento 2	-0.600	0.702	0.913
	Tratamiento 3	-4.425*	0.702	0.000
	Tratamiento 4	-7.100*	0.702	0.000
Tratamiento 2	Control	2.775*	0.702	0.001
	Tratamiento 1	0.600	0.702	0.913
	Tratamiento 3	-3.825*	0.702	0.000
	Tratamiento 4	-6.500*	0.702	0.000
Tratamiento 3	Control	6.600*	0.702	0.000
	Tratamiento 1	4.425*	0.702	0.000
	Tratamiento 2	3.825*	0.702	0.000
	Tratamiento 4	-2.675*	0.702	0.002
Tratamiento 4	Control	9.275*	0.702	0.000
	Tratamiento 1	7.100*	0.702	0.000
	Tratamiento 2	6.500*	0.702	0.000
	Tratamiento 3	2.675*	0.702	0.002

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D53. Prueba Post Hoc para longitud radicular máxima

		HSD Tukey		
(I) Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Control	Tratamiento 1	-1.50000	1.29766	0.776
	Tratamiento 2	-3.62500	1.29766	0.060
	Tratamiento 3	-5.00000*	1.29766	0.004
	Tratamiento 4	-7.37500*	1.29766	0.000
Tratamiento 1	Control	1.50000	1.29766	0.776
	Tratamiento 2	-2.12500	1.29766	0.484
	Tratamiento 3	-3.50000	1.29766	0.075
	Tratamiento 4	-5.87500*	1.29766	0.001
Tratamiento 2	Control	3.62500	1.29766	0.060
	Tratamiento 1	2.12500	1.29766	0.484
	Tratamiento 3	-1.37500	1.29766	0.826
	Tratamiento 4	-3.75000*	1.29766	0.048
Tratamiento 3	Control	5.00000*	1.29766	0.004
	Tratamiento 1	3.50000	1.29766	0.075
	Tratamiento 2	1.37500	1.29766	0.826
	Tratamiento 4	-2.37500	1.29766	0.373
Tratamiento 4	Control	7.37500*	1.29766	0.000
	Tratamiento 1	5.87500*	1.29766	0.001
	Tratamiento 2	3.75000*	1.29766	0.048
	Tratamiento 3	2.37500	1.29766	0.373

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D54. Prueba Post Hoc para volumen del sistema radicular principal

		HSD Tukey		
(I) Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Control	Tratamiento 1	-	1339.64148	0.297
	Tratamiento 2	2650.75000	1339.64148	0.240
	Tratamiento 3	-	1339.64148	0.002
	Tratamiento 4	5422.37500*	1339.64148	0.000
	Tratamiento 4	-	1339.64148	0.000
Tratamiento 1	Control	2650.75000	1339.64148	0.297
	Tratamiento 2	-171.62500	1339.64148	1.000
	Tratamiento 3	-	1339.64148	0.256
	Tratamiento 4	2771.62500	1339.64148	0.028
	Tratamiento 4	-	1339.64148	0.028
Tratamiento 2	Control	2822.37500	1339.64148	0.240
	Tratamiento 1	171.62500	1339.64148	1.000
	Tratamiento 3	-	1339.64148	0.316
	Tratamiento 4	2600.00000	1339.64148	0.038
	Tratamiento 4	-	1339.64148	0.038
Tratamiento 3	Control	4013.00000*	1339.64148	0.002
	Tratamiento 1	2771.62500	1339.64148	0.256
	Tratamiento 2	2600.00000	1339.64148	0.316
	Tratamiento 4	-	1339.64148	0.828
	Tratamiento 4	1413.00000	1339.64148	0.828
Tratamiento 4	Control	6835.37500*	1339.64148	0.000
	Tratamiento 1	4184.62500*	1339.64148	0.028
	Tratamiento 2	4013.00000*	1339.64148	0.038
	Tratamiento 3	1413.00000	1339.64148	0.828
	Tratamiento 3	-	1339.64148	0.828

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D55. Prueba Post Hoc para rendimiento agrícola

HSD Tukey				
(I) Grupos de evaluación		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Control	Tratamiento 1	-2.08750	1.65140	0.716
	Tratamiento 2	-2.78750	1.65140	0.469
	Tratamiento 3	-4.42750	1.65140	0.105
	Tratamiento 4	-5.79750*	1.65140	0.022
Tratamiento 1	Control	2.08750	1.65140	0.716
	Tratamiento 2	-0.70000	1.65140	0.993
	Tratamiento 3	-2.34000	1.65140	0.627
	Tratamiento 4	-3.71000	1.65140	0.216
Tratamiento 2	Control	2.78750	1.65140	0.469
	Tratamiento 1	0.70000	1.65140	0.993
	Tratamiento 3	-1.64000	1.65140	0.854
	Tratamiento 4	-3.01000	1.65140	0.397
Tratamiento 3	Control	4.42750	1.65140	0.105
	Tratamiento 1	2.34000	1.65140	0.627
	Tratamiento 2	1.64000	1.65140	0.854
	Tratamiento 4	-1.37000	1.65140	0.917
Tratamiento 4	Control	5.79750*	1.65140	0.022
	Tratamiento 1	3.71000	1.65140	0.216
	Tratamiento 2	3.01000	1.65140	0.397
	Tratamiento 3	1.37000	1.65140	0.917

