TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

"EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* var.italica) EN LA CALIDAD DEL SUELO DE LA CUENCA MEDIA DEL VALLE CHILLÓN (LIMA)"

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por:

Cleysi Lesliberth Chuquilin Medina (0000-0001-8374-7668)

Asesor:

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

Lima – Perú

2026

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Acta de sustentación

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 07 de julio del 2026.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dra. Llerme Navarro Vásquez
Miembro: Mg. Wilbert Cruz Hilacondo
Miembro: Mg. Carlos Alberto Satalaya Rengifo

Se reúnen para evaluar la tesis, con código de proyecto PRE-11-2024-00323, titulada :

"EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BRÓCOLI (Brassica oleracea var.italica) EN LA CALIDAD DEL SUELO DE LA CUENCA MEDIA DEL VALLE CHILLÓN (LIMA)"

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Cleysi Lesliberth Chuquilin Medina**

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 tesista de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple ( ) calificar a:

Tesista: Cleysi Lesliberth Chuquilin Medina			Nota (en letras): 15 (QUINCE)
Aprobado (x)	Aprobado - Muy buena ( )	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.

Dra. Llerme Navarro Vásquez
Presidente

Mg. Wilbert Cruz Hilacondo
Miembro 1

Mg. Carlos Alberto Satalaya Rengifo
Miembro 2

Ing. Luis Abraham Gomero Osorio
Asesor

T // (511) 610 6738
informes@cientifica.edu.pe
cientifica.edu.pe

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

ANEXO: FORMATO DE DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DEL INFORME FINAL DE TESIS / TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (versión 2.0) [1]

Lima, 10 de agosto del 2026

Señor,
Dr. Percy Mayta Tristan
Vicerrector de Investigación
Universidad Científica del Sur
Presente. –

De nuestra consideración,

Los abajo firmantes – Cleysi Lesliberth Chuquilin Medina egresado(s) del Programa académico de Ingeniería ambiental de la Universidad Científica del Sur, y el asesor de tesis Luis Abraham Gomero Osorio – declaramos que este informe final de tesis/trabajo de investigación titulado "EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BRÓCOLI (Brassica oleracea var.italica) EN LA CALIDAD DEL SUELO DE LA CUENCA MEDIA DEL VALLE CHILLÓN (LIMA)"que presentamos para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental es original.

En consecuencia, declaramos que el informe no contiene plagio ni total ni parcial; que, cuando se utilizó información de fuentes externas, se reconoció su autoría mediante la citación correspondiente; y que los resultados obtenidos son producto íntegro de nuestra investigación y no han sido falseados ni fabricados. Todo ello en cumplimiento del Código de ética en la Investigación, Reglamento de Disciplina de Pregrado y Posgrado, Reglamento de Propiedad Intelectual, Normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de títulos profesionales y grados académicos [2], que afirmamos conocer en su totalidad.

Declaro, además, que no se han utilizado herramientas de inteligencia artificial (IA) generativa, de forma parcial ni total, en ninguna fase del desarrollo de la investigación ni en la redacción del informe final de tesis. Sí declaro haber utilizado herramientas de IA no generativa para corrección ortográfica y de estilo, gestión de referencias y traducción, conforme a la normativa de la Universidad [3]. Todo el material ha sido revisado por la autora, quien asume la responsabilidad de su contenido.

Por ello, en caso de identificarse alguna situación de plagio, falsificación o fabricación de resultados, uso indebido de IA generativa o uso no declarado de IA, nos sometemos al proceso de investigación que establezca la Universidad y aceptamos las sanciones que pudieran corresponder. También declaramos conocer las normativas institucionales que regulan las sanciones aplicables en estos casos, incluido el de la compra y venta de tesis.

Firmamos en conformidad con lo declarado,



Firma tesista
DNI: 74980296



Firma del asesor de tesis
DNI: 10681962

[1] En conformidad con la Resolución del Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD
[2] Los documentos están en: https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/3652
[3] GEA-GIE-POL-05 Política del uso de inteligencia artificial

INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD

Título del documento evaluado. Evaluación del impacto de diferentes sistemas de producción de brócoli (*Brassica oleracea var.italica*) en la calidad del suelo de la cuenca media del valle Chillón (Lima)

Autores.
Cleysi Lesliberth Chuquilin Medina

Mecanismo de revisión de originalidad. Evaluación con Turnitin (ID 3066765374).

Código de registro. PRE-11-2024-00323

Resultado de la evaluación. 9%

Revisado por. Magaly Kelly Guerrero Huaracallo.

Comentarios sobre la revisión. Filtros usados: excluir fuentes de menos de 12 palabras.

Evidencia de evaluación Turnitin:

Evaluación del impacto

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%	9%	7%	3%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	dspace.espoch.edu.ec Fuente de Internet	1%
2	dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.upeu.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	www.sinergiaacademica.com Fuente de Internet	1%
8	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%
9	Yue Ma, Siwen Guo, Xiaoyan Zhao, Wenting Zhao, Long Xie, Min Zhang, Yuwei Zhao, Dan Wang. "Comparison of processing technology on quality of “Laba” garlic products", CyTA - Journal of Food, 2019 Publicación	<1%
10	repositoriousco.co Fuente de Internet	<1%

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas las personas que han sido imprescindibles en mi camino hacia la culminación mi tesis.

A Dios, por darme fuerza y sabiduría para afrontar nuevos retos en mi vida. A mis padres (Max y Marisol), por apoyarme en mis decisiones, celebrar mis triunfos y motivarme en mis fracasos. Gracias por su sacrificio y esfuerzo, para hacer de mí una gran persona y excelente profesional. A mis hermanos (Mavila, Jenner y Edward), por escucharme y animarme en mis momentos de angustia y preocupación, y estar presente de alguna manera cuando más los necesitaba. Al amor de mi vida, Jheferson, por su apoyo constante, criterio profesional y sobre todo por creer en mí y alentarme constantemente para culminar este trabajo. Finalmente, a mi niña interior, por nunca rendirse y convertirse en la persona que soy, puedo decirte que lo logramos y vamos por más.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al personal del Laboratorio de Suelo de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) que hizo un trabajo excelente en los análisis de laboratorio brindando los resultados de evaluación del suelo.

Quiero expresar mi especial agradecimiento a los agricultores participantes, Hugo y Adán, por compartir su valiosa experiencia y dedicar su tiempo a explicarme en detalle el manejo de los cultivos durante la investigación. La información que me brindaron ha sido fundamental para el desarrollo de este trabajo.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

RESUMEN

Se evaluó la calidad del suelo y la productividad agrícola del cultivo de brócoli (Brassica oleracea var.italica) bajo tres sistemas de producción: convencional, integrado y agroecológico, en el C.P. Santa Rosa de Macas, ubicado en Santa Rosa de Quives, valle Chillón (Lima, Perú). El estudio tuvo como objetivo comparar las variaciones en los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo, su clasificación mediante el Índice de Calidad (ICS) y la productividad del cultivo de brócoli.

Para ello, se seleccionaron tres parcelas representativas manejadas bajo distintos sistemas de producción agrícola. En cada parcela se realizó un muestreo compuesto de suelo a una profundidad de 30 cm, evaluándose indicadores físicos como densidad aparente, porosidad y conductividad eléctrica; indicadores químicos como pH, materia orgánica (MO), fosforo disponible (P), potasio disponible (K) y capacidad de intercambio catiónico (CIC); e indicadores biológicos relacionadas con la presencia de microorganismos del suelo. Asimismo, se analizaron parámetros productivos del cultivo de brócoli, tales como rendimiento, perímetro, diámetro y peso de la inflorescencia.

Los resultados revelaron variaciones entre los sistemas de producción en los indicadores físicos del suelo, especialmente en densidad aparente y porosidad. En cuanto a los indicadores químicos, los tres sistemas presentaron características estadísticamente similares; sin embargo, el sistema agroecológico registró una tendencia más favorable, destacando un pH cercano a la neutralidad y un mayor contenido de materia orgánica. Respecto a los indicadores biológicos, se evidenció una mayor presencia de hongos y actinomicetos en el sistema agroecológico.

En términos de productividad agrícola, el sistema convencional presentó los mayores valores de rendimiento del cultivo de brócoli, mientras que el sistema agroecológico mostró resultados productivos aceptables y una mejor conservación de las propiedades del suelo. Finalmente, la evaluación mediante el Índice de Calidad del Suelo clasificó al

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

manejo agroecológico como un suelo de alta calidad, mientras que los sistemas convencional e integrado fueron clasificados con una calidad moderada.

Los resultados obtenidos evidencian que los sistemas de manejo agrícola influyen directamente sobre la calidad del suelo y la productividad del cultivo, resaltando la capacidad que tienen los sistemas agroecológicos para producir de manera sostenible.

Palabras clave: manejo agrícola, agroquímicos, salud del suelo, indicadores, productividad agrícola.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ABSTRACT

Soil quality and agricultural productivity of broccoli (Brassica oleracea var. italica) were evaluated under three production systems: conventional, integrated, and agroecological, in the Santa Rosa de Macas Community, located in Santa Rosa de Quives, Chillón Valley (Lima, Peru). The study aimed to compare variations in the soil's physical, chemical, and biological parameters, its classification using the Soil Quality Index (SQI), and the productivity of the broccoli crop.

To this end, three representative plots managed under different agricultural production systems were selected. In each plot, a composite soil sample was taken at a depth of 30 cm, evaluating physical indicators such as bulk density, porosity, and electrical conductivity; chemical indicators such as pH, organic matter (OM), available phosphorus (P), available potassium (K), and cation exchange capacity (CEC); and biological indicators related to the presence of soil microorganisms. Additionally, productive parameters of the broccoli crop were analyzed, such as yield, perimeter, diameter, and weight of the inflorescence.

The results revealed variations among the production systems in the physical soil indicators, especially bulk density and porosity. Regarding chemical indicators, the three systems presented statistically similar characteristics; however, the agroecological system showed a more favorable trend, exhibiting a pH close to neutral and a higher organic matter content. With respect to biological indicators, a greater presence of fungi and actinomycetes was observed in the agroecological system.

In terms of agricultural productivity, the conventional system showed the highest broccoli yields, while the agroecological system demonstrated acceptable productivity and better soil conservation. Finally, the Soil Quality Index assessment classified the agroecological system as having high-quality soil, while the conventional and integrated systems were classified as having moderate quality.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

The results obtained demonstrate that agricultural management systems directly influence soil quality and crop productivity, highlighting the capacity of agroecological systems for sustainable production.

Keywords: agricultural management, agrochemicals, soil health, indicators, agricultural productivity.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF DIFFERENT BROCCOLI (*Brassica oleracea* var. italica) PRODUCTION SYSTEMS ON THE SOIL QUALITY OF THE MIDDLE BASIN OF THE CHILLÓN VALLEY (LIMA)

Evaluación del impacto de diferentes sistemas de producción de brócoli (Brassica oleracea var.italica) en la calidad del suelo de la cuenca media del valle Chillón (Lima)

Cleysi Lesliberth Chuquilin Medina[1*] and Luis Gomero Osorio[2]

[1]Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Científica del Sur (UCSUR), Lima, Perú.
[2]Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Científica del Sur (UCSUR), Lima, Perú.

* Author for correspondence: 180000480@cientifica.edu.pe

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

RESUMEN

Se evaluó la calidad del suelo y la productividad agrícola del cultivo de brócoli (Brassica oleracea var.italica) bajo tres sistemas de producción: convencional, integrado y agroecológico, en el C.P. Santa Rosa de Macas, ubicado en Santa Rosa de Quives, valle Chillón (Lima, Perú). El estudio tuvo como objetivo comparar las variaciones en los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo, su clasificación mediante el Índice de Calidad (ICS) y la productividad del cultivo de brócoli.

Para ello, se seleccionaron tres parcelas representativas manejadas bajo distintos sistemas de producción agrícola. En cada parcela se realizó un muestreo compuesto de suelo a una profundidad de 30 cm, evaluándose indicadores físicos como densidad aparente, porosidad y conductividad eléctrica; indicadores químicos como pH, materia orgánica (MO), fosforo disponible (P), potasio disponible (K) y capacidad de intercambio catiónico (CIC); e indicadores biológicos relacionadas con la presencia de microorganismos del suelo. Asimismo, se analizaron parámetros productivos del cultivo de brócoli, tales como rendimiento, perímetro, diámetro y peso de la inflorescencia.

Los resultados revelaron variaciones entre los sistemas de producción en los indicadores físicos del suelo, especialmente en densidad aparente y porosidad. En cuanto a los indicadores químicos, los tres sistemas presentaron características estadísticamente similares; sin embargo, el sistema agroecológico registró una tendencia más favorable, destacando un pH cercano a la neutralidad y un mayor contenido de materia orgánica. Respecto a los indicadores biológicos, se evidenció una mayor presencia de hongos y actinomicetos en el sistema agroecológico.

En términos de productividad agrícola, el sistema convencional presentó los mayores valores de rendimiento del cultivo de brócoli, mientras que el sistema agroecológico mostró resultados productivos aceptables y una mejor conservación de las propiedades del suelo. Finalmente, la evaluación mediante el Índice de Calidad del Suelo clasificó al

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

manejo agroecológico como un suelo de alta calidad, mientras que los sistemas convencional e integrado fueron clasificados con una calidad moderada.

Los resultados obtenidos evidencian que los sistemas de manejo agrícola influyen directamente sobre la calidad del suelo y la productividad del cultivo, resaltando la capacidad que tienen los sistemas agroecológicos para producir de manera sostenible.

Palabras clave: manejo agrícola, agroquímicos, salud del suelo, indicadores, productividad agrícola

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el consumo de hortalizas ha experimentado un incremento sostenido, debido a que cada vez más personas incorporan alimentos saludables en su dieta. Este aumento en la demanda ha impulsado la intensificación de los sistemas agrícolas con el fin de mantener niveles adecuados de producción y abastecimiento alimentario. Sin embargo, esta intensificación ha generado preocupaciones sobre los efectos que determinadas prácticas de manejo pueden tener sobre la sostenibilidad de los agroecosistemas. Particularmente, sobre el suelo, considerado un recurso fundamental para la productividad agrícola y estabilidad ambiental.

El suelo cumple funciones esenciales en los agroecosistemas, entre ellas la provisión de nutrientes para las plantas, el soporte de comunidades microbianas y la mitigación de contaminantes ambientales (Doran & Parkin, 1994; FAO, 2015; Romanyà et al., 2006). Estas funciones están relacionadas justamente con el concepto “calidad del suelo”, entendido como la facultadsino del suelo para desempeñar dichas funciones en el tiempo. En ese sentido, la calidad del suelo se ha consolidado como un indicador clave para evaluar la sostenibilidad agrícola, dado que integra propiedades físicas, químicas y biológicas que permiten caracterizar su estado actual y determinar su capacidad para mantener su funcionalidad de manera sostenida (Bautista Cruz et al., 2004; Bünemann et al., 2018; Doran & Parkin, 1994; Estrada et al., 2017; Karlen et al., 1997).

Diversos estudios han demostrado que las prácticas agrícolas y el manejo del suelo pueden alterar sus propiedades, generando efectos positivos o negativos sobre su calidad (Buitrago Álvarez et al., 2024; Espinosa Aguilar et al., 2025; Peña et al., 2021). En este sentido, Buitrago Álvarez et al. (2024) evidenciaron que las estrategias de manejo influyen directamente en los indicadores de calidad del suelo, favoreciendo o deteriorando sus características según las prácticas implementadas. Entre estas estrategias, los sistemas basados en principios orgánicos u agroecológicos tienden a

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

favorecer indicadores como el contenido de carbono o materia orgánica, la actividad microbiana y algunas propiedades físicas relacionadas con la estructura del suelo, en comparación con los sistemas convencionales, aunque la magnitud de estos efectos depende de las características edáficas y las prácticas de manejo adoptadas (Apoorva Angadi et al., 2025; Guilcamaigua Paztuñal & Chancusig Espín, 2016; Koorneef et al., 2025; Maienza et al., 2025). Por otro lado, los sistemas agrícolas convencionales suelen mantener niveles altos de productividad mediante el uso intensivo de agroquímicos, los cuales sustituyen parcialmente funciones ecológicas del suelo, como el reciclaje de nutrientes, biocontrol y otros servicios ecosistémicos (Lal, 2004; Woodcock et al., 2025). En los dos casos, la evidencia científica disponible no es concluyente, ya que los efectos de cada sistema de producción en el suelo varían en diferentes escenarios agrícolas.

El cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) ha experimentado un incremento en su producción debido a la creciente demanda de los consumidores asociado a su alto valor nutricional, su amplia disponibilidad en los mercados locales, su bajo costo y la facilidad para incorporarlo a la alimentación diaria (Vázquez et al., 2020). Según datos de FAOSTAT, en 2022 la producción mundial de brócoli y coliflor superó los 30 millones de toneladas, siendo China e India los principales países productores. En el caso del Perú, este cultivó experimentó un crecimiento sostenido, al registrar una producción de 56 mil toneladas en el mismo año, con las regiones de La Libertad y Lima como las principales zonas productoras (MINAGRI, 2017; Rodriguez, 2023).

El valle Chillon forma parte de las principales zonas productoras de Lima Metropolitana para el abastecimiento de hortalizas frescas, como el brócoli, destinadas a la capital (Moreno Herrera et al., 2021). Justamente, la proximidad del valle Chillón a Lima ha generado una creciente presión sobre los sistemas agrícolas, intensificando el uso del suelo y la dependencia de agroquímicos para sostener la productividad. Sin embargo, esta intensificación está generando riesgos ambientales importantes. Investigaciones

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

realizadas en el valle Chillón han señalado que el uso de pesticidas sin control puede generar contaminación al suelo y agua, afectando al ecosistema y a la población (Higuchi, 2024). Asimismo, el valle Chillón enfrente otros desafíos asociados a la gestión de residuos orgánicos agrícolas y a la contaminación derivada de actividades productivas, lo que refuerza la urgencia de formular investigaciones que evalúen la sostenibilidad de los diferentes manejos agrícolas en esta cuenca (Castillo Alvarez et al., 2025).

A pesar de la relevancia agrícola del valle Chillón y la demanda creciente del cultivo de brócoli, aún existe limitada información científica que evalúe el efecto de los distintos sistemas productivos en la caracterización del suelo y sobre la productividad del cultivo en esta zona. En particular, se desconoce en qué medida las diferentes prácticas de manejo influyen en las propiedades edáficas, así como se desconoce sus posibles implicancias en la producción del cultivo de brócoli.

En este contexto, el propósito de esta investigación fue evaluar las fluctuaciones en las propiedades del suelo, su clasificación mediante el Índice de Calidad del Suelo (ICS) y la productividad agrícola del cultivo de brócoli en tres sistemas productivos: convencional, integrado y agroecológico, en el C.P. Santa Rosa de Macas, en el valle Chillón.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El estudio se realizó específicamente en el C.P. Santa Rosa de Macas, en el distrito de Santa Rosa de Quives, provincia de Canta, Lima - Perú (Figura 1). El distrito tiene un área aproximada de 364.4 km^2 y se sitúa a una altitud de 936 m.s.n.m. en las coordenadas geográficas 11° 41' 43" de latitud sur y 76° 50' 46" de longitud oeste. El clima en esta zona es templado, con una temperatura que varía entre 13°C - 20°C. En cuanto a la precipitación, los valores oscilan entre 5 y 400 mm anuales (Gonzáles et al., 2015). De acuerdo con información reciente del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2025), el régimen climático del valle Chillón presenta una estacionalidad definida, con precipitaciones durante los meses de estío, entre diciembre y marzo, y condiciones secas durante los otros meses. Estas características climáticas influyen en la dinámica hídrica del suelo y condicionan las prácticas de manejo agrícola en la zona.

La selección de esta localidad como área de estudio se debe a su representatividad dentro del valle Chillón, ya que es una zona agrícola perteneciente a la cuenca del valle. En Santa Rosa de Macas la agricultura se desarrolla bajo diferentes enfoques de producción con condiciones edafoclimáticas similares en todo el valle, lo que permite considerarla un escenario adecuado para evaluar el impacto del manejo agrícola en la calidad del suelo. Además, en esta zona se identificó cultivos de brócoli bajo diferentes sistemas productivos: convencional y agroecológico, lo que facilitó la comparación de las distintas prácticas de manejo en condiciones físicas semejantes.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Figura 1.

Ubicación del centro poblado Santa Rosa de Macas



Nota. Derecha superior: Se indica la ubicación del C.P en el Distrito Santa Rosa de Quives. Derecha inferior: Ruta de ubicación de Santa Rosa de Macas.

Selección de parcelas

Se realizó una visita de campo a las fincas ubicadas en el centro poblado de Santa Rosa de Macas, donde se seleccionaron tres parcelas destinadas al cultivo de brócoli. La selección se basó en criterios orientados a garantizar la comparabilidad entre las parcelas. En ese sentido, se verificó que las parcelas presentaran condiciones agrícolas similares, tales como periodos de siembra coincidentes, sistemas de riego iguales y manejo agronómico en el mismo ciclo productivo.

Asimismo, se consideraron características del terreno comparables como condiciones edafoclimáticas igualables, cercanía geográfica, textura del suelo similares y relieve comparable, con el fin de reducir la influencia de factores externos sobre los resultados. La ubicación geográfica y altitud de cada parcela se presentan en la siguiente tabla (Ver Tabla 1).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tabla 1.

Ubicación de las parcelas de brócoli (Brassica oleracea var. italica)

Zona de estudio	Ubicación geográfica		Altitud (msnm)
	Latitud	Longitud	
Parcela SC	11°40'53"S	76°55'17"W	689
Parcela SI	11°40'31"S	76°55'30"W	714
Parcela SA	11°40'35"S	76°55'28"W	713

Nota. Localización geográfica y altitud de las parcelas evaluadas de brócoli.

Manejo de parcelas

Cada una de las parcelas seleccionadas fueron manejadas bajo un sistema de producción distinto: sistema convencional (SC), sistema integrado (SI) y sistema agroecológico (SA). Las características específicas del manejo como la fertilización, el control de plagas y otras prácticas agronómicas se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2.

Características y manejo de las parcelas por sistema de producción

Sistema de producción	Características y manejo de las parcelas
Sistema Convencional	Área de cultivo: 10000 m^2 o 1 Ha / Distancia surcos: 0.70 m Fertilizantes usados: urea, cloruro de potasio, fosfato de amonio / 1 sola aplicación Plaguicidas usados: Xipronil (Fipronil), Permetrina, Incipio 200 SC (Isocycloseram), Gramoxone (paraquat), Attack® (Cymoxanil + Mancozeb) / Cada 15 días hasta antes de la cosecha: 4 aplicaciones
Sistema integrado	Área de cultivo: 2000 m^2 / Distancia surcos: 1 m Fertilizantes usados: urea, cloruro de potasio, fosfato de amonio / 1 sola aplicación Plaguicidas usados: Deltaplus 2.5 EC (Deltrametrina), Bukra 580WG (Chlorfenapyr + Lufenuron), Skirla (Emamectin benzoato) / 2 aplicaciones Control de plagas: Trampas de melasa (6) e instalación de lámparas de luz (1)
Sistema agroecológico	Área de cultivo: 650 m^2 / Distancia surcos: 1 m Fertilizantes usados: Enmiendas orgánicas (compost) / 1 sola aplicación Plaguicidas usados: Biocida a base de rocoto / 2 aplicaciones Control de plagas: Trampas de melasa (12) e instalación de lámparas de luz (3)

Nota. Características y prácticas de manejo agrícola aplicadas en las parcelas según sistema.

A pesar de que las parcelas presentaron diferentes áreas de cultivo, la comparabilidad de los resultados no se vio afectada, debido a que el análisis se realizó en base a un diseño de muestreo estandarizado basado en muestras representativas para reducir la variabilidad espacial asociada al tamaño de las parcelas.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Procedimiento de muestreo de suelos

El muestreo de suelos se ejecutó al inició de la cosecha, proceso que empieza cuando las inflorescencias alcanzan su tamaño comercial. La recolección se realizó a mediados del mes de agosto, coincidiendo con la temporada seca en la zona de estudio.

Cada parcela fue subdividida en tres sectores (subparcelas), de los cuales se obtuvieron tres muestras compuestas de aproximadamente 1 Kg de suelo. Cada muestra compuesta fue obtenida a partir de la homogenización de tres submuestras (muestras simples) recolectadas dentro de cada sector (Figura 2) siguiendo un patrón en zigzag con el fin de cubrir la mayor superficie posible y capturar de manera representativa la variabilidad espacial del terreno. El número de muestras tomadas por parcela se consideró adecuado, ya que se realizó un muestreo compuesto, el cual permitió integrar la variabilidad intraparcelaria y mejorar la representatividad de los resultados. La ubicación de las parcelas fue registrada mediante el uso de Google Earth y el procedimiento de muestreo se realizó conforme a la Guía de muestreo de suelos del MINAM (MINAM, 2014).

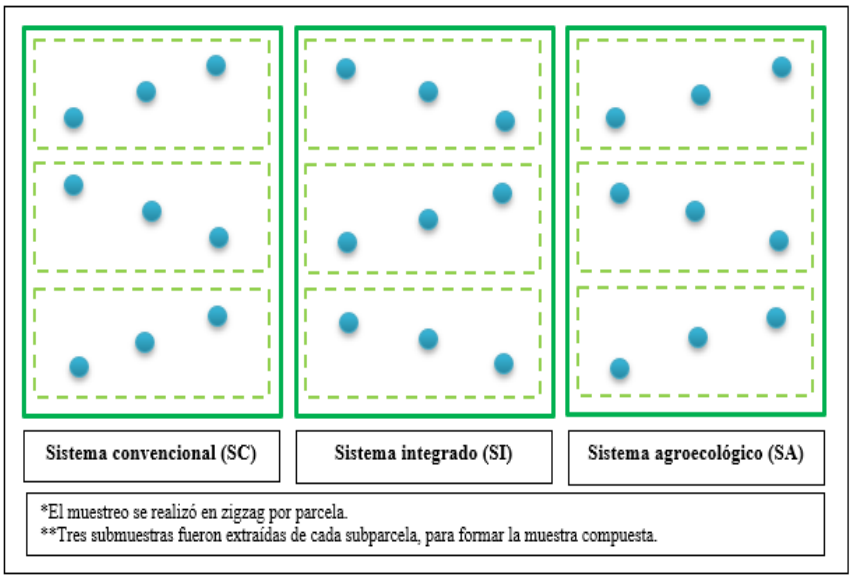
Este se realizó de la siguiente manera: se delimitó un área de 30 x 30 cm y se realizó un corte en forma de "V" con ayuda de una pala, tal como lo ejecutó Marín et al. (2019), a una profundidad de 30 cm. Se trabajó a esa profundidad ya que a ese nivel se encuentra la capa arable del suelo donde se concentra gran parte de la actividad radicular del brócoli y donde se manifiesta con mayor intensidad los efectos del manejo agrícola como la fertilización, el riego y la incorporación de materia orgánica. Aunque el sistema radicular del brócoli puede explorar profundidades mayores, la literatura agronómica reconoce el intervalo de 0 – 30 cm como referencia para la evaluación de propiedades físicas y químicas en cultivos hortícolas (Bañuelos et al., 2016; Cahn et al., 2023; Libutti et al., 2018). Durante este proceso, se evitó la recolección de las muestras en zonas cercanas a los bordes de las parcelas, con el fin de reducir posibles fuentes de sesgo.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Figura 2.

Distribución del muestreo en las parcelas



Nota. Se muestra la distribución del muestreo en las parcelas

Se realizó un duplicado de las muestras compuestas tomadas, de esa manera una muestra fue destinada a los análisis fisicoquímicos, mientras que la otra servía para realizar los análisis biológicos. Cada una de las muestras fue almacenada en bolsas herméticas debidamente etiquetadas y transportadas en contenedores al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) para realizar las pruebas de laboratorio correspondiente. Finalmente, para interpretar los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio, se tomó en cuenta los rangos de referencia proporcionados por el manual del INIA (2024) y otras referencias bibliográficas. La Tabla 3 presenta los rangos de clasificación para la interpretación de los resultados del suelo.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tabla 3.