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D56. Prueba Post Hoc para relación beneficio costo

		HSD Tukey		
(I) Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Control	Tratamiento 1	-2.08750	1.65140	0.716
	Tratamiento 2	-2.78750	1.65140	0.469
	Tratamiento 3	-4.42750	1.65140	0.105
	Tratamiento 4	-5.79750*	1.65140	0.022
Tratamiento 1	Control	2.08750	1.65140	0.716
	Tratamiento 2	-0.70000	1.65140	0.993
	Tratamiento 3	-2.34000	1.65140	0.627
	Tratamiento 4	-3.71000	1.65140	0.216
Tratamiento 2	Control	2.78750	1.65140	0.469
	Tratamiento 1	0.70000	1.65140	0.993
	Tratamiento 3	-1.64000	1.65140	0.854
	Tratamiento 4	-3.01000	1.65140	0.397
Tratamiento 3	Control	4.42750	1.65140	0.105
	Tratamiento 1	2.34000	1.65140	0.627
	Tratamiento 2	1.64000	1.65140	0.854
	Tratamiento 4	-1.37000	1.65140	0.917
Tratamiento 4	Control	5.79750*	1.65140	0.022
	Tratamiento 1	3.71000	1.65140	0.216
	Tratamiento 2	3.01000	1.65140	0.397
	Tratamiento 3	1.37000	1.65140	0.917

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D57. Coeficientes para regresión cuadrática

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
Tratamientos	-0.145	0.126	-0.262	-1.153	0.265
Tratamientos ** 2	0.080	0.015	1.212	5.341	0.000
(Constante)	2.367	0.212		11.162	0.000

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D58. Coeficientes para regresión lineal simple

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
1 (Constante)	10.425	0.769		13.557	0.000
Tratamientos	0.766	0.157	0.754	4.877	0.000

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D59. Prueba t Student para rendimiento tratamiento 4 y mercado local

	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Valor de prueba = 12.2	
					95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Rendimiento (T.ha-1)	5.978	3	0.009	4.28725	2.0048	6.5697

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D60. Prueba *t* Student para relación beneficio costo tratamiento 4 y mercado local

	Valor de prueba = 4.21					
	T	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Relación beneficio- costo	10.773	3	0.002	8.18500	5.7670	10.6030

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D61. Prueba *t* Student para relación beneficio costo tratamiento 3 y mercado local

	Valor de prueba = 4.21					
	T	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Relación beneficio- costo	4.970	3	0.016	6.81500	2.4515	11.1785

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D62. Prueba *t* Student para relación beneficio costo tratamiento 2 y mercado local

	Valor de prueba = 4.21					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Relación beneficio- costo	4.683	3	0.018	5.17500	1.6584	8.6916

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D63. Prueba *t* Student para relación beneficio costo tratamiento I y mercado local

	Valor de prueba = 4.21					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Relación beneficio- costo	4.241	3	0.024	4.47500	1.1168	7.8332

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Tabla D64. Prueba *t* Student para relación beneficio costo control y mercado local

	Valor de prueba = 4.21					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Relación beneficio- costo	1.677	3	0.192	2.38750	- 2.1424	6.9174