Rangos para la interpretación de análisis de suelo

Indicador	Bajo	Medio	Alto	Referencia
CE (dS/m)	0 – 3.9	4.0 – 8.0	>8.0	INIA (2024)
MO (%)	<2.0	2.0 – 4.0	>4.0	INIA (2024)
P (ppm)	<7	7 – 14	>14	INIA (2024)
K (ppm)	<120	120 - 240	>240	INIA (2024)
pH	La escala de pH es más amplia, se sugiere revisar su clasificación en el manual			INIA (2024)
Indicador	**Restrictivo**	**Aceptable**	**Ideal**	**Referencia**
DA (g/cm3) *	>1.7	1.6 – 1.7	1.3 – 1.6	Brady y Weil (2017); FAO (2006); Lal y Shukla (2004)
EP (%) *	<35	35 - 40	40 – 50	Brady y Weil (2017 FAO (2006); Lal Shukla (2004)
CIC (meq/100g) *	5-10	10 – 15	>15	Brady y Weil (2017); FAO (2006); Lal y Shukla (2004)
Bacterias (UFC/g)		10^6 y 10^8		Osorio (2009)
Hongos (UFC/g)		10^4 y 10^5		Osorio (2009)
Actinomicetos (UFC/g)		10^6 y 10^7		Osorio (2009)

Nota. Se presentan los rangos de referencia para cada indicador evaluado. *Algunos de estos fueron definidos considerando la textura del suelo, clasificada como franco arenoso.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Indicadores de calidad del suelo

Para evaluar la calidad edáfica se seleccionaron indicadores físicos, químicos y biológicos, considerando su relevancia en suelos agrícolas y su sensibilidad frente a diferentes sistemas de manejo. Se priorizaron variables ampliamente utilizadas en estudios de calidad de suelo, tales como densidad aparente, porosidad, conductividad eléctrica, pH, materia orgánica, fósforo, potasio y capacidad de intercambio catiónico, las cuales permitieron evaluar aspectos claves como la estructura del suelo y su caracterización.

Indicadores físicos de la calidad del suelo

Para el análisis físico se evaluó la textura (T), densidad aparente (DA), porosidad o espacio poroso (EP) y conductividad eléctrica (CE).

La textura se determinó utilizando el método del hidrómetro - Bouyoucos. La densidad aparente se definió mediante el método de cilindro de volumen conocido, utilizando muestras no disturbadas recolectadas con cilindros de 5 cm de diámetro y 5 cm de alto. La porosidad se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Porosidad} = \frac{\text{Densidad real} - \text{Densidad aparente}}{\text{Densidad real}} \times 100$$

Finalmente, la conductividad eléctrica se estableció a partir del concentrado suelo: agua en una relación 1:1.

Indicadores químicos de la calidad del suelo

Para el análisis químico se evaluó el pH, la materia orgánica (MO), el fósforo disponible (P), el potasio disponible (K) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC). El pH se midió mediante un potenciómetro en una suspensión suelo: agua (1:1). El contenido de materia orgánica se determinó mediante el método de Walkey y Black, basado en la oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio, aplicando la fórmula:

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

$$\%MO = \%C \times 1.724$$

El fósforo se determinó mediante la metodología de Olsen modificado, mientras que el potasio disponible se obtuvo mediante la extracción con acetato de amonio. Finalmente, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) se determinó mediante saturación con acetato de amonio.

Indicadores biológicos de la calidad del suelo

Para la evaluación biológica del suelo, se realizó el recuento de poblaciones microbianas: bacterias totales (BT), hongos totales (HT) y actinomicetos totales (AT), mediante la técnica de recuento de microorganismos en placas que sigue el procedimiento descrito por Calvo et al. (2008) y Marín et al. (2017).

El recuento de microorganismos permitió estimar de manera general la actividad microbiana y el estado biológico del suelo, ya que estos indicadores son sensibles a cambios en el manejo agrícola.

Productividad agrícola del cultivo de brócoli

Para evaluar la productividad agrícola del cultivo de brócoli, se seleccionó aleatoriamente 20 cabezuelas de brócoli por parcela al inicio de la cosecha, aproximadamente 70 días después del trasplante de los plantines al campo.

Las variables evaluadas incluyeron: perímetro de la inflorescencia, diámetro de la inflorescencia, peso de la inflorescencia y rendimiento del cultivo. El perímetro de la cabezuela se determinó mediante el procesamiento de imágenes (fotografías digitales) a través del software ImageJ, usando una escala de referencia conocida. El diámetro se midió directamente con un flexómetro tomando el lado más largo de la cabezuela. El peso se determinó utilizando una balanza digital calibrada. Finalmente, el rendimiento del cultivo se estimó a partir de los pesos por canasta obtenidos en campo, proyectados a toneladas por hectárea.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Índice de Calidad del Suelo (Clasificación del suelo)

Para evaluar la calidad del suelo en los distintos sistemas de producción, se consideraron exclusivamente indicadores físicos y químicos. Se incluyeron ocho indicadores: densidad aparente (DA), porosidad o espacio poroso (EP), conductividad eléctrica (CE), pH, materia orgánica (MO), fósforo (P), potasio (K) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) (ver Tabla 4).

Tabla 4.

Indicadores de calidad del suelo y valores máximos y mínimos definidos

Indicador	Unidad de medida	Imax	Imin
		Valor máximo	Valor mínimo
DA	g/cm3	1.8	1.5
EP	%	50	35
CE	dS/m	8	4
pH	-	7	5.5
MO	%	1.5	0.5
P	ppm	14	7
K	ppm	240	120
CIC	meq/100g	15	5

Nota. DA: densidad aparente, EP: porosidad o espacio poroso, CE: conductividad eléctrica, pH: potencial hidrógeno, MO: materia orgánica, P: fósforo disponible, K: potasio disponible, CIC: capacidad de intercambio catiónico. Los valores Imax e Imin fueron definidos con base en literatura agronómica.

El Índice de Calidad del Suelo (ICS) se calculó de acuerdo con la metodología planteada por Cantú et al. (2007). Para ello, se emplearon los valores promedios de cada indicador por sistema de producción, los cuales fueron transformados a una escala de 0 a 1, donde 0 representa la menor calidad del suelo y 1 la mayor.

El proceso de estandarización consideró 2 situaciones. 1° Situación: en el caso de indicadores cuyo incremento representa una mejora en la calidad del suelo se usó la siguiente fórmula:

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

$$V_n = \frac{I_m - I_{min}}{I_{max} - I_{min}}$$

En la 2° situación, por el contrario, cuando valores elevados del indicador reflejan una condición desfavorable se aplicó:

$$V_n = 1 - \frac{I_m - I_{min}}{I_{max} - I_{min}}$$

Donde V_n corresponde al valor estandarizado, I_m al valor medido, e I_{min} e I_{max} a los valores mínimo y máximo definidos para cada indicador. Para los casos donde los valores estandarizados excedieron los límites establecidos, se aplicó un criterio de truncamiento, asignando 0 a los valores inferiores al rango y 1 a los valores superiores.

Los valores extremos (I_{min} e I_{max}) fueron establecidos tomando como referencia los rangos reportados en la literatura agronómica y, en algunos casos, los rangos fueron ajustados con lo encontrado en campo (Revisar Tabla 3 y Tabla 4).

Finalmente, el ICS se obtuvo calculando la media de los valores estandarizados de los indicadores analizados. La calidad del suelo se interpretó mediante una escala de cinco categorías (véase la Tabla 5) (Cantú et al., 2007).

Tabla 5.

Clases de calidad de suelos

Índice de calidad de suelos	Escala	Clases
Muy alta calidad	0.80 – 1.00	1
Alta calidad	0.60 – 0.79	2
Moderada calidad	0.40 – 0.59	3
Baja calidad	0.20 – 0.39	4
Muy baja calidad	0.00 – 0.19	5

Nota. Tomado de "Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices", por M. P. Cantú, A. Becker, J. C. Bedano y H. F. Schiavo, 2007, Ciencia del Suelo, 25(2), p. 176.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Análisis estadísticos

Para la evaluación de la calidad del suelo se empleó un diseño de bloques completamente aleatorizado (DBCA), considerando como tratamientos los tres sistemas de producción evaluados: sistema convencional (SC), sistema integrado (SI) y sistema agroecológico (SA). Los bloques estuvieron representados por los tres sectores de muestreo definidos dentro de cada parcela: sector superior, sector medio y sector inferior; establecidos con el propósito de controlar la variabilidad espacial asociada a la distribución del agua de riego. Este diseño fue seleccionado debido a que dichas condiciones podían influir en algunas propiedades del suelo y constituir una fuente adicional de variación independiente al sistema de producción. En consecuencia, el uso de bloques se utilizó para reducir el efecto de esta variabilidad intraparcelaria y mejorar la comparación entre los sistemas agrícolas. Para la evaluación de la productividad agrícola del cultivo de brócoli, se utilizó un diseño completamente aleatorio (DCA), debido a que las unidades experimentales (inflorescencias) fueron seleccionados bajo condiciones relativamente homogéneas dentro de cada parcela.

Se realizaron análisis descriptivos, ANOVA complementado con pruebas de Tukey al 5%, para comparar las medias de los indicadores del suelo (físicos, químicos y biológicos) y productividad agrícola (perímetro, diámetro y peso de la inflorescencia). Estos análisis se realizaron utilizando el software IBM SPSS Versión 29.

Aspectos éticos

Para la ejecución de la investigación y el desarrollo de las actividades en las parcelas evaluadas, se solicitó previamente la autorización de sus propietarios, garantizando su participación voluntaria y evitando posibles conflictos de interés (Ver Anexo 2). Antes de iniciar el estudio, se brindó información clara sobre el propósito de la investigación, sus objetivos, las actividades a realizar y el uso de la información recopilada. Asimismo, en los casos en que se realizaron registros fotográficos con presencia de personas ajenas

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

al estudio, se informó previamente sobre su finalidad y se solicitó el consentimiento correspondiente. Toda la información y el material fotográfico obtenidos fueron utilizados exclusivamente con fines académicos y científicos.

Declaro, además, que no se han utilizado herramientas de inteligencia artificial (IA) generativa, de forma parcial ni total, en ninguna fase del desarrollo de la investigación ni en la redacción del informe final de tesis. Sí declaro haber utilizado herramientas de IA no generativa para corrección ortográfica y de estilo, gestión de referencias y traducción, conforme a la normativa de la Universidad. Todo el material ha sido revisado por la autora quien asume la responsabilidad de su contenido.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

RESULTADOS

Efectos del sistema de producción sobre los indicadores de calidad del suelo

Indicadores físicos de la calidad del suelo

Los valores promedio de densidad aparente (DA), porosidad (EP) y conductividad eléctrica (CE) para los diferentes sistemas de producción se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6.

Valores promedios de los indicadores físicos por sistema de producción

Sistema de Producción	DA	EP	CE	Arena	Limo	Arcilla	Textura
	g/cm^3	%	dS/m	%	%	%	Clasificación
SC	1.76 a	33.60 a	1.03 a	53.00	29.33	17.67	Fr.A
SI	1.71 ab	35.73 ab	0.76 a	61.00	24.00	15.00	Fr.A
SA	1.58 b	40.99 b	0.86 a	67.00	20.00	13.00	Fr.A

Nota. DA: Densidad aparente, EP: porosidad o espacio poroso, CE: Conductividad eléctrica, Fr.A: Franco Arenosa. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores, con un nivel de error de 0,05.

La textura del suelo fue clasificada como franco arenosa en los tres sistemas, lo que indica condiciones edáficas relativamente homogéneas para la comparación de los tratamientos. Los resultados obtenidos para los indicadores físicos evidenciaron diferencias entre los sistemas de producción evaluados, principalmente en las variables densidad aparente y porosidad, entre el sistema convencional y el sistema agroecológico.

En relación con la densidad aparente, el sistema agroecológico presentó el menor valor (1.58 g/cm^3), mientras que el sistema convencional registró el valor más alto (1.76 g/cm^3). De acuerdo con los rangos de referencia establecidos anteriormente (Ver Tabla 3), el valor de densidad aparente registrado en el sistema agroecológico se ubica dentro del rango considerado ideal para suelo franco arenoso. En contraste, los sistemas convencional e integrado presentaron valores superiores a 1.7 g/cm^3, lo cual corresponde a condiciones asociadas a compactación moderada para ese tipo de textura de suelo.

Respecto a la porosidad, se observó que el sistema agroecológico presentó mayor

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

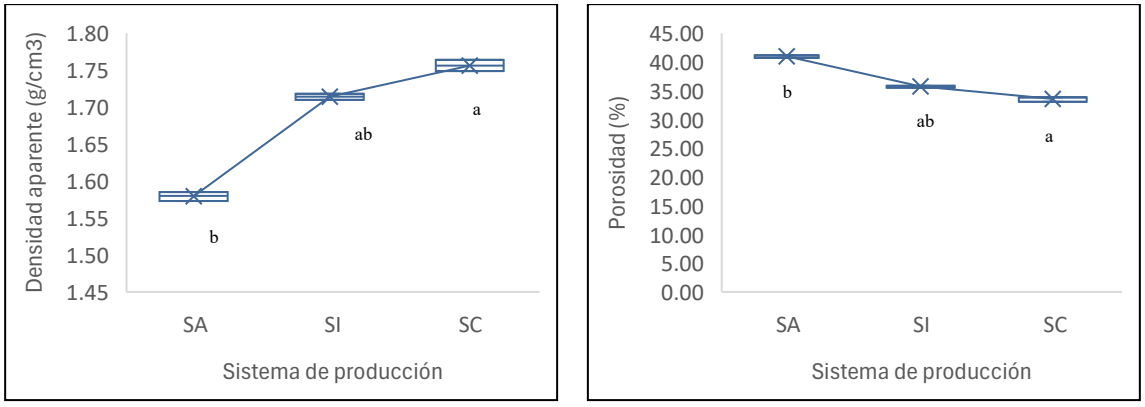
porcentaje de porosidad (40.99%), seguido del sistema integrado (35.73%) y del sistema convencional (33.60%), evidenciándose diferencias significativas entre el sistema convencional y el agroecológico. Finalmente, se evidenció que el sistema convencional presentó un valor promedio inferior al 35%, lo cual indicaría una situación de alerta ante posibles restricciones en la circulación de aire y agua a través del suelo.

Por otro lado, la conductividad eléctrica del suelo no mostró diferencias entre los sistemas de producción, con valores comprendidos entre 0.76 y 1.03 dS/m. Estos valores se ubicaron por debajo del umbral de 4 dS/m, lo que descartaría algún problema de salinidad en los sistemas.

La Figura 3 muestra la variación de la densidad aparente y la porosidad entre los sistemas evaluados, destacando que el sistema agroecológico (SA) presentó menores valores de densidad aparente (DA) y mayores valores de prosidad (EP), mientras que el sistema convencional (SC) evidenció el comportamiento opuesto.

Figura 3.

Valores medios de la densidad aparente y porosidad



Nota. Las letras en los gráficos indican diferencias significativas entre los valores, con un nivel de error de 0,05.

Indicadores químicos de la calidad del suelo

Los valores promedio de pH, materia orgánica (MO), fósforo disponible (P), potasio disponible(K) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) se presentan en la Tabla 7.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tabla 7.

Valores promedios de los indicadores químicos por sistema de producción

Sistema de Producción	pH	M.O.	P	K	CIC
		%	ppm	ppm	meq/100g
SC	6.50 a	0.74 a	27.23 a	129.00 a	10.20 a
SI	6.33 a	0.49 a	20.43 a	132.67 a	10.07 a
SA	6.96 a	0.90 a	21.43 a	161.00 a	8.73 a

Nota. M.O: Materia orgánica, P: fósforo disponible, K: potasio disponible, CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores, con un nivel de error de 0,05.

Los indicadores químicos evaluados mostraron comportamientos relativamente similares entre los sistemas de producción, no observándose diferencias significativas entre ellos.

El pH del suelo osciló entre 6.33 y 6.96, correspondiente a condiciones cercanas a la neutralidad. El sistema agroecológico (SA) registró el valor más alto (6.96), mientas que el sistema integrado (SI) el valor más bajo (6.33). En ese sentido, el sistema agroecológico se ubicó en el rango de los suelos neutros, mientras que los sistemas convencional e integrado fueron clasificados como ligeramente ácidos.

El contenido de materia orgánica (MO) varió entre 0.49% y 0.90%, observándose una tendencia superior en el sistema agroecológico (SA), seguido del sistema convencional (SC) y del sistema integrado (SI). En todos los casos, los valores registrados corresponden a un bajo contenido de materia orgánica, siendo inferior al 2%.

El fósforo disponible (P) presentó valores altos en todos los sistemas, superiores a 14 ppm. El mayor valor se registró en el sistema convencional (27.23 ppm), seguido del sistema agroecológico (21.43 ppm) y del sistema integrado (20.43 ppm).

El potasio disponible (K) presentó valores medios, comprendidos entre 129 ppm y 161 ppm, siendo el sistema agroecológico (SA) el que registró el mayor valor.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) presentó valores entre 8.73 y 10.20 meq/100g. Los sistemas convencional e integrado alcanzaron valores considerados

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

aceptables, mientras que el sistema agroecológico (SA) presentó una clasificación baja. Valores de CIC menores a 10 meq/100g indicarían una reducida competencia del suelo para retener y suministrar nutrientes.

Indicadores biológicos de la calidad del suelo

La Tabla 8 muestra los promedios de bacterias, hongos y actinomicetos registrados en cada sistema de producción.

Tabla 8.

Valores promedios de los indicadores biológicos por sistema de producción

Sistema de Producción	Bacterias	Hongos	Actinomicetos
	UFC/g suelo	UFC/g suelo	UFC/g suelo
SC	6.90×10^7 a	2.45×10^5 a	6.55×10^6 a
SI	4.77×10^7 a	2.58×10^5 a	6.22×10^6 a
SA	4.28×10^7 a	3.03×10^5 a	7.57×10^6 a

Nota. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores, con un nivel de error de 0,05.

Los resultados de los indicadores biológicos mostraron que los tres sistemas de producción mantuvieron poblaciones microbianas normales para suelos agrícolas. De acuerdo con la literatura, las poblaciones bacterianas en suelos agrícolas suelen oscilar entre 10^6 y 10^8 UFC/g, los hongos entre 10^4 y 10^6 UFC/g y los actinomicetos entre 10^5 y 10^7 UFC/g.

El sistema agroecológico presentó mayores valores promedio de hongos y actinomicetos en comparación con los demás sistemas, mientras que el sistema convencional (SC) registró la mayor concentración de bacterias.

Efectos del sistema de producción sobre la productividad del cultivo de brócoli

La Tabla 9 presenta los promedios del perímetro, el diámetro y el peso de la inflorescencia.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tabla 9.

Productividad agrícola del brócoli por sistemas de producción

Sistema de Producción	Rendimiento del cultivo	Perímetro de la inflorescencia	Diámetro de la inflorescencia	Peso de la inflorescencia
	T/Ha	cm	cm	g
SC	15*	52.92 a	16.53 a	680.93 a
SI	11.5*	50.04 b	15.95 b	604.87 a
SA	12.3*	52.01 ab	16.14 ab	655.02 a

Nota. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores, con un nivel de error de 0,05. *Corresponde a valores totales no valores promedios.

Los parámetros de productividad evaluados evidenciaron diferencias entre los sistemas de producción, particularmente con las variables perímetro y diámetro de la inflorescencia, entre el sistema convencional y el sistema integrado (Ver Figura 4).

En relación con el perímetro de la inflorescencia, el sistema convencional (SC) presentó el mayor valor (52.92 cm), mientras que el sistema integrado (SI) registró el menor valor (50.04 cm). Por su parte, el sistema agroecológico (SA) obtuvo un valor intermedio sin diferencias con los otros sistemas.

Respecto al diámetro de la inflorescencia, se observó el mismo comportamiento, evidenciándose diferencias significativas entre el sistema convencional e integrado, siendo el sistema convencional el que obtuvo el mayor valor promedio.

El peso de la inflorescencia fue similar en los tres sistemas, sin diferencias estadísticas significativas. Los valores oscilaron entre 604.87 y 680.93 gramos.

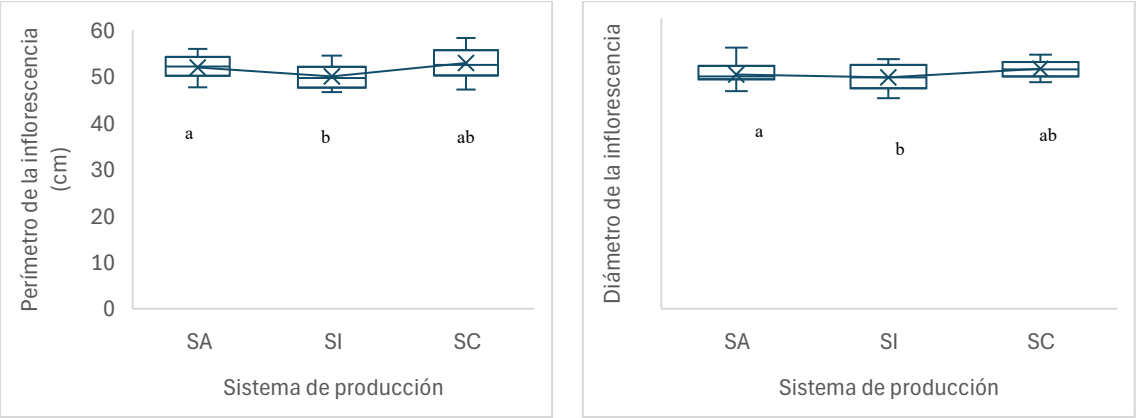
La Figura 4 muestra los promedios del perímetro y del diámetro de la inflorescencia. Se observaron diferencias significativas entre el sistema integrado y los sistemas convencional y agroecológico.

Figura 4.

Valores promedios del perímetro y diámetro de la inflorescencia

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR



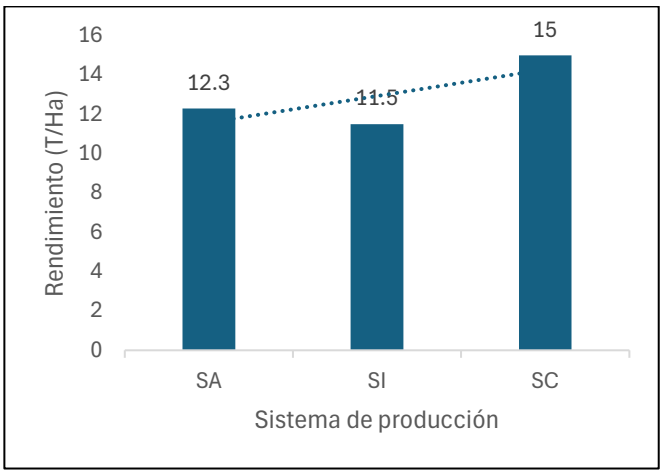
Nota. Las letras en los gráficos indican diferencias significativas entre los valores, con un nivel de error de 0,05.

Por otro lado, el rendimiento del cultivo no fue sometido a comparación estadística, debido a que se determinó a partir de la producción total obtenida en cada parcela. El sistema convencional registró el mayor rendimiento con 15 t/ha, seguido del sistema agroecológico con 12.3 t/ha y el sistema integrado con 11.5 t/ha, siendo este el menor valor.

En la Figura 5 se presentan los rendimientos totales del cultivo de brócoli correspondientes a cada sistema de producción.

Figura 5.

Valores totales del rendimiento del cultivo de brócoli en los sistemas de producción



Nota. Los valores corresponden a valores totales no valores promedios.

En términos generales, los resultados sugieren que, bajo las condiciones evaluadas, el sistema convencional presentó el mejor desempeño productivo.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Índice de Calidad del Suelo (Clasificación del suelo)

En la Tabla 10 se presentan los valores estandarizados de los indicadores seleccionados y el Índice de Calidad del Suelo (ICS) correspondiente a cada sistema agrícola.

Tabla 10.

Indicadores e índice de calidad del suelo de los diferentes sistemas agrícolas

Indicador	SA	SI	SC
	Valor indicador		
DA	0.73	0.30	0.13
EP	0.40	0.05	0.00
CE	1.00	1.00	1.00
PH	0.97	0.55	0.67
MO	0.40	0.00	0.24
P	1.00	1.00	1.00
K	0.34	0.11	0.08
CIC	0.37	0.51	0.52
ICS	0.65	0.44	0.45
Clasificación	Alta Calidad	Moderada Calidad	Moderada Calidad

Nota. DA: densidad aparente, EP: porosidad o espacio poroso, CE: conductividad eléctrica, pH: potencial hidrógeno, MO: materia orgánica, P: fósforo disponible, P: potasio disponible, CIC: capacidad de intercambio catiónico, ICS: Índice de Calidad de Suelo. SA: Sistema agroecológico, SI: Sistema integrado, SC: Sistema Convencional

La evaluación del Índice de Calidad del suelo (ICS) permitió integrar los indicadores físicos y químicos en un valor representativo de la calidad del suelo.

Los resultados mostraron que el sistema agroecológico (SA) obtuvo una puntuación de 0.65, clasificándose dentro de la categoría de alta calidad. Por otro lado, los sistemas convencional e integrado registraron puntuaciones de 0.45 y 0.44, respectivamente, siendo clasificados dentro de la categoría de calidad moderada.

La Figura 6 presenta el comportamiento de los indicadores estandarizados mediante un gráfico tipo radar. Se observa que el sistema agroecológico (SA) presentó valores más altos en siete de los ocho indicadores evaluados, en comparación con los otros sistemas. Por su parte, el sistema convencional (SC) sobresalió por sus valores de fosforo disponible

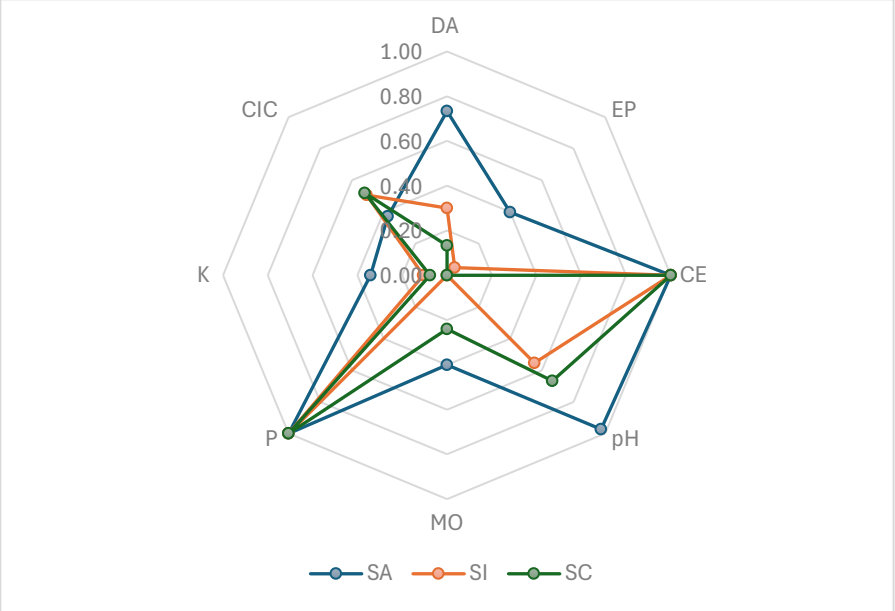
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

y capacidad de intercambio catiónico, mientras que el sistema integrado registró resultados intermedios en la mayoría de los indicadores evaluados. En resumen, el sistema agroecológico presentó valores más favorables en variables relacionadas con la estructura y calidad general del suelo, mientras que el sistema convencional destacó en indicadores asociados a la disponibilidad inmediata de nutrientes.

Figura 6.

Gráfico radial con los indicadores estandarizados del ICS



Nota. SA: Sistema agroecológico, SI: Sistema integrado, SC: Sistema Convencional

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

DISCUSIÓN

Efectos del sistema de producción sobre los indicadores de calidad del suelo

Indicadores físicos de la calidad del suelo

Los resultados obtenidos evidenciaron que el sistema agroecológico presentó menores valores de densidad aparente y mayores valores de porosidad en contraposición con los sistemas convencional e integrado, lo que sugiere una mejor condición estructural del suelo bajo este tipo de manejo. Este comportamiento puede atribuirse a las practicas características de la agricultura agroecológica, tales como la incorporación de enmiendas orgánicas, la menor intervención humana y la reducción del uso de insumos químicos, las cuales favorecen el mantenimiento de la calidad física del suelo.

De acuerdo con Six et al. (2004), Tisdall & Oades (1982) y Weil y Brady (2016), el aporte continuo de residuos orgánicos incrementa el contenido de materia orgánica y estimula la actividad de raíces y microorganismos edáficos. Durante la descomposición de estos residuos, los microorganismos producen compuestos cementantes que, junto con las hifas fúngicas y el crecimiento radicular, favorecen la unión de las partículas minerales y la formación de agregados estables. Estos agregados mejoran la estructura del suelo al incrementar la proporción de macroporos, favorecer la infiltración y la aireación, y reducir la susceptibilidad a la compactación. Como resultado, el suelo presenta una mayor porosidad y una menor densidad aparente.