Nota: Se empleó un nivel de significancia de 0.05

Anexo E. Informes de análisis de laboratorio

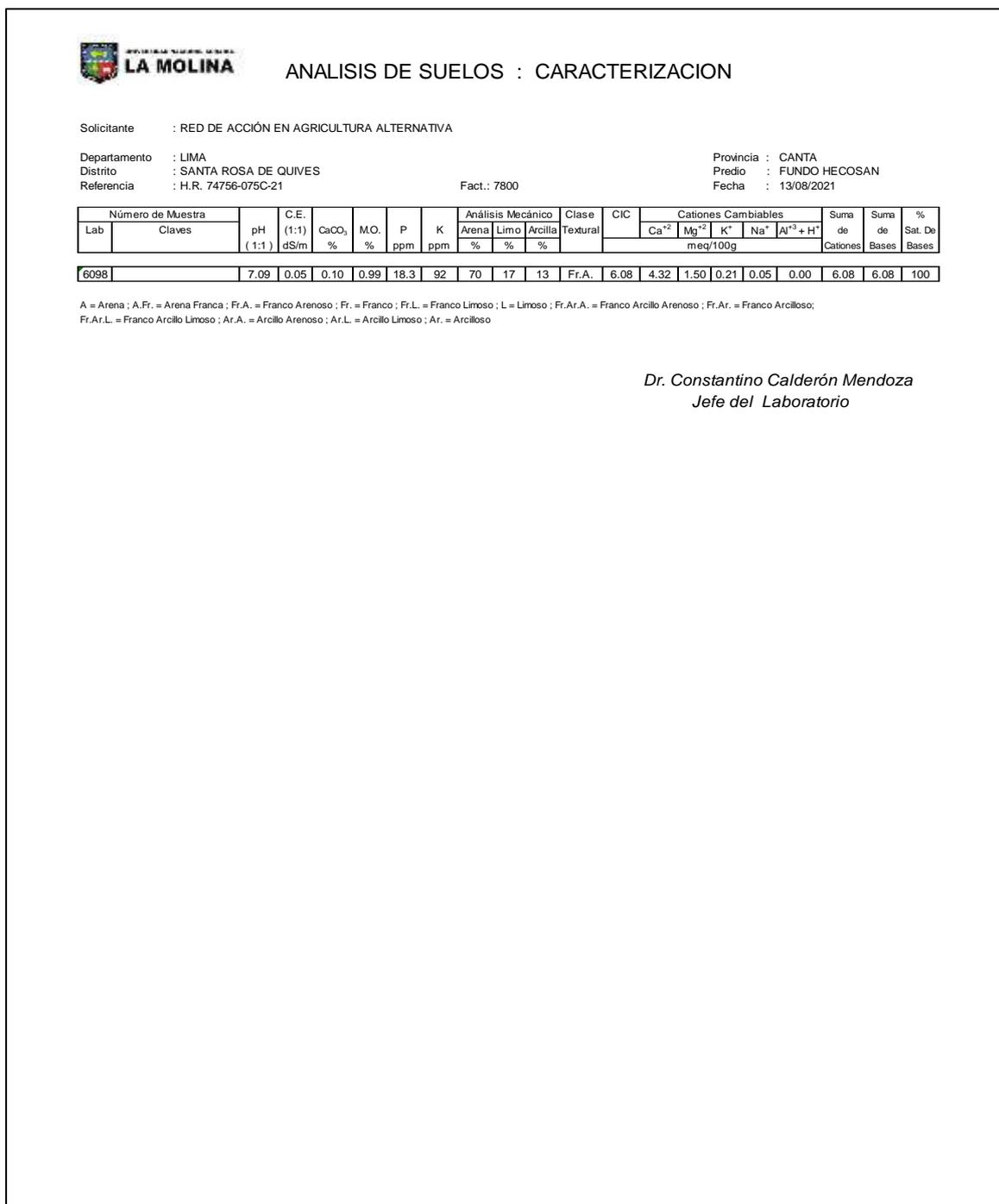


Figura F1. Análisis inicial de caracterización fisicoquímica de la parcela



ANÁLISIS DE SUELOS : CARACTERIZACIÓN

Solicitante : RED DE ACCIÓN EN AGRICULTURA ALTERNATIVA

Departamento : LIMA
 Distrito : SANTA ROSA DE QUIVES
 Referencia : H.R. 75026-108C-21