Este mecanismo es similar con lo reportado por Losada & Popayán-Hernández (2025) y Ramirez et al. (2024), quienes señalan que los sistemas con mayor incorporación de residuos orgánicos presentan una mejor calidad física del suelo debido al fortalecimiento de la estabilidad de los agregados y al incremento de la actividad biológica.

En contraste, el sistema convencional presentó los mayores valores de densidad aparente y los menores valores de porosidad, lo que refleja una mayor condición de compactación del suelo. Este comportamiento puede atribuirse al manejo intensivo característico de este

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

sistema, el cual está asociado con una menor incorporación de residuos orgánicos, labores frecuentes de preparación del suelo y una mayor dependencia de agroquímicos. Estas prácticas reducen el aporte de carbono al suelo y limitan la actividad biológica responsable de producir los compuestos que estabilizan los agregados. Como consecuencia, la estructura del suelo pierde estabilidad, disminuye la proporción de macroporos y aumenta su susceptibilidad a la compactación. En este sentido, Hamza & Anderson (2005) sostienen que, en los sistemas agrícolas intensivos, la compactación del suelo se asocia con el deterioro de su estructura y la reducción de los macroporos, mientras que Lipiec et al. (2012) indican que la reducción del contenido de materia orgánica disminuye la estabilidad estructural e incrementa la densidad aparente.

Por su parte, el sistema integrado presentó valores intermedios de densidad aparente y porosidad, reflejando una condición transicional entre el maneo convencional y el agroecológico. Este comportamiento sugiere que la incorporación parcial de practicas de conservación, como la reducción del uso de agroquímico y el mano integrado de plagas, puede contribuir a mitigar parcialmente el deterioro de la estructura del suelo, aunque sus efectos aún son inferiores a los observados bajo un manejo agroecológico. Resultados similares fueron reportados por (Raveloaritiana & Cherico Wanger, 2024), quienes encontraron que los sistemas agrícolas en transición mejoran progresivamente la estructura del suelo y reducen la compactación a medida que aumenta la incorporación de prácticas de conservación y manejo orgánico.

Indicadores químicos de la calidad del suelo

A diferencia de los indicadores físicos, los parámetros químicos del suelo no presentaron diferencias significativas entre los sistemas de producción evaluados. Aun así, se identificaron tendencias relevantes que facilitaron la interpretación de cómo el manejo agrícola influye en la dinámica del suelo. La ausencia de diferencias podría estar asociada al tiempo de manejo de las parcelas, ya que las propiedades químicas suelen presentar

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

cambios más lentos y progresivos en comparación con las propiedades físicas del suelo (Weil y Brady, 2016).

En los tres sistemas productivos, el pH presentó valores entre ligeramente ácidos y neutros. Este rango es favorable para las hortalizas, pues contribuye a la disponibilidad de nutrientes esenciales y a la actividad microbiana del suelo (Lal y Shukla, 2004). Sin embargo, el sistema agroecológico mostró valores más cercanos a la neutralidad, lo cual podría estar relacionado con la incorporación de enmiendas orgánicas utilizadas durante el manejo del cultivo. Diversos estudios señalan que la aplicación continua de materia orgánica contribuye a amortiguar cambios bruscos de pH mediante procesos de taponamiento químico y liberación gradual de bases intercambiables, mejorando así las condiciones químicas edáficas (Nicholls et al., 2016; Thapa et al., 2025). Por otro lado, los sistemas convencionales suelen experimentar mayores fluctuaciones de pH debido al uso continuo de fertilizantes sintéticos nitrogenados, los cuales pueden generar procesos de acidificación progresiva del suelo (Guo et al., 2010).

Respecto al contenido de materia orgánica (MO), aunque no se presentaron diferencias entre los sistemas y todos poseían una clasificación baja respecto al % de materia orgánica, el sistema agroecológico destacó por presentar una tendencia más alta. Este comportamiento coincide con lo reportado en investigaciones previas donde los sistemas agroecológicos y orgánicos contribuyen al incremento de la materia orgánica del suelo mediante la aplicación constante de enmiendas (Lal, 2004; Lehmann et al., 2020; Maienza et al., 2025).

Respecto a los nutrientes disponibles, fósforo (P) y potasio (K), los tres sistemas presentaron concentraciones consideradas adecuadas para el desarrollo del cutlvio de brócoli, lo que sugiere que tanto la fertilización convencional como la agroecológica permitieron mantener niveles suficientes de estos nutrientes en el suelo. No obstante, el sistema agroecológico destacó por presentar mayores concentraciones de potasio, lo que

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

podría estar asociado a la liberación gradual de este nutriente durante la mineralización de la materia orgánica incorporadas a través de las enmiendas orgánicas. En contraste con los fertilizantes químicos, que liberan nutrientes de rápida disolución y disponibilidad. Las fuentes orgánicas liberan el potasio de manera progresiva conforme avanza la descomposición de los residuos vegetales, favoreciendo un suministro más sostenido para las plantas (Teng et al., 2024; Vikas & Ranjan, 2024; Weil & Brady, 2016). Este proceso podría explicar la mayor concentración de potasio observada en el sistema agroecológico. En relación con la capacidad de intercambio catiónico (CIC), no se observaron diferencias significativas entre los sistemas evaluados; sin embargo, el sistema agroecológico presentó valores menores a los considerados ideales. Este comportamiento podría estar asociado principalmente a las características propias del suelo, especialmente al contenido y tipo de arcilla presenta en las parcelas evaluadas. De acuerdo con Weil y Brady (2016), la CIC depende en gran medida de la fracción coloidal del suelo, particularmente de la cantidad de arcillas y materia orgánica capaces de retener cationes intercambiables. En suelos con predominancia de texturas arenosas o con bajo contenido de arcillas expansivas, la CIC suele ser naturalmente baja, incluso cuando existe incorporación de materia orgánica (Sparks, 2003; Weil y Brady, 2016). Asimismo, algunos autores señalan que los efectos positivos de las practicas agroecológicas sobre la CIC pueden requerir largos periodos de manejo para evidenciar cambios significativos, especialmente en suelos con limitaciones minerales de origen (Ćirić et al., 2023; Gao et al., 2024; Weil y Brady, 2016).

Indicadores biológicos de la calidad del suelo

Los indicadores biológicos evaluados no presentaron diferencias entre los sistemas de producción y todos presentaron parámetros normales de microorganismos en suelo. Sin embargo, se observaron tendencias importantes en la abundancia de microorganismos que facilitan la comprensión de cómo el manejo agrícola influye en la actividad biológica del

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

suelo. La ausencia de diferencias podría estar relacionada con la elevada variabilidad espacial y temporal característica de la microbiota del suelo, así como con el tiempo de implementación de los sistemas de manejo evaluados. Diversos estudios señalan que los indicadores biológicos suelen responder de manera rápida a los cambios del ambiente edáfico; sin embargo, debido a su alta variabilidad, las diferencias suelen hacerse evidentes tras periodos prolongados de manejo (Bastida et al., 2021; Weil & Brady, 2016). En este sentido, la recuperación biológica del suelo bajo manejo agroecológico constituye un proceso gradual que depende del tiempo de transición, las condiciones climáticas, el tipo de suelo y la intensidad del manejo previo, por lo que los cambios en la abundancia y composición de las comunidades microbianas podrían necesitar varios ciclos de cultivo para estabilizarse (Bastida et al., 2021; Gao et al., 2024).

A pesar de ello, el sistema agroecológico presentó mayores valores de hongos y actinomicetos en comparación con los sistemas convencional e integrado. Este comportamiento coincide con investigaciones previas que reportan que los sistemas agroecológicos favorecen comunidades microbianas más diversas y funcionales debido al mayor aporte de materia orgánica, la menor perturbación del suelo y la reducción del uso de agroquímicos sintéticos, condiciones que promueven un ambiente más favorable para el desarrollo de la microbiota edáfica (Bastida et al., 2021; Maienza et al., 2025; Nicholls et al., 2016). Además, los hongos y actinomicetos están más relacionados a los procesos de descomposición de residuos orgánicos y compuestos de difícil degradación, que usualmente se desarrollan en este sistema de producción (Paul, 2015; Sylvia et al., 2005). Asimismo, diversos autores señalan que los sistemas agrícolas con manejo orgánico favorecen condiciones más estables de humedad, temperatura y disponibilidad de carbono, capaces de promover el desarrollo de comunidades fúngicas y de actinomicetos más abundantes y activas (Thapa et al., 2025).

Por otro lado, el sistema convencional presentó mayores valores de bacterias en

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

comparación con los otros dos sistemas. Este comportamiento podría estar relacionado con la disponibilidad inmediata de nutrientes derivados de fertilizantes sintéticos, especialmente nitrogenados, que favorecen el crecimiento acelerado de grupos bacterianos. Investigaciones previas indican que algunos sistemas convencionales pueden incrementar temporalmente la actividad bacteriana debido a la rápida mineralización de nutrientes y al aporte constante de fertilizantes químicos; sin embargo, estos sistemas suelen presentan una menor diversidad microbiana y una mayor alteración de las funciones ecológicas del suelo a largo plazo (Lori et al., 2017). Además, el uso continuo de agroquímicos puede afectar a ciertos grupos microbianos más sensibles, en especial, a los hongos benéficos y otros microorganismos que intervienen en la descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes (Bastida et al., 2021; Lori et al., 2017; Van Der Heijden et al., 2008).

Efectos del sistema de producción sobre la productividad del cultivo de brócoli

En términos de productividad agrícola, el sistema convencional presentó mayores valores en todas las variables, lo cual coincide con diversos estudios que reportan mayores rendimientos en sistemas agrícolas intensivos basados en el uso de fertilización química (Lal, 2004; Woodcock et al., 2025). Este comportamiento puede atribuirse a la disponibilidad inmediata de nutrientes principales como nitrógeno, fosforo y potasio, proporcionados por la fertilización sintética. La rápida disponibilidad de estos nutrientes favorece una mayor absorción por las plantas durante las etapas de crecimiento, promoviendo el desarrollo vegetativo, la expansión foliar, la acumulación de biomasa y, por ende, un mayor desarrollo de la inflorescencia durante el ciclo del cultivo (Marschner, 2012; Taiz et al., 2015; Weil & Brady, 2016). En el cultivo de brócoli, cuya demanda nutricional es elevada para el crecimiento y formación de la inflorescencia, el suministro inmediato de estos nutrientes favorece la producción de la biomasa y el incremento del tamaño comercial de las cabezuelas. Por otro lado, los nutrientes provenientes de las

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

fuentes orgánicas se liberan de manera más gradual, ya que su disponibilidad depende de los procesos de mineralización de la materia orgánica, los cuales están regulados por la actividad microbiana y por factores ambientales como la temperatura, la humedad y las características del suelo (Paul, 2015; Weil & Brady, 2016).

Estas diferencias explican las ventajas productivas observadas en los sistemas convencionales, especialmente en cultivos comerciales orientados a maximizar el rendimiento a corto plazo. Sin embargo, diversos autores advierten que este tipo de manejo intensivo puede generar efectos negativos sobre la salud del suelo, tales como pérdida de materia orgánica, compactación, disminución de la biodiversidad microbiana y deterioro de las características físicas y químicas (Hamza y Anderson, 2005; Lori et al., 2017). Por este motivo, aunque el sistema convencional puede mantener altos niveles de productividad en el corto plazo, su sostenibilidad a largo plazo podría verse comprometida.

Por su parte, el sistema agroecológico presentó una productividad comparable, en el plano morfológico, a la del sistema convencional, lo que sugiere que este tipo de manejo constituye una alternativa viable para avanzar hacia una producción agrícola sostenible. Este comportamiento coincide con lo investigado por Nicholls et al. (2016) y Teng et al. (2024), que señalan que los sistemas agroecológicos suelen presentar rendimientos moderados durante los primeros años de implementación, debido a que la liberación de los nutrientes provenientes de enmiendas orgánicos ocurre de forma gradual.

Asimismo, estudios recientes indican que los sistemas agroecológicos pueden alcanzar niveles de productividad competitivos cuando las prácticas de manejo orgánico se mantienen en el tiempo y se fortalecen procesos ecológicos como el reciclaje de nutrientes, la acumulación de carbono y la diversificación biológica (Thapa et al., 2025; Vikas y Ranjan, 2024). En concordancia con estos hallazgos, los hallazgos de este estudio sugieren que, en las condiciones evaluadas en el valle Chillón y durante el ciclo analizado,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

el sistema agroecológico representa una opción viable para lograr una productividad agrícola competitiva.

Índice de Calidad del Suelo (Clasificación del suelo)

La evaluación mediante el ICS permitió integrar los principales indicadores físicos y químicos en un único valor representativo de la calidad del suelo, proporcionando una evaluación general del estado funcional del suelo bajo diferentes sistemas de producción. Los resultados muestran que el sistema agroecológico alcanzó el valor más alto del ICS (0.65), clasificándose como un suelo de alta calidad, mientras que los sistemas convencional e integrado alcanzaron valores 0.45 y 0.44, respectivamente, correspondientes a una calidad moderada. En conjunto, estos resultados indican que las prácticas de manejo influyen sobre la calidad integral del suelo y evidencian el potencial del manejo agroecológico para favorecer su conservación.

El mayor valor del ICS registrado en el sistema agroecológico estuvo asociado principalmente a un mejor comportamiento de los indicadores físicos, reflejado en menores valores de densidad aparente y una mayor porosidad, así como a tendencias favorables en variables químicas. Estos resultados sugieren que las prácticas agrícolas del sistema agroecológico contribuyeron a conservar una mejor estructura del suelo, que favorecen procesos como la infiltración, la retención de agua, la disponibilidad de nutrientes y el mantenimiento de la actividad biológica. En este sentido, (Lal, 2004; Nicholls et al., 2016; Weil & Brady, 2016) señalan que los sistemas agroecológicos promueven mejoras progresivas en la calidad del suelo mediante el incremento de materia orgánica, el fortalecimiento de la estabilidad estructural y la reducción de los procesos de degradación asociados al manejo intensivo.

Por el contrario, los sistemas convencional e integrado presentaron valores moderados de ICS, lo que puede atribuirse a un desempeño menos favorable de algunos indicadores físicos y químicos evaluados. En particular, el sistema convencional registro mayores

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

valores den densidad aparente y menor porosidad, evidenciando procesos de compactación asociados al manejo intensivo y al menor aporte de materia orgánica. Respecto a ello, Hamza y Anderson (2005) y Weil y Brady (2016) sostienen que la degradación de las propiedades físicas repercute directamente sobre la capacidad del suelo para sostener procesos esenciales como el almacenamiento de agua, el reciclaje de nutrientes y la actividad biológica, lo que se refleja en una disminución de su calidad integral.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

CONCLUSIONES

El sistema de producción agroecológico presentó mejores condiciones físicas del suelo en comparación con los sistemas convencional e integrado, evidenciado mediante menores valores de densidad aparente y mayores porcentajes de porosidad. Estos resultados reflejan una mejor estructura del suelo y sugieren que las practicas agroecológicas como el uso de enmiendas orgánicas y la menor intensidad de manejo favorecen la conservación de las propiedades físicas del suelo.

Los indicadores químicos no mostraron diferencias significativas entre los sistemas productivos analizados. Sin embargo, el sistema agroecológico mostró una tendencia favorable en variables como materia orgánica, potasio y pH en comparación con los sistemas convencional e integrado. Estos resultados sugieren una condición química del suelo favorable bajo manejo agroecológico y evidencian el potencial de estas prácticas para mejorar progresivamente la calidad química del suelo. Sin embargo, debido a que el estudio comprendió un solo ciclo productivo, se requieren investigaciones de mayor duración para confirmar si estas tendencias se consolidan y/o mejoran a largo plazo bajo un manejo continuo.

En relación con los indicadores biológicos, los tres sistemas mantuvieron valores dentro de rangos funcionales para suelos agrícolas. Aunque no se registraron diferencias significativas, el sistema agroecológico mostró una tendencia hacia una mayor abundancia de hongos y actinomicetos, microorganismos que cumplen un rol esencial en la descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes. Esto sugiere una respuesta favorable de la microbiota del suelo frente a prácticas de manejo menos intensivas.

En términos de productividad agrícola, el sistema convencional presentó los mayores valores en las variables morfológicas (diámetro, perímetro y peso de inflorescencia), así como en el rendimiento total del cultivo de brócoli. No obstante, el sistema agroecológico

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

alcanzó valores morfológicos comparables, manteniendo al mismo tiempo mejores condiciones de calidad del suelo, lo que evidencia su potencial como una alternativa de producción más sostenible.

La evaluación mediante el Índice de Calidad del Suelo (ICS) permitió clasificar al sistema agroecológico como un suelo de alta calidad, mientras que los sistemas convencional e integrado fueron clasificados como de calidad moderada. Estos resultados sugieren que el manejo agroecológico favorece una mejor conservación integral del suelo y sustentan su potencial como una práctica de manejo que promueve la sostenibilidad agrícola.

En conjunto, los resultados muestran que los sistemas de producción influyen en el comportamiento de las propiedades del suelo y en la productividad del cultivo de brócoli. Bajo las condiciones evaluadas en el valle Chillón y durante el ciclo productivo analizado, el sistema agroecológico se posiciona como una alternativa viable para una producción hortícola más sostenible, al favorecer una mejor conservación de la salud del suelo sin comprometer significativamente la productividad del cultivo. No obstante, se requieren estudios de mayor duración y precisión para determinar si estos resultados se mantienen bajo un manejo agroecológico continuo.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

REFERENCIAS

Apoorva Angadi, V. M., Krishna Murthy, R., Govinda, K., Bhavya, N., Uday Kumar, S. N., Manjunatha, M. H., Raghu, H. B., Veeranagappa, P., Sathish, B. N., & Hareesh, T. S. (2025). Soil quality and microbial diversity across organic and conventional coffee in central Western Ghats India. *Scientific Reports*, *15*(34184), 1–13. https://doi.org/10.1038/s41598-025-15437-3

Bañuelos, G. S., Arroyo, I. S., Dangi, S. R., & Zambrano, M. C. (2016). Continued selenium biofortification of carrots and broccoli grown in soils once amended with Se-enriched S. Pinnata. *Frontiers in Plant Science*, *7*(1251), 1–11. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01251

Bastida, F., Eldridge, D. J., García, C., Kenny Png, G., Bardgett, R. D., & Delgado-Baquerizo, M. (2021). Soil microbial diversity–biomass relationships are driven by soil carbon content across global biomes. *The ISME Journal*, *15*(7), 2081–2091. https://doi.org/10.1038/S41396-021-00906-0

Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., del Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, *13*(2), 90–97. http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=149

Buitrago Álvarez, A. S., Cote Mendoza, E. L., Bautista Rodríguez, S. C., Martínez Molina, S., & Vallejo Quintero, V. E. (2024). Evaluación de la calidad del suelo y sus servicios ecosistémicos en agroecosistemas del Meta, Colombia. *Revista Luna Azul*, *59*, 32–52. https://doi.org/10.17151/LUAZ.2024.59.3

Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T. W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J. W., & Brussaard, L. (2018). Soil quality – A critical review. In *Soil Biology and Biochemistry* (Vol. 120, pp. 105–125). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030

Cahn, M., Smith, R., & Melton, F. (2023). Field evaluations of the CropManage decision support tool for improving irrigation and nutrient use of cool season vegetables in California.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Agricultural Water Management, *287*, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108401

Calvo Vélez, P., Reymundo Meneses, L., & Zúñiga Dávila, D. (2008). Estudio de las poblaciones microbianas de la rizosfera del cultivo de papa (Solanum tuberosum) en zonas altoandinas. *Ecología Aplicada*, *7*(1–2), 141–148. https://doi.org/10.21704/rea.v7i1-2.369

Cantú, M. P., Becker, A., Bedano, J. C., & Schiavo, H. F. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencia Suelo*, *25*(2), 173–178. https://www.researchgate.net/publication/237215276

Castillo Alvarez, Y., Jiménez Borges, R., Patiño Vidal, C. D., Carhuancho Leon, F. M., Pinares Buendia, J. S., & Samaniego Nolasco, J. A. (2025). Design Improvements and Best Practices in Small-Scale Biodigesters for Sustainable Biogas Production: A Case Study in the Chillon Valley, Perú. *Energies*, *18*, 338. https://doi.org/10.3390/en18020338

Ćirić, V., Prekop, V., Šeremešić, N., Vojnov, S., Pejić, B., Radovanović, B., & Marinković, D. (2023). The implication of cation exchange capacity (CEC) assessment for soil quality management and improvement. *Agriculture and Forestry*, *69*(4), 113–133. https://doi.org/10.17707/AgricultForest.69.4.08

Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1994). Defining and Assessing Soil Quality. In J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek, & B. A. Stewart (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment* (pp. 3–21). Soil Science Society of America Journal.

Espinosa Aguilar, M. A., González Romero, D. A., Romero Herrera, D. X., Ludeña Pérez, J. J., & Centeno Alvear, E. I. (2025). Rotación de cultivos y manejo de forrajes para mejorar la fertilidad del suelo. *Arandu UTIC*, *12*(1), 1213–1229. https://doi.org/10.69639/arandu.v12i1.672

Estrada, I. R., Hidalgo, C., Guzmán, R., Almaraz, J. J., Navarro, H., & Etchevers, J. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Agrociencia*, *51*, 813–831.

FAO. (2015). Status of the World's Soil Resources: Main Report. In *United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat): Addis Ababa, Ethiopia. (2021)*. FAO;

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i5199e

Food and Agriculture Organization. (2006). *Guidelines for soil description* (4th ed.).

Gao, Y., Wang, J., Ge, Y., Lei, Y., Wei, X., Xu, Y., & Zheng, X. (2024). Partial substitution of nitrogen fertilizers by organic products of rural waste co-composting impacts on farmland soil quality. *Environmental Technology & Innovation*, *33*, 1–14. https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103470

Guilcamaigua Paztuñal, D., & Chancusig Espín, E. (2016). Comparación de indicadores ambientales en tres casos de agricultura: tradicional, orgánica y convencional. *Antropología Cuadernos de Investigación* , *17*, 71–85.

Guo, J. H., Liu, X. J., Zhang, Y., Shen, J. L., Han, W. X., Zhang, W. F., Christie, P., Goulding, K. W. T., Vitousek, P. M., & Zhang, F. S. (2010). Significant acidification in major Chinese croplands. *Science*, *327*(5968), 1008–1010. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1182570

Hamza, M. A., & Anderson, W. K. (2005). Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil & Tillage Research*, *82*(2), 121–145. https://doi.org/10.1016/J.STILL.2004.08.009

Higuchi, A. (2024, February 25). *Container Pollution: Pesticides in the Chillón River Valley and Its Challenges*. https://revista.drclas.harvard.edu/container-pollution-pesticides-in-the-chillon-river-valley-and-its-challenges/

INIA. (2024). *Manual para el análisis de suelos agrícolas y agua para riego* (E. Lazo, Ed.; 1st ed.). www.gob.pe/inia

Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., & Schuman, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, *61*, 4–10.

Koorneef, G. J., Pulleman, M. M., de Goede, R. G. M., Barré, P., Baudin, F., van Rijssel, S. Q., & Comans, R. N. J. (2025). Understanding the effects of organic versus conventional farming on soil organic carbon characteristics – a chronosequence study. *Geoderma*, *459*(117371),

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

1–14. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2025.117371

Lal, R. (2004). Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*, *304*(5677), 1623–1627. https://doi.org/10.1126/science.1097396

Lal, R., & Shukla, M. K. (2004). *Principles of Soil Physics*. Academic Press.

Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth and Environment*, *1*, 544–553. https://doi.org/10.1038/S43017-020-0080-8;SUBJMETA

Libutti, A., Gatta, G., Gagliardi, A., Vergine, P., Pollice, A., Beneduce, L., Disciglio, G., & Tarantino, E. (2018). Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable crop succession under Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management*, *196*, 1–14. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.10.015

Lipiec, J., Horn, R., Pietrusiewicz, J., & Siczek, A. (2012). Effects of soil compaction on root elongation and anatomy of different cereal plant species. *Soil and Tillage Research*, *121*, 74–81. https://doi.org/10.1016/J.STILL.2012.01.013

Lori, M., Symnaczik, S., Mäder, P., De Deyn, G., & Gattinger, A. (2017). Organic farming enhances soil microbial abundance and activity-A meta-analysis and meta-regression. *PloS One*, *12*(7). https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0180442

Losada, H. F., & Popayán-Hernández, J. G. (2025). Evaluación de propiedades hidrofísicas de suelos bajo diversas estrategias de manejo y conservación en Aipe, Huila, Colombia, entre 2023 y 2024. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, *16*(2), 125–142. https://doi.org/10.22490/21456453.8777

Maienza, A., Buttafuoco, G., Biancofiore, G., Ün, A., Renovell, J., Pisarčik, M., Fuksa, P., Grabiński, J., Lumini, E., Di Lonardo, S., Kushnir, M., Hakl, J., Vilkiene, M., Mockeviciene, I., Dirnena, B., & Asins-Velis, S. (2025). Soil Quality Indicators in Agroecological Practices: Lessons From a Systematic Review of Long-Term Experiments. *European Journal of Soil Science*, *76*(4). https://doi.org/10.1111/ejss.70138

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Marín, J., Rengifo, J., & Rengifo, A. (2019). Calidad del suelo en diferentes sistemas de uso en el Sector Nueva Esperanza Supte Chico - Distrito de Rupa Rupa. *Investigación y Amazonía* , *9*(8), 22–30.

Marín, S., Bertsch, F., & Castro, L. (2017). Efecto del manejo orgánico y convencional sobre propiedades bioquímicas de un andisol y el cultivo de papa en invernadero. *Agronomía Costarricense*, *41*(2), 27–46. www.mag.go.cr/revagr/index.htmlwww.cia.ucr.ac.cr

Marschner, H. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, Edition 3* (Edition 3). Academic Press.

MINAGRI. (2017). *Análisis económico de principales frutas y verduras*.

MINAM. (2014). Guía para el muestreo de suelos. In *Lima*. http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELO.pdf

Moreno Herrera, J. L., Farfán Meza, J. C., Peña Laureano, F., Condori Quispe, E., Renou, F., Dueñas Olivera, K. L., & Ccopa Alegre, J. M. (2021). Hidrogeología de la cuenca del río Chillón - [Boletín H 12]. *Repositorio Institucional INGEMMET*. https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/3300

Nicholls, C., Altieri, M., & Vazquez, L. (2016). Agroecology: Principles for the Conversion and Redesign of Farming Systems. *Journal of Ecosystem & Ecography*, *01*(s5). https://doi.org/10.4172/2157-7625.S5-010

Osorio-Vega, N. (2009). Microorganismos del suelo y su efecto sobre la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas. *Materia Orgánica Biología Del Suelo y Productividad Agrícola: Segundo Seminario Regional Comité Regional Eje Cafetero*, 43–71. https://doi.org/10.38141/10791/0003_3

Paul, E. (2015). *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry* (Academic Press, Ed.; 4th ed.). Academic Press. https://doi.org/10.1016/C2011-0-05497-2

Peña, D., Cruz, Y., Ruelas, L., & Fontalvo, J. (2021). Evaluación de la calidad del suelo en agroecosistemas tropicales de Xalapa y Emiliano Zapata en el estado de Veracruz, México.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Suelos Ecuatoriales, *51*, 25–36.

Ramirez, A., Moreno, V., Ávalos, A., Carreño, S., Pérez, D., & Fraire, S. (2024). Materia orgánica y densidad aparente del suelo en agrosistemas convencionales. In V. Rosales, F. Rosales, R. Monroy, & J. Bautista (Eds.), *Estrategias agroecológicas en los sistemas de producción agropecuarios del sureste de México* (1° Edición, pp. 85–100).

Raveloaritiana, E., & Cherico Wanger, T. (2024). Decades matter: Agricultural diversification increases financial profitability, biodiversity, and ecosystem services over time. *Physics and Society*, 1–42.

Rodriguez, R. (2023). *Evaluación de bioestimulantes orgánicos en comportamiento y rendimiento del cultivo brócoli (Brassica oleracea L.var. itálica Pleck) en condiciones agroclimáticas de Huari, Áncash*.

Romanyà, J., Serrasolses, I., & Vallejo, R. (2006). Defining a framework to measure soil quality. *Centro de Estudios Ambientales Del Mediterráneo*, 13–16.

Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., & Denef, K. (2004). A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research*, *79*(1), 7–31. https://doi.org/10.1016/J.STILL.2004.03.008

Sparks, D. L. (2003). Environmental Soil Chemistry: Second Edition. *Environmental Soil Chemistry: Second Edition*, 1–352. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-656446-4.X5000-2

Sylvia, D. M., Fuhrmann, J. J., Hartel, P. G., & Zuberer, D. A. (2005). *Principles and Applications of Soil Microbiology (2nd Edition)*. (January), 672. http://www.amazon.com/Principles-Applications-Soil-Microbiology-Edition/dp/0130941174?SubscriptionId=1V7VTJ4HA4MFT9XBJ1R2&tag=mekentosjcom-20&linkCode=xm2&camp=2025&creative=165953&creativeASIN=0130941174

Taiz, Lincoln., Zeiger, Eduardo., Møller, I. M. ., & Murphy, A. S. . (2015). *Plant physiology and development*. 761. https://books.google.com/books/about/Plant_Physiology_and_Development.html?hl=es&id

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

=02TBoQEACAAJ

Teng, J., Hou, R., Dungait, J. A. J., Zhou, G., Kuzyakov, Y., Zhang, J., Tian, J., Cui, Z., Zhang, F., & Delgado-Baquerizo, M. (2024). Conservation agriculture improves soil health and sustains crop yields after long-term warming. *Nature Communications 2024 15:1*, *15*(1), 8785-. https://doi.org/10.1038/s41467-024-53169-6

Thapa, A., Muthuprakash, S., Damani, O., Bell, T. H., & Isaac, M. E. (2025). Soil quality changes along an agroecological transition: Evidence from natural farming in Madhya Pradesh, India. *Environmental and Sustainability Indicators*, *28*, 100995. https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100995

Tisdall, J. M., & Oades, J. M. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, *33*(2), 141–163. https://doi.org/10.1111/J.1365-2389.1982.TB01755.X;WGROUP:STRING:PUBLICATION

Van Der Heijden, M. G. A., Bardgett, R. D., & Van Straalen, N. M. (2008). The unseen majority: Soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, *11*(3), 296–310. https://doi.org/10.1111/J.1461-0248.2007.01139.X

Vázquez, C., Mejía, B., Robles, R., & Ramírez, C. (2020). Impacto de las tecnologías de procesamiento del brócoli sobre compuestos fitoquímicos relevantes en salud humana: una revisión. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, *21*(2). https://www.redalyc.org/articulo.oa?

Vikas, & Ranjan, R. (2024). Agroecological approaches to sustainable development. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *8*, 1405409. https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1405409

Weil, R. R., & Brady, N. C. (2016). The Nature and Properties of Soils. In *Pearson Education* (15th ed.). Pearson Education. https://www.researchgate.net/publication/301200878_The_Nature_and_Properties_of_Soils_15th_edition

Woodcock, B. A., Cook, S., Hulmes, L., Hulmes, S., Torrance, M., Redhead, J., Swain, J., Ostler,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

R., Rainey, J., Weites, M. G., Heard, M. S., Nowakowski, M., Bullock, J. M., Carvell, C., Storkey, J., & Pywell, R. F. (2025). Agroecological farming promotes yield and biodiversity but may require subsidy to be profitable. *Journal of Applied Ecology*, *62*(8), 1902–1913. https://doi.org/10.1111/1365-2664.70079

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ANEXOS

TABLA 1S. ANÁLISIS ESTADISTICO DEL SUELO

Comparaciones por parejas

Sample 1-Sample 2	Estadístico de prueba	Error estándar	Estadístico de prueba estándar	Sig.	Sig. ajust.[a]
DA-Sistema agroecológico-DA-Sistema integrado	-1.000	.816	-1.225	.221	.662
DA-Sistema agroecológico-DA-Sistema convencional	-2.000	.816	-2.449	.014	.043
DA-Sistema integrado-DA-Sistema convencional	-1.000	.816	-1.225	.221	.662

Cada fila prueba la hipótesis nula que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son iguales.
Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .050.

a. Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección Bonferroni para varias pruebas.

Comparaciones por parejas

Sample 1-Sample 2	Estadístico de prueba	Error estándar	Estadístico de prueba estándar	Sig.	Sig. ajust.[a]
Porosidad-SConvencional-Porosidad-SIntegrado	1.000	.816	1.225	.221	.662
Porosidad-SConvencional-Porosidad-SAgroecológico	2.000	.816	2.449	.014	.043
Porosidad-SIntegrado-Porosidad-SAgroecológico	1.000	.816	1.225	.221	.662

Cada fila prueba la hipótesis nula que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son iguales.
Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .050.

a. Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección Bonferroni para varias pruebas.

Comparaciones por parejas

Sample 1-Sample 2	Estadístico de prueba	Error estándar	Estadístico de prueba estándar	Sig.	Sig. ajust.[a]
CE-Sistema integrado-CE-Sistema agroecológico	.333	.816	.408	.683	1.000
CE-Sistema integrado-CE-Sistema convencional	-1.667	.816	-2.041	.041	.124
CE-Sistema agroecológico-CE-Sistema convencional	-1.333	.816	-1.633	.102	.307

Cada fila prueba la hipótesis nula que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son iguales.
Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .050.

a. Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección Bonferroni para varias pruebas.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: pH del suelo

HSD Tukey

(I) Sistema de producción	(J) Sistema de producción	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95% Límite inferior	Límite superior
Sistema agroecológico	Sistema integrado	.6300	.19352	.066	-.0597	1.3197
	Sistema convencional	.4633	.19352	.151	-.2264	1.1531
Sistema integrado	Sistema agroecológico	-.6300	.19352	.066	-1.3197	.0597
	Sistema convencional	-.1667	.19352	.690	-.8564	.5231
Sistema convencional	Sistema agroecológico	-.4633	.19352	.151	-1.1531	.2264
	Sistema integrado	.1667	.19352	.690	-.5231	.8564

Se basa en las medias observadas.
El término de error es la media cuadrática(Error) = .056.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Materia Orgánica (%)

HSD Tukey

(I) Sistema de producción	(J) Sistema de producción	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95% Límite inferior	Límite superior
Sistema agroecológico	Sistema integrado	.4033	.12471	.067	-.0411	.8478
	Sistema convencional	.1600	.12471	.474	-.2845	.6045
Sistema integrado	Sistema agroecológico	-.4033	.12471	.067	-.8478	.0411
	Sistema convencional	-.2433	.12471	.239	-.6878	.2011
Sistema convencional	Sistema agroecológico	-.1600	.12471	.474	-.6045	.2845
	Sistema integrado	.2433	.12471	.239	-.2011	.6878

Se basa en las medias observadas.
El término de error es la media cuadrática(Error) = .023.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Capacidad de intercambio cationico

HSD Tukey

(I) Sistema de producción	(J) Sistema de producción	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95% Límite inferior	Límite superior
Sistema agroecológico	Sistema integrado	-1.3333	1.10955	.513	-5.2878	2.6211
	Sistema convencional	-1.4667	1.10955	.457	-5.4211	2.4878
Sistema integrado	Sistema agroecológico	1.3333	1.10955	.513	-2.6211	5.2878
	Sistema convencional	-.1333	1.10955	.992	-4.0878	3.8211
Sistema convencional	Sistema agroecológico	1.4667	1.10955	.457	-2.4878	5.4211
	Sistema integrado	.1333	1.10955	.992	-3.8211	4.0878

Se basa en las medias observadas.
El término de error es la media cuadrática(Error) = 1.847.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Bacterias totales (UFC/g suelo)

HSD Tukey

(I) Sistema de producción	(J) Sistema de producción	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95% Límite inferior	Límite superior
Sistema agroecológico	Sistema integrado	-.4833	1.29400	.927	-5.0951	4.1285
	Sistema convencional	-2.6167	1.29400	.222	-7.2285	1.9951
Sistema integrado	Sistema agroecológico	.4833	1.29400	.927	-4.1285	5.0951
	Sistema convencional	-2.1333	1.29400	.328	-6.7451	2.4785
Sistema convencional	Sistema agroecológico	2.6167	1.29400	.222	-1.9951	7.2285
	Sistema integrado	2.1333	1.29400	.328	-2.4785	6.7451

Se basa en las medias observadas.
El término de error es la media cuadrática(Error) = 2.512.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Hongos totales (UFC/g suelo)

HSD Tukey

(I) Sistema de producción	(J) Sistema de producción	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95% Límite inferior	Límite superior
Sistema agroecológico	Sistema integrado	.4500	.97748	.893	-3.0337	3.9337
	Sistema convencional	.5833	.97748	.829	-2.9004	4.0671
Sistema integrado	Sistema agroecológico	-.4500	.97748	.893	-3.9337	3.0337
	Sistema convencional	.1333	.97748	.990	-3.3504	3.6171
Sistema convencional	Sistema agroecológico	-.5833	.97748	.829	-4.0671	2.9004
	Sistema integrado	-.1333	.97748	.990	-3.6171	3.3504

Se basa en las medias observadas.
El término de error es la media cuadrática(Error) = 1.433.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Actinomicetos totales (UFC/g suelo)

HSD Tukey

(I) Sistema de producción	(J) Sistema de producción	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95% Límite inferior	Límite superior
Sistema agroecológico	Sistema integrado	1.3500	1.09172	.496	-2.5409	5.2409
	Sistema convencional	1.0167	1.09172	.652	-2.8742	4.9075
Sistema integrado	Sistema agroecológico	-1.3500	1.09172	.496	-5.2409	2.5409
	Sistema convencional	-.3333	1.09172	.951	-4.2242	3.5575
Sistema convencional	Sistema agroecológico	-1.0167	1.09172	.652	-4.9075	2.8742
	Sistema integrado	.3333	1.09172	.951	-3.5575	4.2242

Se basa en las medias observadas.
El término de error es la media cuadrática(Error) = 1.788.

TABLA 2S. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFLORESCENCIA (BRÓCOLI)

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Área de la inflorescencia

HSD Tukey

(I) Sistema de producción	(J) Sistema de producción	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95% Límite inferior	Límite superior
Sistema agroecológico	Sistema integrado	10.5555	6.65564	.260	-5.4607	26.5717
	Sistema convencional	-8.3470	6.65564	.427	-24.3632	7.6692
Sistema integrado	Sistema agroecológico	-10.5555	6.65564	.260	-26.5717	5.4607
	Sistema convencional	-18.9025*	6.65564	.017	-34.9187	-2.8863
Sistema convencional	Sistema agroecológico	8.3470	6.65564	.427	-7.6692	24.3632
	Sistema integrado	18.9025*	6.65564	.017	2.8863	34.9187

Se basa en las medias observadas.
El término de error es la media cuadrática(Error) = 442.975.
*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Diámetro de la inflorescencia

	(I) Sistema de producción	(J) Sistema de producción	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95% Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	Sistema agroecológico	Sistema integrado	.2600	.24925	.553	-.3398	.8598
		Sistema convencional	-.5300	.24925	.093	-1.1298	.0698
	Sistema integrado	Sistema agroecológico	-.2600	.24925	.553	-.8598	.3398
		Sistema convencional	-.7900*	.24925	.007	-1.3898	-.1902
	Sistema convencional	Sistema agroecológico	.5300	.24925	.093	-.0698	1.1298
		Sistema integrado	.7900*	.24925	.007	.1902	1.3898

Se basa en las medias observadas.
El término de error es la media cuadrática(Error) = .621.
*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Perímetro de la inflorescencia

	(I) Sistema de producción	(J) Sistema de producción	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95% Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	Sistema agroecológico	Sistema integrado	4.5810*	1.33716	.003	1.3632	7.7988
		Sistema convencional	-.4310	1.33716	.944	-3.6488	2.7868
	Sistema integrado	Sistema agroecológico	-4.5810*	1.33716	.003	-7.7988	-1.3632
		Sistema convencional	-5.0120*	1.33716	.001	-8.2298	-1.7942
	Sistema convencional	Sistema agroecológico	.4310	1.33716	.944	-2.7868	3.6488
		Sistema integrado	5.0120*	1.33716	.001	1.7942	8.2298

Se basa en las medias observadas.
El término de error es la media cuadrática(Error) = 17.880.
*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Peso de la inflorescencia

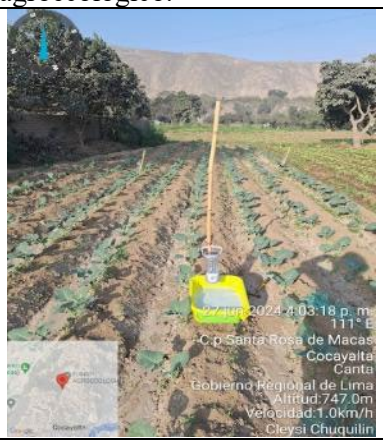
HSD Tukey

(I) Sistema de producción	(J) Sistema de producción	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Sistema agroecológico	Sistema integrado	68.25556	33.89256	.130	-16.3839	152.8950
	Sistema convencional	-54.77778	33.89256	.258	-139.4172	29.8617
Sistema integrado	Sistema agroecológico	-68.25556	33.89256	.130	-152.8950	16.3839
	Sistema convencional	-123.03333*	33.89256	.004	-207.6728	-38.3939
Sistema convencional	Sistema agroecológico	54.77778	33.89256	.258	-29.8617	139.4172
	Sistema integrado	123.03333*	33.89256	.004	38.3939	207.6728

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

ANEXO 1: REGISTRO FOTOGRÁFICO

		
Fotografía 1. Instalación de las trampas de melaza en el sistema agroecológico. *	**Fotografía 2.** Vista de los plantines sembrados en el campo agroecológico. *	**Fotografía 3.** Vista de los plantines sembrados en el campo bajo sistema integrado.
		
Fotografía 4. Vista de los plantines sembrados en el campo bajo sistema convencional.	**Fotografía 5.** Instalación de las trampas de luz en el sistema agroecológico.	**Fotografía 6.** Captura de la plaga (Plutella xylostella) en las trampas de melasa.
		
Fotografía 7. Asociación del cultivo de brócoli con árboles e instalación de las trampas melaza.	**Fotografía 8.** Uso de pesticidas en el cultivo de brócoli manejado bajo el sistema convencional.	**Fotografía 9.** Elaboración de biocida a base de rocoto para su posterior aplicación en el sistema agroecológico.