Fact.: 7949

Provincia : CANTA
 Predio : FUNDO HECOSAN
 Fecha : 5/10/2021

Número de Muestra Lab	Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺² meq/100g	Mg ⁺² K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺				
9320	MUESTRA C - 1	7.41	0.62	0.10	0.84	11.5	67	65	27	8	Fr.A.	7.00	5.22	1.47	0.18	0.13	0.00	7.00	7.00	100
9321	MUESTRA T1 - 1	7.53	0.94	0.10	0.65	9.4	64	69	21	10	Fr.A.	7.84	5.93	1.58	0.17	0.16	0.00	7.84	7.84	100
9322	MUESTRA T2 - 1	7.29	0.86	0.10	0.84	10.8	72	73	17	10	Fr.A.	8.00	6.05	1.62	0.19	0.14	0.00	8.00	8.00	100
9323	MUESTRA T3 - 1	6.95	0.36	0.00	1.12	11.2	78	73	16	11	Fr.A.	7.84	5.76	1.68	0.22	0.17	0.00	7.84	7.84	100
9324	MUESTRA T4 - 1	6.92	0.32	0.00	1.56	13.8	87	78	11	11	Fr.A.	7.99	6.14	1.48	0.20	0.17	0.00	7.99	7.99	100
9325	MUESTRA C - 2	7.39	1.28	0.10	0.80	12.2	76	67	25	8	Fr.A.	7.12	5.23	1.52	0.21	0.17	0.00	7.12	7.12	100
9326	MUESTRA T1 - 2	7.08	0.42	0.10	0.76	9.1	72	71	19	10	Fr.A.	7.20	5.33	1.53	0.19	0.15	0.00	7.20	7.20	100
9327	MUESTRA T2 - 2	6.11	1.87	0.00	0.65	13.6	76	73	17	10	Fr.A.	6.70	5.11	1.32	0.17	0.10	0.00	6.70	6.70	100
9328	MUESTRA T3 - 2	7.12	0.39	0.10	1.26	12.0	74	71	19	10	Fr.A.	7.68	5.87	1.48	0.18	0.14	0.00	7.68	7.68	100
9329	MUESTRA T4 - 2	6.72	0.35	0.00	1.48	16.5	87	75	13	12	Fr.A.	7.98	6.12	1.46	0.21	0.18	0.00	7.98	7.98	100
9330	MUESTRA C - 3	7.38	0.60	0.10	0.77	12.2	74	64	27	9	Fr.A.	7.20	5.40	1.47	0.17	0.16	0.00	7.20	7.20	100
9331	MUESTRA T1 - 3	7.41	0.59	0.00	0.71	11.2	71	69	21	10	Fr.A.	7.68	5.90	1.37	0.18	0.23	0.00	7.68	7.68	100
9332	MUESTRA T2 - 3	7.40	0.38	0.00	0.84	12.6	75	73	17	10	Fr.A.	7.68	5.83	1.48	0.20	0.17	0.00	7.68	7.68	100
9333	MUESTRA T3 - 3	6.94	0.29	0.00	1.25	13.3	81	75	14	11	Fr.A.	8.00	6.17	1.48	0.18	0.17	0.00	8.00	8.00	100
9334	MUESTRA T4 - 3	7.08	0.28	0.00	1.59	12.4	88	75	13	12	Fr.A.	7.99	6.13	1.47	0.21	0.18	0.00	7.99	7.99	100
9335	MUESTRA C - 4	7.42	0.67	0.10	0.78	11.1	63	63	28	9	Fr.A.	7.57	5.83	1.46	0.15	0.13	0.00	7.57	7.57	100
9336	MUESTRA T1 - 4	6.84	0.61	0.00	1.17	13.5	83	67	23	10	Fr.A.	7.20	5.73	1.18	0.15	0.14	0.00	7.20	7.20	100
9337	MUESTRA T2 - 4	7.12	0.52	0.00	1.04	11.5	77	65	25	10	Fr.A.	8.80	6.76	1.70	0.22	0.12	0.00	8.80	8.80	100
9338	MUESTRA T3 - 4	6.94	0.92	0.00	1.23	15.0	82	69	20	11	Fr.A.	8.32	6.48	1.53	0.18	0.13	0.00	8.32	8.32	100
9339	MUESTRA T4 - 4	7.00	0.33	0.00	1.49	15.6	86	76	12	12	Fr.A.	8.00	6.12	1.48	0.20	0.19	0.00	8.00	8.00	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Dr. Constantino Calderón Mendoza
 Jefe del Laboratorio

Figura F2. Análisis final de caracterización fisicoquímica de las unidades experimentales

Anexo F. Registro fotográfico



Figura F1. Muestreo de caracterización inicial



Figura F2. *Elaboración de trampas de melaza y plástico amarillo*



Figura F3. *Colocación de trampas de plástico amarillo*



Figura F4. *Colocación de trampas melaza*



Figura F5. *Trampas de melaza y plástico amarillo*



Figura F6. *Instrumentos de medición permanente*



Figura F7. *Primera aplicación de Phyco Terra®*



Figura F8. *Preparación de segunda aplicación de Phyco Terra®*



Figura F9. *Muestreo semanal de suelos*



Figura F10. *Muestras de suelos*



Figura F11. *Conteo de hojas*



Figura F12. *Medición de altura de planta*



Figura F13. *Medición de diámetro de tallo*



Figura F14. *Muestreo final de caracterización de suelos*



Figura F15. *Medición de densidad aparente y real de suelos. humedad y porosidad.*

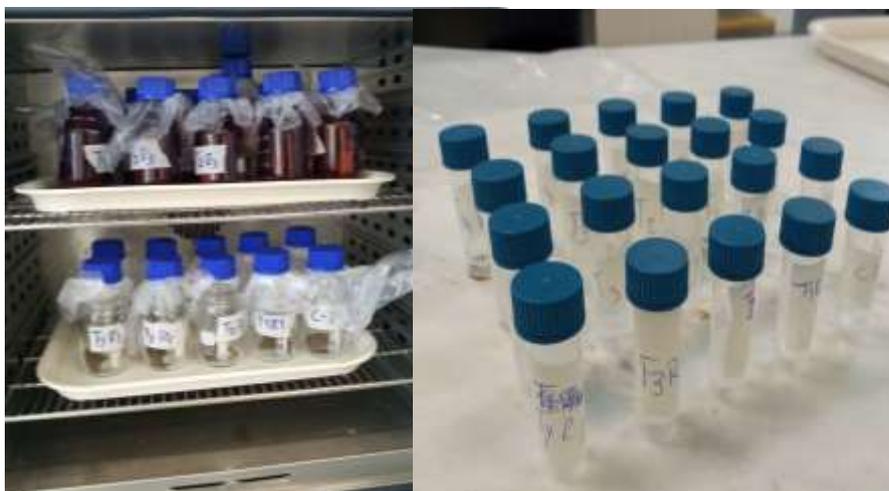


Figura F16. *Preparación de ensayo de respiración basal de suelos*

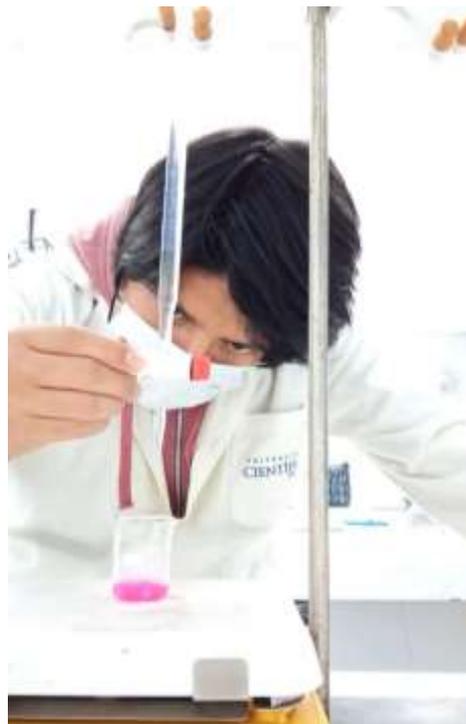


Figura F17. *Titulación ácido base de ensayo de respiración basal de suelos y captura de CO₂*

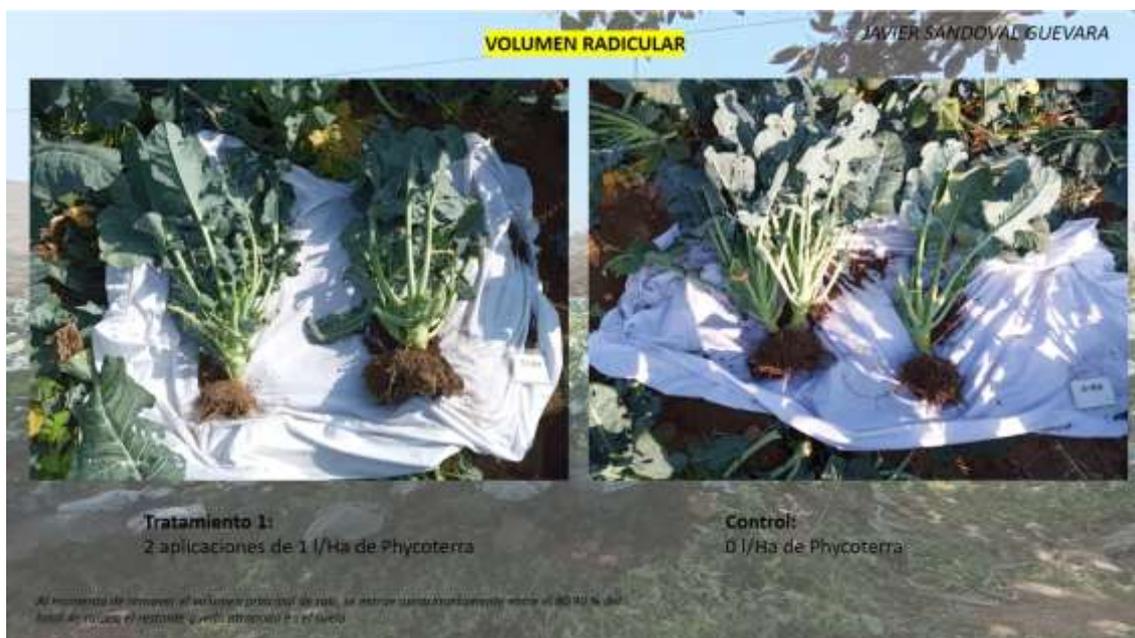


Figura F18. *Volumen del sistema radicular principal C-T1 (Repetición 4)*

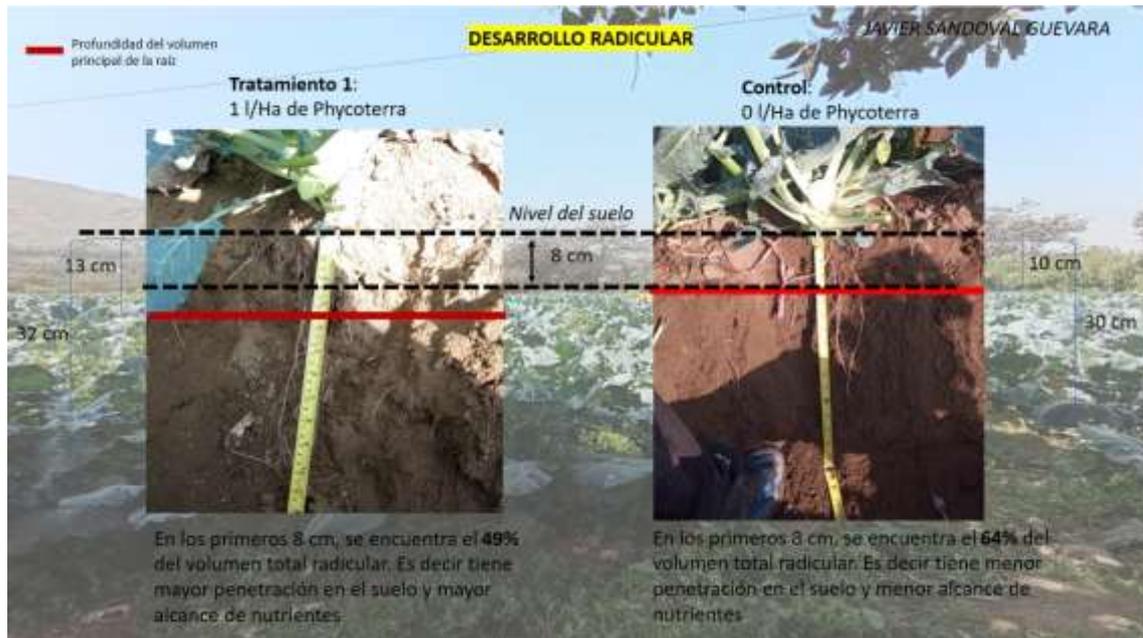


Figura F19. Resistencia a la penetración del sistema radicular C-T1 (Repetición 4)



Figura F20. Volumen del sistema radicular principal C-T2 (Repetición 3)

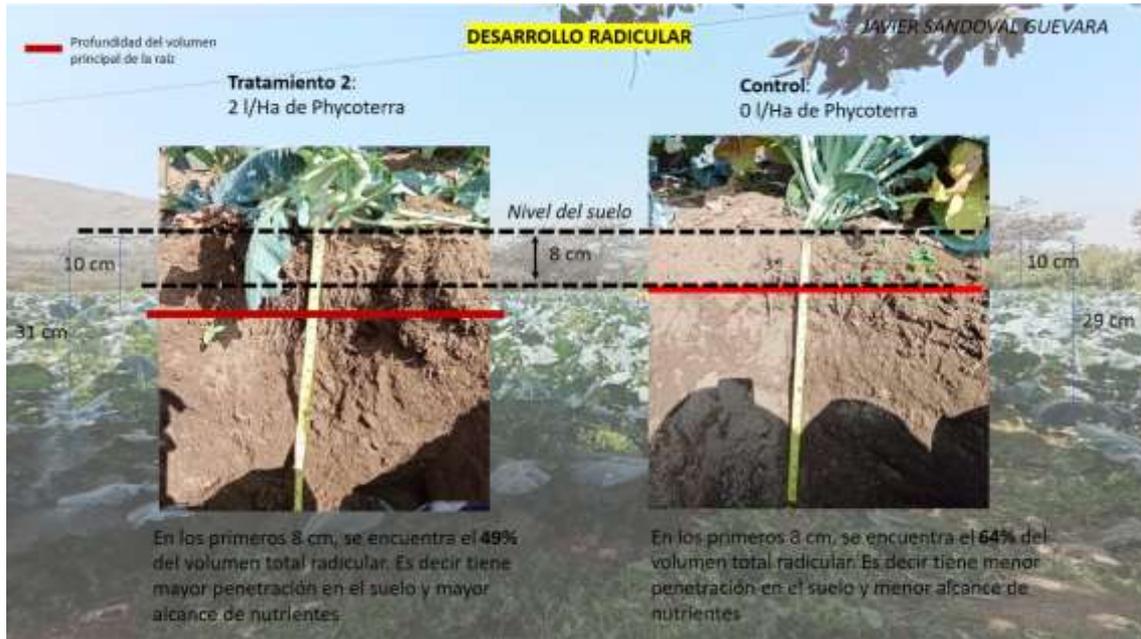


Figura F21. Resistencia a la penetración del sistema radicular C-T2 (Repetición 3)



Figura F22 Volumen del sistema radicular principal C-T3 (Repetición 1)

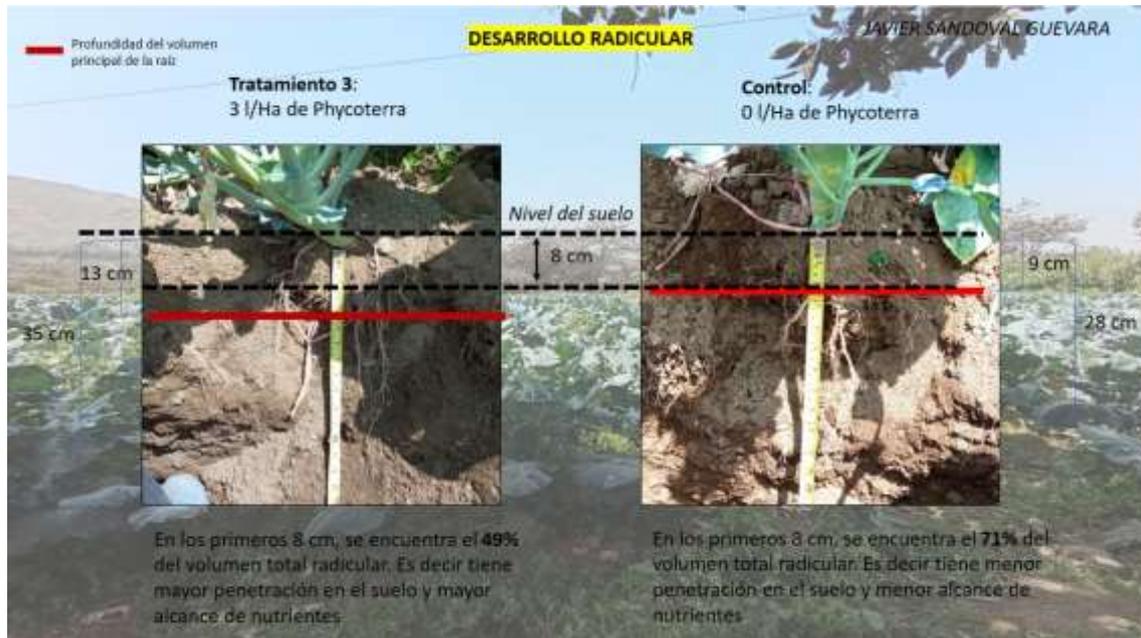


Figura F23. Resistencia a la penetración del sistema radicular C-T3 (Repetición 1)

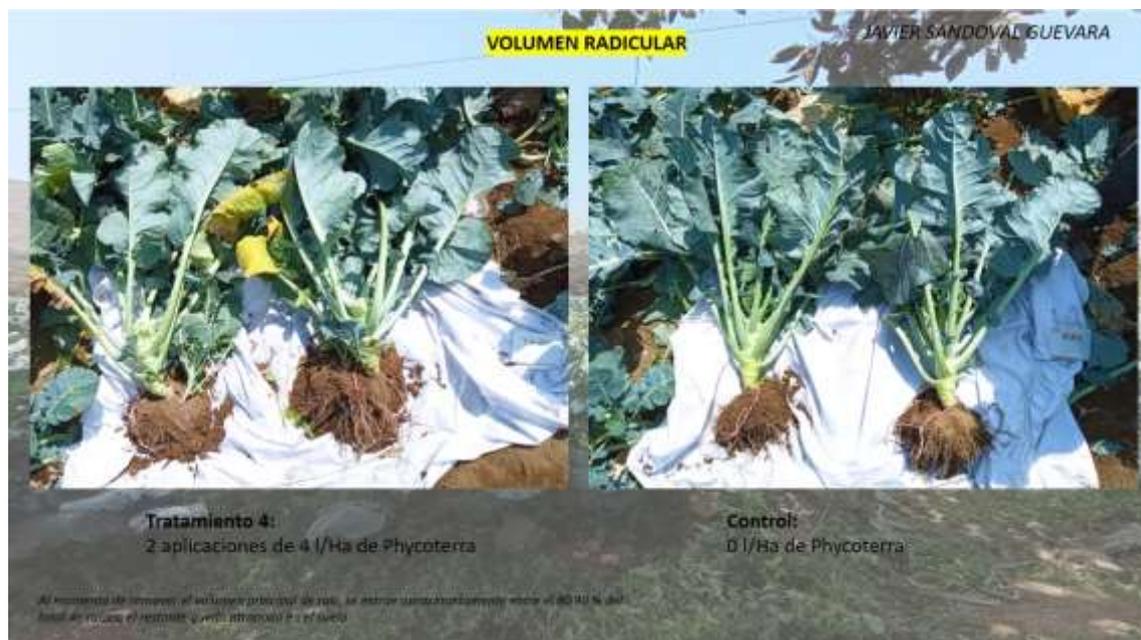


Figura F24. Volumen del sistema radicular principal C-T4 (Repetición 2)

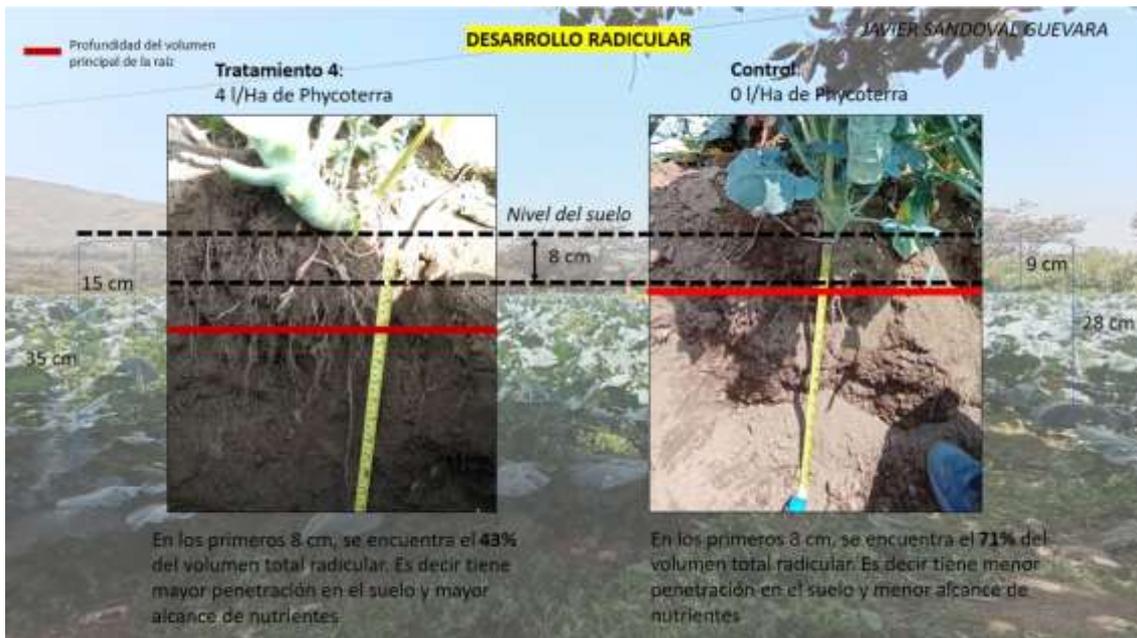


Figura F25. Resistencia a la penetración del sistema radicular C-T4 (Repetición 2)

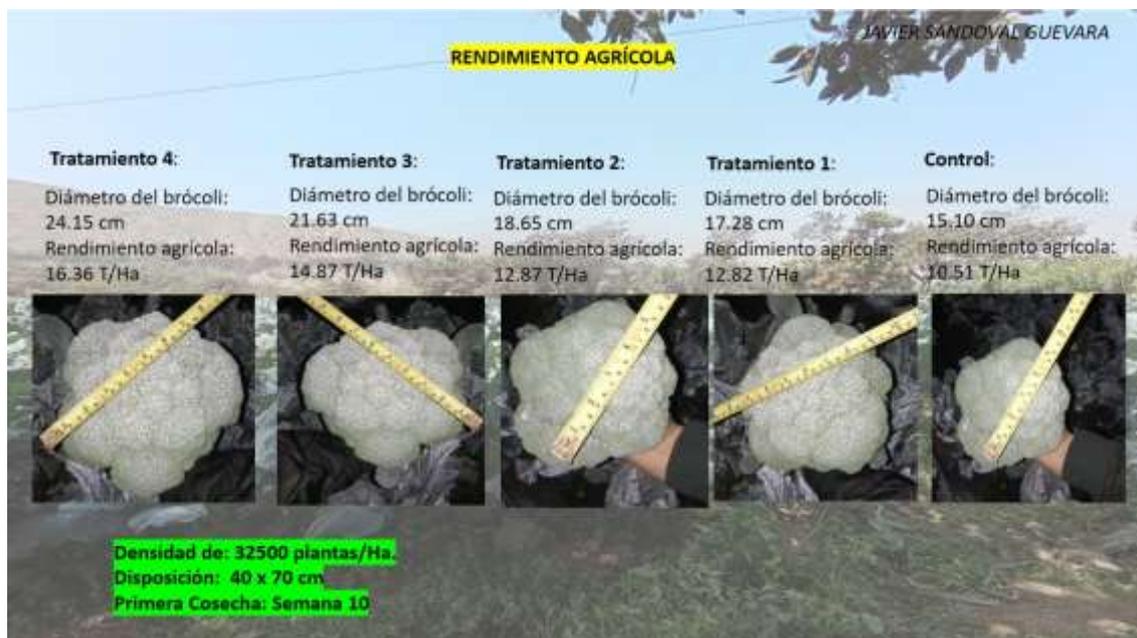


Figura F26. Diámetro de la inflorescencia



Figura F27. *Rendimiento agrícola*



Figura F28. *Plaguicidas en el valle del río Chillón*



Figura F29. *Fungicidas encontrados en el valle del río Chillón*