*La persona que aparece en la fotografía corresponde a mi persona.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ANEXO 2: PERMISOS PARA LA REALIZAR LA INVESTIGACIÓN EN LAS PARCELAS

SOLICITO: PERMISO PARA REALIZAR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Sr. Adan Inca Bonifacio

.....

Yo, Cleysi Lesliberth Chuquilin Medina, identificada con DNI N° 74980296 egresada de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Científica del Sur, solicito a usted permiso para realizar trabajo de investigación titulado "EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BRÓCOLI (Brassica oleracea var. italica) EN LA CALIDAD DEL SUELO DE LA CUENCA MEDIA DEL VALLE CHILLÓN" en su parcela para optar al grado de Ingeniero Ambiental.

Por lo expuesto, ruego a usted acceda a mi solicitud y firme en señal de conformidad.

Lima, 26 de Julio del 202

Adan Inca Bonifacio

Nombre: Adan Inca

DNI: 42019534

Cleysi Chuquilin Medina

DNI: 74980296

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR
TESIS

ANEXO 3: ANALISIS DE CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : CLEYSI LESLIBERTH CHUQUILIN MEDINA

Departamento : LIMA
Distrito : SANTA ROSA DE QUIVES
Referencia : H.R. 83580-133C-24

Bolt.: 6828

Provincia : CANTA
Predio : MACAS
Fecha : 10/09/2024

Número de Muestra			C.E.					Análisis Mecánico			Clase	CIC	Cationes Cambiables					Suma	Suma	%
Lab	Claves	pH	(1:1)	$CaCO_3$	M.O.	P	K	Arena	Limo	Arcilla	Textural		Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^{+}	Na^{+}	$Al^{+3} + H^{+}$	de	de	Sat. De
		(1:1)	dS/m	%	%	ppm	ppm	%	%	%			meq/100g					Cationes	Bases	Bases
7175	SA-SUB01C	7.36	0.80	0.00	0.87	15.2	101	75	16	9	Fr.A.	7.40	5.64	1.50	0.25	0.01	0.00	7.40	7.40	100
7176	SA-SUB02C	6.91	0.72	0.00	1.01	20.1	175	61	24	15	Fr.A.	9.20	6.74	2.14	0.31	0.01	0.00	9.20	9.20	100
7177	SA-SUB03C	6.61	1.07	0.00	0.81	29.0	207	65	20	15	Fr.A.	9.60	6.36	2.55	0.33	0.01	0.00	9.25	9.25	96
7178	SI-SUB01C	6.74	0.68	0.00	0.67	16.7	153	61	24	15	Fr.A.	11.00	7.86	2.47	0.39	0.06	0.00	10.78	10.78	98
7179	SI-SUB02C	6.15	0.92	0.00	0.27	21.8	130	67	20	13	Fr.A.	8.60	5.56	2.09	0.24	0.01	0.00	7.89	7.89	92
7180	SI-SUB03C	6.10	0.68	0.00	0.54	22.8	115	55	28	17	Fr.A.	10.60	6.86	2.63	0.20	0.01	0.00	9.71	9.71	92
7181	SC-SUB01C	6.57	0.85	0.00	0.87	28.1	123	47	32	21	Fr.	11.60	8.56	2.22	0.19	0.01	0.00	10.98	10.98	95
7182	SC-SUB02C	6.82	1.05	0.00	0.60	23.9	118	57	28	15	Fr.A.	9.40	7.26	1.71	0.19	0.01	0.00	9.17	9.17	98
7183	SC-SUB03C	6.10	1.20	0.00	0.74	29.7	146	55	28	17	Fr.A.	9.60	6.76	1.65	0.31	0.06	0.00	8.78	8.78	91

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

Lab. Análisis de Suelos, Aguas y Plantas LASPAF UNALM

Dra. Lily Tello Peramás
Jefa del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Celular: 946-505-254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ANEXO 4: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL SUELO

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

SOLICITANTE : CLEYSI LESLIBERTH CHUQUILIN MEDINA

MUESTRA : SUELO

PROCEDENCIA: LIMA/ CANTA/ SANTA ROSA DE QUIVES/ MACAS

REFERENCIA : H.R. 83581

BOLETA : 6828

FECHA : 03/09/2024

Código de muestra	Código de campo	Humedad gravimétrica (%)	Organismos mesófilos totales (UFC/ g de suelo)		
			Bacterias	Hongos	Actinomicetos
297	SA-SUB01M	13.46	4.95×10^7	2.30×10^5	9.35×10^6
298	SA-SUB02M	16.01	3.90×10^7	2.95×10^5	5.00×10^6
299	SA-SUB03M	10.31	4.00×10^7	3.85×10^5	8.35×10^6
300	SI-SUB01M	14.92	4.10×10^7	4.15×10^5	7.20×10^6
301	SI-SUB02M	12.89	5.35×10^7	2.15×10^5	5.35×10^6
302	SI-SUB03M	15.99	4.85×10^7	1.45×10^5	6.10×10^6
303	SC-SUB01M	18.72	6.55×10^7	2.40×10^5	6.60×10^6
304	SC-SUB02M	16.57	4.65×10^7	1.60×10^5	7.05×10^6
305	SC-SUB03M	12.82	9.50×10^7	3.35×10^5	6.00×10^6

Dr. Sady García Bendezú
Jefe del Laboratorio de Microbiología

Lab. Análisis de Suelos, Agua y Plantas LASPAF UNALM

Dra. Lily Tello Peramás
Jefa de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222
Celular: 946-505-254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Evidencia del envío a revista científica (Carta o e mail de envío tras aprobar la revisión académica)



ELSEVIER em Submit your manuscript

Tus aportaciones Cuenta Desconectarse

Crop and Environment

Cultivo y medio ambiente

Guía para autores

Este es un servicio de envío nuevo. Tu retroalimentación nos ayudará a mejorarlo.

Su manuscrito ha sido enviado ahora

Esto es lo que has enviado

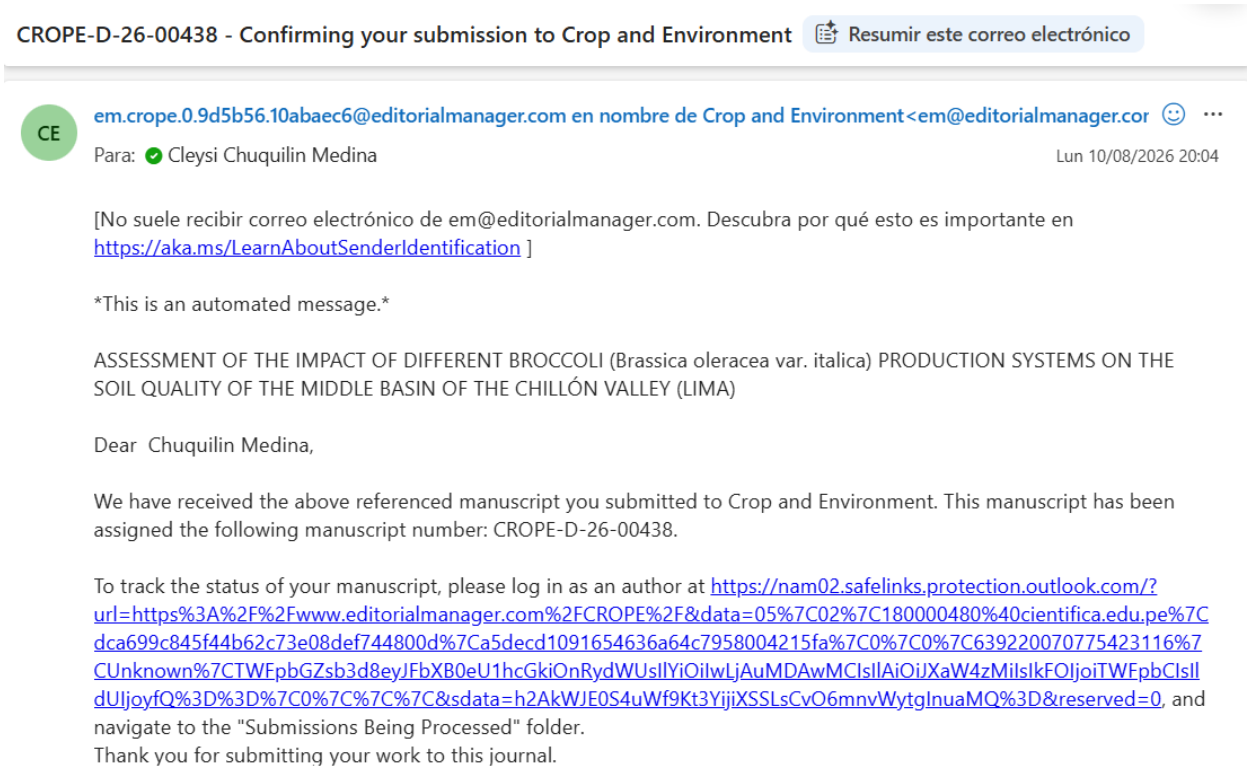
Presentado: 20:02, 10 de agosto de 2026

Diario: *Crop and Environment*

Tipo de artículo: Artículo original

Título: ASSESSMENT OF THE IMPACT OF DIFFERENT BROCCOLI (Brassica oleracea var. italica) PRODUCTION SYSTEMS ON THE SOIL QUALITY OF THE MIDDLE BASIN OF THE CHILLÓN VALLEY (LIMA)

Autores: **1. Cleysi Lesliberth Chuquilin Medina** Autor correspondiente
180000480@cientifica.e... Universidad Científica del Sur
2. Luis Gomero Osorio Universidad Científica del Sur



CROPE-D-26-00438 - Confirming your submission to Crop and Environment Resumir este correo electrónico

CE em.crope.0.9d5b56.10abaec6@editorialmanager.com en nombre de Crop and Environment<em@editorialmanager.cor

Para: Cleysi Chuquilin Medina Lun 10/08/2026 20:04

[No suele recibir correo electrónico de em@editorialmanager.com. Descubra por qué esto es importante en https://aka.ms/LearnAboutSenderIdentification]

This is an automated message.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF DIFFERENT BROCCOLI (Brassica oleracea var. italica) PRODUCTION SYSTEMS ON THE SOIL QUALITY OF THE MIDDLE BASIN OF THE CHILLÓN VALLEY (LIMA)

Dear Chuquilin Medina,

We have received the above referenced manuscript you submitted to Crop and Environment. This manuscript has been assigned the following manuscript number: CROPE-D-26-00438.

To track the status of your manuscript, please log in as an author at https://nam02.safelinks.protection.outlook.com/?url=https%3A%2F%2Fwww.editorialmanager.com%2FCROPE%2F&data=05%7C02%7C180000480%40cientifica.edu.pe%7Cdca699c845f44b62c73e08def744800d%7Ca5decd1091654636a64c7958004215fa%7C0%7C0%7C639220070775423116%7CUnknown%7CTWFpbGZsb3d8eyJFbXB0eU1hcGkiOnRydWUsIlYiOiIwLjAuMDAwMCIsIlAiOiJXaW4zMiIsIkFOIjoiTWFpbCIsIldUIjoyfQ%3D%3D%7C0%7C%7C%7C&sdata=h2AkWJE0S4uWf9Kt3YijiXSSLsCvO6mnvWytgInuaMQ%3D&reserved=0, and navigate to the "Submissions Being Processed" folder.
Thank you for submitting your work to this journal.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Copia de carta de aprobación académica (Carrera)

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

INFORME DE REVISIÓN DE TESIS

Lima, __18 de _06_ de 2026.

Estimado Coordinador de Investigación de la carrera Ingeniería Ambiental

A fin de cumplir con el encargo de revisar la Tesis, le presento mi revisión:

Tesista:	**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* var.italica) EN LA CALIDAD DEL SUELO DE LA CUENCA MEDIA DEL VALLE CHILLÓN (LIMA)**		
Título de: Tesis	CLEYSI LESLIBERTH CHUQUILIN MEDINA		
Comentario / observación /recomendación /observaciones	Solo unas correcciones de forma		
Luego de haber revisado el informe, se resuelve:			
Aprobado	**(x)**	**Aprobado si se levanta la observación** **( )**	**Rechazado** **( )**
Revisor / Jurado:			Presidente ( ) ☐ Miembro (X) Comité* ( )
***Comité Evaluador**			Horas trabajadas/ reunión

*comité: en el caso de comité de evaluación, agregar los nombres de los miembros e indicar quien es el presidente y las horas de reunión junto con el acta de reunión)

Atentamente,

Jurado /comité /docente de curso
Nombres y apellidos: Wilbert Cruz

Validación del Responsable de Investigación

Dámaso Wilfredo Ramirez Huaroto
Responsable de Investigación
Ingeniería Ambiental

T // (511) 610 6738
informes@cientifica.edu.pe
cientifica.edu.pe

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Copia de documento de aprobación de comité de ética (DGIDI o revista)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Copia de resolución de aprobación del proyecto de tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 240-2025-DACIA-DAFCA-U.CIENTIFICA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima, 29 de diciembre del 2025

VISTO:
El informe de revisión académica independiente y la aprobación de un Comité de Ética con **N° de Constancia: 156-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2024** del proyecto de tesis titulado: **EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BRÓCOLI (Brassica oleracea var.italica) EN LA CALIDAD DEL SUELO DE LA CUENCA MEDIA DEL VALLE CHILLÓN (LIMA)**, presentado por:

- **CLEYSI LESLIBERTH CHUQUILIN MEDINA**

CONSIDERANDO:
Que, de acuerdo con el Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el título profesional de **Ingeniero Ambiental** en la Facultad de Ciencias Ambientales, según la modalidad elegida, es necesario la realización y sustentación de una tesis.
Que, de acuerdo con la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Decano de la Carrera.

SE RESUELVE:
Primero.- Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado: **EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BRÓCOLI (Brassica oleracea var.italica) EN LA CALIDAD DEL SUELO DE LA CUENCA MEDIA DEL VALLE CHILLÓN (LIMA)** con N° de registro: **PRE-11-2024-00323** y establecer la vigencia de aprobación de este proyecto de doce meses, hasta el 29 de diciembre del 2026.

Segundo.- Nombrar al docente/colaborador **Luis Abraham Gomero Osorio** como **Asesor**(a) para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese,

Marie Anne Gálvez Escudero
Decana
Carrera de Ingeniería Ambiental
Universidad Científica del Sur

T // (511) 610 6738
informes@cientifica.edu.pe
cientifica.edu.pe

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis