

Impacto del uso de biosólidos procedentes de piscicultura de trucha y tilapia en el rendimiento del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*)



Impacto del uso de biosólidos procedentes de piscicultura de trucha y tilapia en el rendimiento del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea var. italica*)

- Publicado por:** Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
Dir. Av. Quito km 1½ vía a Santo Domingo de los Tsáchilas, Quevedo, Ecuador. www.uteq.edu.ec.
- Derechos reservados:** © Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador 2023.
Dirección de Investigación Ciencia y Tecnología (DICYT).
Se autoriza la reproducción de esta publicación con fines educativos y otros que no sean comerciales sin permiso escrito previo detentar el derecho de autor, mencionando la cita.
- Cita del libro:** Chausin L. y Álvarez A. 2023. Impacto del uso de biosólidos procedentes de piscicultura de trucha y tilapia en el rendimiento del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea var. italica*). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. 88 pp.
- Revisión de Pares Externos:** Erika Alexandra Salavarría Palma.
Doctor en Ciencias e Ingeniería Biológicas.
Universidad Estatal Península de Santa.
Edgar Alexander Zapata Vivenes.
Doctor en Ciencias Marinas.
Universidad Técnica de Manabí.
- Primera Edición:** Quevedo, Mayo del 2023.
- ISBN:** 978-9978-371-69-5
- Equipo Editorial:** Econ. Carlos Edison Zambrano, PhD
Director
Ing. Javier Patiño Uyaguari, M.Sc.
Revisión y Corrección
Ing. J. Bladimir Mora Macías
Edición y Diagramación

► PRESENTACIÓN

El Comité Editorial de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ) es la unidad encargada de promover, gestionar y administrar el conocimiento resultante de las actividades de investigación científica, la docencia y la vinculación de docentes y estudiantes. Dentro del procedimiento para el reconocimiento al profesorado y estudiantado de la UTEQ se contempla la publicación como libros de Tesis de grado y posgrado que se distingan por su innovación, metodología, rigor técnico o impacto social.

El Proyecto de Investigación en opción al grado de Magister en Agroecología y Desarrollo Sostenible de Lidia Paulina Chusin Ayala, obtenido en la “Universidad Técnica Estatal de Quevedo”, atiende a la normativa existente para ser publicado como libro y por ello el Comité Editorial de la UTEQ aprueba la visibilidad y acceso a la comunidad académica, científica y sociedad en general.



► IMPACTO DEL USO DE BIOSÓLIDOS PROCEDENTES DE
PISCICULTURA DE TRUCHA Y TILAPIA EN EL RENDIMIENTO DEL
CULTIVO DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea var. italica*)

AUTORES:

Lidia Paulina Chusin Ayala
Ana Ruth Álvarez Sánchez



PRÓLOGO

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de los biosólidos de trucha y tilapia en el cultivo de brócoli en el barrio Loma Grande de la Parroquia Eloy Alfaro, Cantón Latacunga, Ecuador. Los biosólidos obtenidos de las granjas piscícolas fueron evaluados en el laboratorio para determinar la presencia de macronutrientes, metales pesados y colonias, y posteriormente utilizados como abono en el cultivo de brócoli para medir sus parámetros agronómicos. Se emplearon siete tratamientos con diferentes concentraciones de biosólidos y se evaluaron diversas variables, como la altura de planta, porcentaje de floración, producción de biomasa, diámetro ecuatorial de la pella, peso de la pella, rendimiento y utilidad económica. Los resultados mostraron que los análisis de metales pesados y microbiológicos estuvieron dentro de los límites permisibles y los tratamientos con biosólidos al 75% presentaron los mejores resultados en la mayoría de las variables evaluadas. En conclusión, el uso de biosólidos en la agricultura puede ser una alternativa viable para gestionar el problema ambiental generado por su disposición inadecuada.

ÍNDICE DE TABLA

Prólogo 06

Índice de Contenido 08

Índice de Tablas 11

Índice de Figuras 12

Introducción 14

CAPÍTULO I.

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 16

1.1. Problema científico 17

1.2. Hipótesis 17

1.3. Objetivos 18

1.3.1. Objetivo General 18

1.3.2. Objetivos Específicos 18

CAPÍTULO II.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN ... 19

II. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN 20

2.1. El cultivo de brócoli 20

2.1.1. Importancia del cultivo en el Ecuador 20

2.1.2. Generalidades 21

2.1.3. Particularidades del cultivo 22

2.2. La Agroecología 23

2.2.1. Definición 23

2.2.2. La agroecología y la seguridad alimentaria 24

2.2.3. Abonos orgánicos en la agricultura sostenible 25

2.3. Los Biosólidos 26

2.3.1. Biosólidos de piscicultura generalidades 27

2.3.2. Aplicación en terrenos de uso agrícola o paisajístico 28

2.3.3. Calidad de los Biosólidos 29

2.3.4. Beneficios de la aplicación de biosólido como fertilizantes en

tierra o suelo	31
2.3.5. Beneficios medioambientales de los biosólidos	31
2.3.6. Estabilización de lodos o biosólidos	32
2.3.7. Estabilización química	34
2.3.8. Normativa para el uso de los biosólidos	35
2.4. Antecedentes	35

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	41
III. MATERIALES Y MÉTODOS	42
3.1. Localización del área de estudio	42
3.2. Diseño Metodológico	43
3.2.1. Factores de estudio	43
3.3. Diseño Experimental	43
3.4. Manejo del Experimento	45
3.4.1. Obtención de los biosólidos de trucha y tilapia	45
3.4.2. Sanitación de los biosólidos	45
3.4.3. Secado de Biosólidos	45
3.4.4. Material vegetativo	45
3.4.5. Análisis físico-químico de los biosólidos	45
3.4.6. Análisis microbiológicos de las bacterias asociadas a los biosólidos	46
3.4.7. Parámetros agronómicos y productivos del cultivo de brócoli utilizando biosólidos	46
3.5. Variables a evaluar	47
3.5.1. Altura de la planta (cm)	47
3.5.2. Porcentaje de floración (%)	47
3.5.3. Producción de biomasa fresca (g-planta)	47
3.5.4. Diámetro ecuatorial de la pella (cm)	48
3.5.5. Peso de pellas (g)	48
3.5.6. Rendimiento T/Ha	48
3.5.7. Análisis económico	48
3.6. Tratamientos de los datos	49

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS 50

4.1. Análisis físico - químico de los biosólidos 51

4.2. Análisis microbiológicos de los biosólidos 53

4.3. Altura de la planta (cm) 54

4.4. Porcentaje de floración (%) 55

4.5. Producción de biomasa fresca (g-planta) 55

4.6. Diámetro ecuatorial de la pella (cm) 55

4.7. Peso de la pella (g) 56

4.8. Rendimiento (T/Ha) 56

4.9. Análisis económico 57

CONCLUSIONES 62

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 63

ANEXOS 72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites permisibles de patógenos en biosólidos	28
Tabla 2. Límites máximos permisible para metales pesados en biosólidos	29
Tabla 3. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en biosólidos	30
Tabla 4. Esquema del experimento	43
Tabla 5. Representación del ANOVA	49
Tabla 6. Análisis físico-químico de los biosólidos del cultivo de trucha y tilapia como abono orgánico en la producción de brócoli (<i>Brassica oleracea var. italica</i>)	51
Tabla 7. Contenido de metales pesados en los biosólidos del cultivo de trucha y tilapia utilizados como abono orgánico en la producción de brócoli	52
Tabla 8. Análisis microbiológicos de biosólidos de cultivo de trucha y tilapia utilizados como abono orgánico en el cultivo de brócoli	53
Tabla 9. Valores promedio obtenidos en la variable altura de planta a día 0, 15, 30 y 60 del trasplante en el estudio del efecto de biosólidos del cultivo de trucha y tilapia como abono orgánico en la producción de brócoli	54
Tabla 10. Análisis de producción y rendimiento en el estudio del efecto de biosólidos del cultivo de trucha y tilapia como abono orgánico en la producción de brócoli	56
Tabla 11. Análisis económico del área experimental para determinar la utilidad económica de cada tratamiento en el estudio del efecto de biosólidos del cultivo de trucha y tilapia como abono orgánico en la producción de brócoli	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Detalle de una cabeza o pella principal (inflorescencia inmadura) de brócoli Avenger lista para ser cosechada 21

Figura 2. Ubicación del Área de Estudio 21

Figura 3. Obtención del biosólido del cultivo de trucha 21

Figura 4. Obtención del biosólido del cultivo de trucha 61

Figura 5. Obtención del biosólido del cultivo de tilapia 62

Figura 6. Estabilización con cal de los biosólidos de trucha y tilapia 63

Figura 7. Secado y pulverizado de los biosólidos de trucha y tilapia ... 65

Figura 8. Muestras de los biosólidos de trucha y tilapia para análisis de laboratorio 66

Figura 9. Preparación del terreno y adecuación de parcelas 67

Figura 10. Plántulas de brócoli obtenidas para el experimento 68

Figura 11. Trasplante de las plántulas de brócol 69

Figura 12. Toma de datos de altura de planta 71

Figura 13. Aplicación de biosólidos al cultivo de brócoli 71

Figura 14. Cultivo de brócoli al día 45 después del trasplante 72

Figura 15. Etapa inicial de la formación de la pella 73

Figura 16. Brócoli en estado de madurez comercial 73

Figura 17. Cosecha-etapa final del ciclo de cultivo 73

Figura 18. Toma de datos de la producción de biomasa en peso fresco 73

Figura 19. Toma de datos de diámetro ecuatorial de la pella 73

Figura 20. Toma de datos del peso de la pella 73



INTRODUCCIÓN

El brócoli es uno de los productos agrícolas con mayor demanda esto debido a la evolución de los estilos de vida de las personas que prefieren consumir alimentos ricos en nutrientes, beneficiosos para la salud ya que previenen enfermedades debido a su alto aporte de minerales, proteínas y nutrientes, además, es fuente de calcio y fósforo (Álava y Vélez 2021). El brócoli es una hortaliza que se asienta en zonas con climas templados y en suelos ricos en materia orgánica (Maldonado Montalvo et al. 2017).

A nivel mundial, el consumo de este tipo de plantas per cápita es de 105 kg en promedio, aunque en China el consumo bordea los 300 kg per cápita (Sánchez et al. 2020). El grado de comercialización del brócoli en el mercado mundial comparado con otros productos no tradicionales ha aumentado; los principales destinos de esta hortaliza son Japón, Estados Unidos y la Unión Europea (Álvarez Munárriz y Álvarez De Luis 2009).

En la actualidad, el brócoli es la hortaliza que más se cultiva en el Ecuador principalmente para su exportación (Álvarez et al. 2014). La mayor procesadora y exportadora de brócoli en el Ecuador es la compañía Provefrut con un 60% de participación a nivel nacional (EL PRUCTOR 2022).

A pesar de su gran importancia, el cultivo de brócoli al igual que otros cultivos se ha visto afectado por el uso excesivo e irracional de fertilizantes químicos. Estos ponen en riesgo por la posible contaminación del suelo y por ende la salud del consumidor, una alternativa ecológica y sostenible es el uso de biosólidos de origen acuícola.

El cultivo acuícola de trucha y tilapia es considerado una alternativa económica y turística para comunidades en muchos casos impulsados por el apoyo de MAGAP pequeños y medianos acuicultores se dedican a esta actividad. En la provincia de Cotopaxi los cantones donde se realiza esta actividad es en Latacunga, Pujilí, Sigchos, Pangua, Salcedo y Saquisilí. Donde al finalizar la cosecha de dichos peces los estanques son vaciados y preparados para un nuevo cultivo. Los residuos biosólidos o conocidos comúnmente como lodos residuales acumulados en el fondo de los estanques son eliminados sin tener en cuenta que estos pueden ser aprovechados por sus grandes beneficios.

Los biosólidos de origen piscícola son sedimentos que se acumulan en el fondo del estanque, son resultantes de factores tanto externos como internos, están formados principalmente por material fecal de los peces y restos de alimento. Los biosólidos son una fuente de nutrientes esenciales para las plantas como nitrógeno, fósforo, boro, calcio, azufre (González Acosta 2015). Además, poseen un alto contenido de materia orgánica, lo que mejora las condiciones del suelo en relación con la fertilización y la promoción de actividad microbiana. Los biosólidos se podrían aplicar en suelos degradados, preservando y mejorando sus características, evitando su deterioro (González Acosta 2012).

El cultivo de brócoli requiere de dosis altas de fertilizantes químicos. Por lo que es imperativa la búsqueda de nuevos métodos de producción orgánica y económicamente sustentables, para proteger el ambiente y la salud de los consumidores (Coello Torres 2014). Por esta razón, los residuos biosólidos de piscicultura presentan un interesante potencial como fertilizante orgánico. Es por ello que el objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de la aplicación de biosólidos del cultivo de trucha y tilapia, sobre las principales variables de crecimiento, producción y rendimiento del brócoli (*Brassica oleracea var. italica*). Su importancia radica en brindar una nueva tecnología para que los pequeños y medianos productores piscícolas puedan aprovechar y optimizar los sedimentos de sus piscifactorías.



CAPÍTULO I.

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema científico

El brócoli a pesar de ser el producto con mayor demanda debido a las características nutritivas y medicinales que este vegetal posee, se han reportado problemas relacionados con el uso excesivo de los agroquímicos que se utiliza para su producción. Mientras que los biosólidos de origen piscícola acumulados en las diferentes etapas del cultivo piscícola son necesarios eliminar de los estanques ya que afectan la calidad de agua y por ende la producción. En el Ecuador tradicionalmente estos residuos no son utilizados, siendo eliminados y depositados en ríos, esteros y/o terrenos abiertos, convirtiéndose así en un foco de infección, que perjudicar la salud ambiental y humana. Los productores piscícolas por el desconocimiento no aprovechan las ventajas que los biosólidos resultantes de sus piscifactorías pueden tener para los suelos como para los cultivos agrícolas, pues la aplicación de estos sedimentos en el suelo después de ser sanitizados evidencia efectos positivos sobre las propiedades físicas y químicas de los mismos. Además, pueden constituir una fuente de nutrimentos y materia orgánica alternativa a otros insumos utilizados tradicionalmente como abonos dentro del cultivo de brócoli.

1.2. Hipótesis

Los Biosólidos resultantes del cultivo de trucha y tilapia aplicados como abono orgánico tendrán efectos positivos sobre la respuesta agronómica y productiva del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea var. italica*) como una alternativa amigable en la agricultura.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

- » Evaluar el efecto de biosólidos del cultivo de trucha y tilapia como abono orgánico sobre la respuesta agronómica del brócoli (*Brassica oleracea var. Itálica*).

1.3.2. Objetivos Específicos

- » Analizar las características físico-químicas de los biosólidos provenientes del cultivo de trucha y tilapia.
- » Caracterizar y cuantificar microbiológicamente las colonias asociadas a los biosólidos del cultivo trucha y tilapia.
- » Analizar los parámetros agronómicos y de rendimiento del cultivo de brócoli utilizando biosólidos del cultivo trucha y tilapia como abono.
- » Determinar la utilidad económica del uso de biosólidos en el cultivo de brócoli.



CAPÍTULO II.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

II. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

2.1. El cultivo de brócoli

2.1.1. Importancia del cultivo en el Ecuador

El brócoli es una de las hortalizas más cotizadas a nivel mundial, y actualmente Ecuador es el principal exportador en Sudamérica. El brócoli se encuentra dentro de los 25 productos principales no petroleros de exportación a Estados Unidos. Se estima que más del 90% de la producción de brócoli nacional se destina para la exportación, contribuyendo de manera importante a las exportaciones de productos primarios no tradicionales (Sánchez et al. 2020).

En el Ecuador, el cultivo del brócoli es un producto que dinamiza la economía del país generando empleo principalmente en las provincias productoras de esta hortaliza son; Cotopaxi, Chimborazo, Tungurahua, Imbabura y Pichincha. En estos lugares, en los últimos años, se ha venido incrementando las superficies de siembra, debido al aumento de la demanda en los mercados nacionales e internacionales (Álava y Vélez 2021).

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO por sus siglas en inglés, la producción de brócoli a nivel mundial en 2018 fue de 37.241.388 toneladas, de las cuales, el 81% se concentra en tres países, China, China continental e India; México ocupa el quinto lugar con el 2% y Ecuador el veintitresavo puesto con 0,29%. A nivel provincial, Cotopaxi produce casi el 90% de brócoli en todo el país, apenas el 4,7% le corresponde a Chimborazo y el 2,6% a Tungurahua, le siguen Imbabura, Pichincha, Azuay y Loja (Sánchez et al. 2020).

2.1.2. Generalidades

El brócoli *Brassica oleracea* L. var. *Itálica* es una típica hortaliza con alto valor nutricional que se adapta bien en algunas regiones cabe mencionar que la parte comestible de esta hortaliza es una inflorescencia inmadura (Zamora 2016).

La planta de brócoli es anual, de 0.60 a 1 m de altura, produce una cabeza principal (pella) compacta de 15 cm de diámetro, la cual es una agrupación de flores inmaduras. Las cabezas son de color verde de varias tonalidades además existen también variedades de brócoli cuyas cabezas son de color purpura y de distintas formas la cabeza principal o pella se forma en la parte central asentada en el tallo de la planta y al ser cosechada surgen pellas secundarias laterales de diámetros más chicos e irregulares que las cabezas de la primera cosecha y las cuales pudieran representar 3 o más cosechas de buena calidad (Zamora 2016). Entre los híbridos y variedades que predominan están Avenger, Domador, Steel, Legacy y Marathon, debido principalmente a las condiciones de adaptabilidad a los factores climáticos y a su nivel de producción (Álava y Vélez 2021).

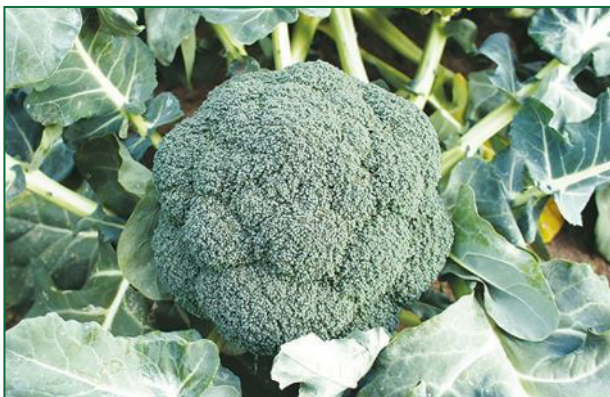


Figura 1. Detalle de una cabeza o pella principal (inflorescencia inmadura) de brócoli Avenger lista para ser cosechada.

Fuente: (SAKATA 2020).

2.1.3. Particularidades del cultivo

2.1.3.1. Elección y preparación del terreno

El terreno no debe haber sido sembrado con brócoli u otras crucíferas de manera consecutiva; se recomienda que antes de utilizar el mismo terreno en más de una oportunidad, es conveniente rotar con otros cultivos como maíz y leguminosas, además, el terreno debe estar libre de malezas, próximo a una fuente de agua de calidad y protegido de condiciones ambientales adversas y finalmente la preparación del terreno debe incluir una buena nivelación y mullimiento del suelo (Toledo 2003).

2.1.3.2. Siembra

El brócoli se siembra en semillero o bandejas de germinación en una base de sustrato mientras que la semilla se cubre ligeramente con una capa de tierra de 1-1.5 cm y con riegos frecuentes para conseguir una planta desarrolla en unos 45-55 días (Infoagro s. f.).

2.1.3.3. Trasplante

Esta actividad consiste en depositar las plántulas en el suelo, ya sea de forma manual o mecanizada, para que las plántulas estén listas para ir a campo, deben cumplir con estas características: tamaño de 15 a 20cm; y de 6 a 8 hojas verdaderas; esto ocurrirá a partir de los 35 días después de la emergencia de las plántulas, la distancia entre surcos es de 60 a 90 cm y entre plantas 30 a 40 cm (Gutierrez s. f.).

2.1.3.4. Riego

Para el sistema de trasplante es necesario tener suficiente agua, esto asegura el 90% de prendimiento. Para riegos posteriores se recomiendan láminas ligeras tomando en cuenta las condiciones del terreno y la

disponibilidad de agua. Con la finalidad de realizar un mejor manejo del agua y el fertilizante se recomienda el empleo de riego por goteo, empleando cintilla calibre 3000 con goteros a cada 10 cm (Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal (ICAMEX) s. f.).

2.1.3.5. Fertilización

Un adecuado abastecimiento de nutrientes es indispensable para lograr una buena cosecha de calidad exportable. En tal sentido, la determinación de la dosis de fertilización más conveniente para el cultivo debe basarse en los resultados de un análisis de suelo. La literatura correspondiente a dosis de fertilización recomendadas indica valores de 100-120 kg de N/ha y 50-80 kg de P₂₀₅/ha; mientras que el potasio sólo debe aplicarse en caso de necesidad comprobada (Toledo 2003).

2.1.3.5.1. Tiempo de fertilización

Se debe realizar la Primera fertilización al momento del trasplante, a los 30 días posteriores al trasplante se realiza una 2ª fertilización, con la fórmula y a los 60 días la 3ª y última fertilización.

2.1.3.6. Cosecha

Esto depende de la variedad empleada ya que hay variedades que su ciclo es de 60 hasta los 90 días después del trasplante.

2.2. La Agroecología

2.2.1. Definición

La agroecología se define como la aplicación de conceptos y principios ecológicos para el diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles. La agroecología provee el conocimiento y metodología necesarios para

desarrollar una agricultura que sea ambientalmente adecuada, altamente productiva y económicamente viable (Gliessman 2002).

La Agroecología aprovecha los procesos naturales de las interacciones que se producen en la finca con el fin de reducir el uso de insumos externos y mejorar la eficiencia biológica de los sistemas de cultivo. Esto se logra mediante la ampliación de la biodiversidad funcional de los agroecosistemas, condición esencial para el mantenimiento de los procesos inmunes, metabólicos y reguladores en el funcionamiento del agroecosistema (Sarandón y Flores 2014).

Una de las alternativas promisorias para detener el colapso ambiental y de las civilizaciones es la disciplina de la Agroecología o sea la Agricultura Ecológica, agricultura en armonía y equilibrio óptimo con el ambiente, ésta comprende todas las actividades del sector rural (Agricultura, Ganadería, Silvicultura y otras más) vistas como un todo integrado para optimizar las producciones sin perjudicar el ambiente sino que restaurarlo y mejorarlo para así lograr Sustentabilidad intergeneracional para beneficio de tod@s y de todo lo que existe (Picado 2005).

2.2.2. La agroecología y la seguridad alimentaria

Nuestro sistema alimentario global se encuentra en una encrucijada: la agricultura debe hacer frente a los desafíos del hambre y la malnutrición en un contexto de crecimiento demográfico; mayor presión sobre los recursos naturales, en especial sobre los suelos y el agua; pérdida de biodiversidad, e incertidumbres relacionadas con el cambio climático. Mientras que en el pasado los esfuerzos se centraron en el fomento de la producción agrícola para producir más alimentos, los desafíos actuales, entre ellos el cambio climático, exigen un nuevo enfoque. Debemos orientarnos hacia sistemas alimentarios más sostenibles – sistemas alimentarios que produzcan más, con menor costo ambiental (FAO 2014).

La agroecología brinda la posibilidad de soluciones que benefician a todos. Al crear sinergias, puede aumentar la producción de alimentos y la seguridad alimentaria y nutrición, mientras restablece los servicios ecosistémicos y la biodiversidad, que son esenciales para la producción agrícola sostenible (FAO 2014).

La adopción de prácticas agroecológicas permite optimizar el uso del terreno para cultivo, mediante la diversificación y el uso de abonos orgánicos provenientes del mismo sistema productivo (Quispe Conde et al. 2022).

2.2.3. Abonos orgánicos en la agricultura sostenible

Dada la necesidad de aumentar los rendimientos de los cultivos agrícolas para la alimentación humana, así como la disminución del uso de agroquímicos potencialmente perjudiciales para la salud y el ambiente a largo plazo; las investigaciones se han orientado hacia el desarrollo de nuevas tecnologías más amigables para sanear los efectos negativos derivados del uso excesivo de fertilizantes sintéticos, siendo los residuos producidos por diversas actividades, ya sean agrícolas, forestales, industriales o domésticas, una alternativa en la producción de abonos orgánicos (Ramos Agüero y Terry Alfonso 2014).

Los abonos orgánicos son una importante alternativa de fertilización edáfica ya que suplen las necesidades biológicas del suelo, poseen propiedades fisicoquímicas que mejoran e incrementan la producción de cultivos, generan resistencia a enfermedades y plagas en los mismos y además son de fácil elaboración pues pueden ser producidos a nivel de finca (Arango 2017).

El aprovechamiento de estos residuos orgánicos cobra cada día mayor interés como medio eficiente de reciclaje racional de nutrientes, que ayuda al crecimiento de las plantas y devuelven al suelo muchos de los

elementos extraídos durante el proceso productivo (Ramos Agüero y Terry Alfonso 2014). Dentro del grupo de fertilizantes de origen natural tenemos a los biosólidos como fuente importante de nutrientes que puedes ser aprovechados en el campo agrícola.

2.3. Los Biosólidos

Los biosólidos son un producto originado después de un proceso de estabilización de lodos orgánicos provenientes del tratamiento de las aguas residuales. La estabilización se realiza para reducir su nivel de patogenicidad, su poder de fermentación y su capacidad de atracción de vectores. Gracias a este proceso, el biosólido tiene aptitud para utilización agrícola y forestal, y para la recuperación de suelos degradados (Dáguer G s. f.).

Los biosólidos son principalmente materiales orgánicos producidos durante el tratamiento de aguas residuales por medio de biodegradación los cuales pueden ser utilizados en diversos usos beneficiosos. Los biosólidos se pueden utilizar en terrenos agrícolas, bosques, campos de pastoreo o en terrenos alterados que necesiten recuperación (Bueno Zamora 2015).

Según la NOM-004-SEMARNAT-2002 (2002) los biosólidos son lodos que han sido sometidos a procesos de estabilización y que por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, puedan ser susceptibles de aprovechamiento.

La Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés)/625/R-92/013 (2003) menciona que los biosólidos son lodos de depuradora que han sido tratados y cumple con las normas estatales y federales para la aplicación en tierra.

La disposición de los biosólidos a través de la aplicación al terreno tiene varios propósitos. mejoran las características del suelo, tales como la textura y la capacidad de absorción de agua que a su vez brindan condiciones más favorables para el crecimiento de las raíces e incrementan la tolerancia de la vegetación a las sequías. La aplicación de biosólidos también provee nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, incluyendo el nitrógeno y el fósforo, así como algunos micronutrientes esenciales, tales como el Níquel, el Zinc y el Cobre. Los biosólidos pueden servir también como una alternativa o sustitutos o complementos de los fertilizantes químicos (Bueno Zamora 2015).

2.3.1. Biosólidos de piscicultura generalidades

Los lodos o biosólidos de piscicultura son residuos de un proceso de producción, que involucra organismos vivos y está sujeto por lo tanto a una serie de factores que inciden sobre su composición final. Como ya se señaló anteriormente, los lodos son el resultado de la producción de heces de los peces, además de los restos de alimento no consumido, y de otros elementos utilizados eventualmente en el proceso (sal, cal, productos farmacológicos, etc.). Desde el punto de vista nutricional, sin embargo, las fecas y restos de alimento serán indudablemente los determinantes principales de la composición final del lodo (Hepp K. 2012).

La composición del lodo dependerá de la fase de producción en la piscicultura y tipo de alimento utilizado (ej. contenido de proteína, digestibilidad), del manejo de alimentación (eficiencia del mismo y el porcentaje de pérdidas), e incluso del tipo de piscicultura (Hepp K. 2012).

2.3.2. Aplicación en terrenos de uso agrícola o paisajístico

La regulación establece criterios para la aplicación de biosólidos sobre terrenos agrícolas o paisajísticos, denominados de ahora en adelante como terrenos de uso agrícola. Para ello, define los límites de concentración máxima del contaminante (PCC, Pollutant Ceiling Concentration en inglés), los cuales especifican los requisitos mínimos establecidos por la EPA (Tabla 1) que se deben cumplir de contenido de metales en los biosólidos antes de ser aplicados o dispuestos (ETAPA EP (Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable y Alcantarillado, Cuenca) 2019).

Tabla 1. Límites permisibles de patógenos en biosólidos.

CLASE	Indicador o Patógeno	Límites de Densidad Estándar (en peso seco)	Usos
CLASE A	Salmonella	<3 NMP / 4g de biosólidos totales	Aplicación en tierra y disposición en superficie
	Coliformes Fecales	<1000 NMP /g	Aplicación en tierra y disposición en superficie
	Virus Entéricos	<1 UFP / 4g de sólidos totales	Aplicación en tierra y disposición en superficie
	Huevos de Helmintos	< 1 / 4g de sólidos totales	Aplicación en tierra y disposición en superficie
CLASE B	Densidad de Coliformes Fecales	<2'000.000 NMP /g de sólidos totales (peso seco)	Aplicación en tierra y disposición en superficie

NMP = Número más probable

UFP = Unidad formadora de Placa

Fuente: US EPA 1994 citado por (ETAPA EP (Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable y Alcantarillado, Cuenca) 2019).

2.3.3. Calidad de los Biosólidos

Según Quinchía y Carmona (2004), la calidad de los biosólidos se establece basada en la concentración de metales pesados y en el contenido de organismos patógenos de la siguiente manera:

2.3.3.1. Clasificación del biosólido según la concentración de metales pesados

Los biosólidos se clasifican en tipo excelente y bueno en función de su contenido de metales pesados tabla 2.

Tabla 2. Límites máximos permisible para metales pesados en biosólidos

Contaminante	EXCELENTES	BUENOS
	mg/kg en base seca	mg/kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2800	7500

Fuente = (NOM-004-SEMARNAT-2002 2002).

2.3.3.2. Clasificación del biosólido según el contenido de patógenos y parásitos

Según la EPA/625/R-92/013 (2003), con base en criterios microbiológicos los biosólidos se pueden clasificar en:

Lodo residual clase A: es un biosólido cuyo contenido de patógenos está por debajo de niveles detectables y puede ser aplicado al suelo sin restricciones de patógenos. La densidad de coliformes fecales puede ser menor que 1000 número más probable por gramo sólidos totales, base seca (NMP/g). O la densidad de la bacteria *Salmonella* sp puede ser menor que 3 NMP/4 g sólidos totales, base seca.

Lodo residual clase B: Es un material que posee microorganismos patógenos, pero permite garantizar que el contenido de patógenos se reduce a un nivel tolerable en condiciones específicas de uso que minimicen el potencial de contacto de los patógenos con humanos o animales.

Sin embargo, de acuerdo con la NOM-004-SEMARNAT-2002 (2002), los biosólidos se clasifican en clase: A, B y C en función de su contenido de patógenos y parásitos lo que se presenta en la tabla 3.

Tabla 3. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en biosólidos

CLASE	Indicador biológico de la contaminación	Patógenos	Parásitos
	Coliformes fecales NMP ^(b) /g en base seca	<i>Salmonella</i> spp. NMP/g en base seca	Huevos de Helmintos/g en base seca
A	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 1 ^(a)
B	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2000000	Menor de 300	Menor de 35

(a) Huevos de helmintos viables

(b) NMP número más probable

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002

2.3.4. Beneficios de la aplicación de biosólido como fertilizantes en tierra o suelo

Según el DEP (Florida Department of Environmental Protection) s. f.):

- Los biosólidos pueden reponer la materia orgánica del suelo que se ha agotado.
- Los biosólidos proporcionan nitrógeno, fósforo y potasio, los nutrientes clave que las plantas necesitan para desarrollarse, así como oligoelementos beneficiosos como el calcio y el magnesio, que normalmente no se encuentran en los fertilizantes químicos.
- El nitrógeno y el fósforo orgánicos de liberación lenta de los biosólidos son absorbidos por los cultivos más eficazmente que los fertilizantes químicos.
- Los nutrientes orgánicos son menos solubles en agua y, por tanto, es menos probable que los fertilizantes químicos se filtren a las aguas subterráneas. Los biosólidos mantienen los nutrientes cerca de las raíces, donde las plantas los necesitan.

2.3.5. Beneficios medioambientales de los biosólidos

De acuerdo a la página web del DISTRITO DE AGUAS RESIDUALES DEL ÁREA DE CARMEL (2022) los biosólidos son muy versátiles y tienen una amplia gama de usos en todo el mundo:

- **Mejora del rendimiento de los cultivos.** El reciclaje de biosólidos mejora la calidad del suelo y la salud de los cultivos y aumenta su rendimiento. Los biosólidos son muy ricos en nitrógeno.
- **Reducción de la producción de fertilizantes.** El uso de biosólidos reduce la necesidad de utilizar nitrógeno comercial, cuya fabricación requiere enormes cantidades de energía.
- **Mejora de la calidad del suelo.** La capacidad de absorber y almacenar la humedad mejora con el uso de biosólidos, reduciendo

las necesidades de riego y proporcionando una resistencia natural a la sequía del suelo.

- **Tierras restauradas.** La restauración de las zonas deforestadas, las minas abiertas y las tierras despojadas se acelera mediante la adición de biosólidos para sustituir la materia orgánica natural que normalmente se encuentra en el suelo no alterado.
- **Reducción de los gases de efecto invernadero.** Los biosólidos reducen las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al secuestrar (almacenar) el carbono en el suelo y retrasar así la liberación de dióxido de carbono de la materia orgánica en descomposición.
- **Fuente de combustible alternativa.** Los biosólidos, si se secan más y se peletizan, pueden quemarse para calentar hornos de cemento o alimentar centrales eléctricas de biomasa.
- **Producción de electricidad.** La digestión anaeróbica, utilizada en el tratamiento de casi todos los biosólidos, produce metano que, a su vez, se utiliza como fuente de energía para las operaciones de la planta de tratamiento. El exceso de energía también puede venderse a la red.
- **Cubierta del vertedero.** Los biosólidos pueden utilizarse en los vertederos para cubrir la basura al final de cada día. Esto reduce la necesidad de utilizar tierra limpia o residuos verdes (vegetales) que, de otro modo, podrían compostarse.

2.3.6. Estabilización de lodos o biosólidos

Dentro de la línea de lodos existen variados procesos de tratamiento que se combinan para obtener un producto apto para su disposición final. Estos procesos están enfocados a dos aspectos fundamentales: (1) reducción de volumen y peso mediante la eliminación de agua, para ello los principales métodos empleados son el espesamiento, desaguado y secado; (2) reducción del poder de fermentación o estabilización que consiste en reducirla actividad biológica contenida en el lodo así como el

contenido de microorganismos patógenos causantes de enfermedades, algunos métodos para ello son la estabilización con cal, tratamiento térmico, digestión anaerobia, digestión aerobia y compostaje (Metcalf y Eddy 1995, como se citó Párraga Cedeño 2016).

Los procesos de estabilización se dividen en:

2.3.6.1. Estabilización biológica

Es la estabilización de los lodos mediante la conversión de la fracción volátil a metano o dióxido de carbono, según la vía aplicada, por medio de la acción de microorganismos, principalmente bacterias; existen tres tipos principales de procesos biológicos para la estabilización (Metcalf & Eddy, 2003, como se citó en Párraga Cedeño 2016).

2.3.6.2. Estabilización aeróbica

Proceso biológico en el que, por acción microbiológica, se oxida MO, mediante un aporte de oxígeno en los digestores abiertos. De este modo se reduce la masa final del lodo, modificándolo para adecuarlo a procesos posteriores (Rivero 2017).

2.3.6.3. Estabilización anaeróbica

Es uno de los métodos más comunes para la estabilización de lodos. Consiste en la degradación de la MO, por la acción de en ausencia de oxígeno, liberando energía, metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O), gracias a la acción de algunos tipos de bacterias (Rivero 2017).

2.3.6.4. Compostaje

Se trata de un proceso de descomposición biológica y estabilización de MO en condiciones controladas y aeróbicas, desarrollando temperaturas termófilas, producto del calor generado biológicamente. El resultado

es un producto estable y libre de patógenos. La MO se descompone en CO₂, agua, minerales y MO estabilizada (Rivero 2017).

2.3.7. Estabilización química

Es una alternativa a la estabilización biológica para el tratamiento de lodos. El objetivo de este tipo de estabilización es la de reducir o minimizar los patógenos y reducir sustancialmente los microorganismos capaces de producir olores (Rivero 2017).

2.3.7.1. Estabilización con cal

El producto aplicado mayoritariamente es la cal. Se añade al lodo a la dosis adecuada para mantener el pH a 12 durante el tiempo suficiente (mínimo 2 h) para eliminar o reducir los microorganismos patógenos y los responsables de los olores (Rivero 2017).

Durante el proceso de tratamiento de lodos mediante cal viva es necesario mantener el pH por arriba de 12, por un tiempo mínimo de 2 horas, para asegurarse la destrucción de los patógenos y proporcionar la suficiente alcalinidad residual para que el pH no descienda a menos de 11. Permitiendo, así, el tiempo suficiente para almacenamiento o disposición del lodo estabilizado. La cantidad de cal necesaria para estabilizar el lodo está determinada por el tiempo del mismo, su composición química y la concentración de sólidos. A grosso modo, el rango va desde el 6 hasta el 51%. Teniendo en cuenta que los lodos primarios son los que menos cantidad de cal requieren y los lodos activados los que mayor cantidad emplean (Rivero 2017).

2.3.7.2. Oxidación con cloro

Se incorpora una dosis alta de cloro al lodo a tratar. Se lleva a cabo en reactores cerrados y se necesitan periodos de retención cortos. Por ahora este sistema no está extendido a nivel industrial (Rivero 2017).

2.3.8. Normativa para el uso de los biosólidos

Actualmente en el Ecuador, no se cuenta con normativa para lodos residuales que controle los límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. En este sentido, se debe adoptar una normativa internacional que la Autoridad Ambiental Nacional considere aplicable (Gualoto 2016).

Normas como la CFR 40 PARTE 503 “Normas para el Uso o Eliminación de Lodos Residuales” de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) y la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, están siendo aplicadas en el país (Gualoto 2016).

2.4. Antecedentes

Se han desarrollado diversos trabajos utilizando biosólidos en la agricultura por ejemplo Celis et al (2008) en su estudio titulado “Respuesta de las plantas a los residuos de salmón y a los lodos de depuradora utilizados como abono orgánico en dos suelos degradados en condiciones de invernadero”, evaluadas mediante una batería de pruebas realizadas con lechuga (*Lactuca sativa* L.) y ryegrass anual (*Lolium multiflorum* Lam.) cv. Winter Star. en un suelo patagónico (crioflúcido andino) y en un suelo granítico (Palexeralf ústico). Concluyen que los lodos de depuradora y los residuos de salmón tenían un alto contenido en materia orgánica (>45% y 15%, respectivamente) y la concentración de macro y micronutrientes era elevada, especialmente en el caso de los

lodos de depuradora. El rendimiento anual de la lechuga indicó que tanto los lodos de depuradora, como los residuos de la cría de salmón o los residuos de salmón de lago pueden aplicarse con éxito en el suelo patagónico (Entisol) en dosis de 25, 50, 75, 100 o 150 t ha⁻¹. En los suelos graníticos (Alfisol) sólo pueden aplicarse con éxito los lodos lacustres en dosis de 25, 50, 75, 100 o 150 t ha⁻¹.

Dufault et al (2001) mediante su investigación titulada “Potencial de los biosólidos de la acuicultura del camarón como fertilizante para la producción de brócoli”, llevó a cabo una investigación de campo para evaluar el potencial del biosólidos de camarón (SB por sus siglas en inglés) como fuente de fertilizante utilizado con y sin una fuente de fertilizante inorgánico (Osmocote 14N - 6P - 12K) para cultivar brócoli (*Brassica oleracea italica*), donde el rendimiento de cabezas comercializables/ha varió con las proporciones de SB/Osmocote (OSM). El OSM a 75 kg/ha en combinación con 9,0 MT SB/ha incrementó significativamente las cabezas/ha en comparación con dosis menores de cada fuente de fertilizante. Además, mencionan que los biosólidos de acuicultura deberían tener pocas restricciones ya que no contienen patógenos humanos, metales pesados u otras sustancias peligrosas.

Así mismo Medina (2017) en su estudio titulado “Optimización del sistema de manejo de biosólidos producidos en los cultivos de trucha en estanque” menciona que los análisis de elementos químicos en los biosólidos mostraron alto contenido de P y K, y relata que estos mitigarían el uso de fertilizantes sintéticos y por ende traería un beneficio económico, siempre y cuando se haga un estudio de cómo aplicarlos, más sin embargo los análisis de metales son los totales y las plantas solo se alimentan de los cationes disponibles, por lo que es necesario realizar un análisis de dicha composición desde el punto de vista agrícola.

Alonso et al (2018) evaluaron sustratos con diferentes proporciones de biosólidos y fibra de coco que variaban entre el 25 y el 100% de biosólidos y el 75 y el 0% de fibra de coco en el crecimiento y la calidad de plántulas de *Ceiba speciosa* e indican que cuanto mayor era la proporción de biosólidos en el sustrato, mayores eran el crecimiento, la biomasa y la calidad de las plántulas, por lo tanto menciona que teniendo en cuenta los resultados positivos y la posibilidad de reciclar los biosólidos, se recomienda el uso de sustratos que contengan del 50 al 100% de biosólidos para producir plántulas de *Ceiba speciosa*.

En un estudio realizado en Cuba por Utria et al (2007) titulado “Aplicación de biosólidos en el cultivo de plántulas de tomate”, con el objetivo de evaluar la respuesta de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) a la aplicación de biosólidos en un suelo Ferralítico Rojo compactado, se condujo un experimento en macetas. Los tratamientos estudiados fueron: S, suelo natural; F, suelo tratado con fertilizante mineral y B, suelo tratado con 135 g biosólidos.kg-1 de suelo. Las variables estudiadas fueron: superficie foliar, altura de las plántulas, diámetro del tallo, longitud radical, masa seca por órganos y total de las plántulas. Señalan que las plántulas respondieron positivamente a la aplicación de biosólidos, ya que se observó un evidente incremento en las magnitudes de todas las variables evaluadas, y por ende indican que estos residuos tienen potencialidades para ser utilizados en sistemas de producción de plántulas en cultivos que necesiten ser llevados al campo después de una fase de semillero.

Por otro lado, Ozores-Hampton y Mendez (2010) en su artículo “Uso de Biosólidos en Producción de Hortalizas” mencionan que los biosólidos cuando son tratados y manejados apropiadamente de acuerdo a las regulaciones y estándares estatales y federales existentes, son seguros para el medio ambiente y la salud humana. La aplicación de biosólidos en la producción de hortalizas, como enmiendas orgánicas en los suelos, puede incrementar el crecimiento de la planta y producir

rendimientos comparables con cantidades menores de nutrientes inorgánicos. Sin embargo, mencionan que no existe una determinada dosis de aplicación de biosólidos a cultivos que sea capaz de producir los mismos rendimientos de un fertilizante comercial sintéticos, pero los biosólidos pueden ser usados en conjunto con fertilizantes disminuyendo así la dosis de aplicación requerida.

Araújo da Silva (2017) en su trabajo investigativo titulado “Reutilización de los residuos orgánicos de la piscicultura como acondicionamiento del suelo en la región semiárida” menciona que, con el objetivo de utilizar los lodos en la producción de hortalizas, se realizó un experimento de 35 días en un invernadero para evaluar el uso potencial de los lodos en la producción de lechuga crujiente. Los lodos se incorporaron a un suelo (capa de 0-20 cm) en niveles del 25, 50 y 75%, evaluándose también el uso exclusivo de suelo (0%) o de lodos (100%) como sustrato. El diseño experimental fue en bloques al azar con cinco repeticiones por tratamiento, cada repetición estaba compuesta por tres macetas con una planta cada una. Se evaluaron los pesos natural y seco, el diámetro del tallo y la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en la parte aérea de la planta. En la cosecha de lechuga, la mayor producción de masa seca de la parte aérea se alcanzó con el nivel de inclusión de lodos del 75%. Los resultados indicaron que los lodos de piscicultura tienen un valor fertilizante razonable y pueden utilizarse como acondicionador del suelo.

Así mismo, Celis et al (2006) en su trabajo de investigación titulado “Efecto de la adición de biosólidos urbanos y de salmonicultura sobre la germinación de semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un suelo patagónico” analizaron los efectos sobre la germinación de semillas de lechuga como consecuencia de la aplicación de este tipo de biosólidos orgánicos en un suelo Andic cryofluvents degradado patagónico. Los tratamientos de biosólidos que se adicionaron al suelo fueron: lodo urbano (BU), biosólido de piscicultura (BP) y biosólido de

salmonicultura en lago (BL) a diferentes tasas: 25, 50, 75, 100 y 150 Mg ha⁻¹. Se usó un testigo, consistente en suelo sin adición. Los bioensayos en lechuga (*Lactuca sativa* L.) fueron el índice de germinación (IG), la longitud de la radícula y desarrollo del hipocótilo. Los resultados indicaron que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los biosólidos, donde los más altos valores de IG, crecimiento de radícula e hipocótilo fueron para BL, seguido por BP. Por el contrario, BU siempre estuvo por debajo del testigo (aunque con un IG > 80%), donde la tasa de aplicación de 150 Mg ha⁻¹ resultó con el menor valor bioindicador y el desarrollo del hipocótilo no fue observado.

Sipion Verastegui y Soto Curi (2021) en su investigación titulada “Uso de fertilizante orgánico a base de lodos de piscicultura para mejorar la aptitud de los suelos agrícolas en la provincia de Oyón-Lima 2021” que tuvo como objetivo determinar la mejora de la aptitud de los suelos agrícolas en la Provincia de Oyón aplicando fertilizante orgánico a base de lodos de piscicultura. Teniendo en cuenta las características físicas, químicas y biológicas del suelo de la provincia de Oyón, estos carecen de las condiciones y propiedades necesarias para desarrollar agricultura, razón por la que, se busca dar una alternativa ante esta problemática. La investigación corresponde a un estudio aplicado, con enfoque cuantitativo y diseño experimental puro. Los resultados mostraron que, en las parcelas experimentales de 1 m², la dosis que se aplicó de fertilizantes orgánicos en las parcelas fue de 600, 1200 y 1800 g, mientras que la frecuencia de fueron de 10, 15 y 30 días. La dosis ideal de fertilizante orgánico fue de 1200 g, está presentó mejores resultados en cuanto a su capacidad de agregación, concentración de nutrientes, minerales y propiedades coloidales del suelo; en comparación con las otras dosis de 600 g y 1800 g. La frecuencia óptima para aplicar el fertilizante orgánico a base de residuos vegetales y lodos de piscicultura es una aplicación por cada 15 días para tener un mejor aprovechamiento del suelo. Además, mencionan que estos lodos tuvieron gran concentración de fósforo, potasio, sodio, zinc, hierro,

aluminio y otros metales importantes. A su vez se destacó que no hay evidencia de parásitos en la muestra de lodo crudo.

Párraga Cedeño (2016) en su investigación “Biosólidos provenientes de aguas residuales de una procesadora de pescado aplicados al cultivo de maíz (*zea mays* var. iniap-528) en la provincia de Manabí”, se emplearon cinco tratamientos: 100% Urea + 0% Biosólido, 70% Urea+30% Biosólidos, 30% Urea + 70% Biosólido, 0% Urea + 100% Biosólido, y el Testigo Absoluto sin Biosólido y sin Urea. Los datos se analizaron mediante el diseño experimental de Bloques Completos al Azar con tres repeticiones.

Las variables analizadas fueron: altura de planta, número de hojas, diámetro de tallo, ramificaciones de la espiga, diámetro de la mazorca, longitud de la mazorca y peso de la mazorca en estado lechoso. Donde concluye que el análisis químico determinó la presencia de materia orgánica, macro y micro elementos en concentraciones adecuadas. La presencia de metales pesados, Cadmio, Plomo y Mercurio, estuvo en concentraciones que no rebasaron los límites permisibles de la EPA (Environmental Protection Agency), por lo que los Biosólidos aplicados como abono orgánico solos y combinados, tienen efectos positivos sobre el desarrollo y rendimiento del maíz (*Zea mays* var. *Iniap-528*), por lo cual, menciona que el uso de Biosólidos en el campo agrícola, puede ser una alternativa de gestión al problema ambiental que genera la inadecuada disposición de los lodos residuales. Sin embargo, recomienda limitar el uso de los Biosólidos en el maíz u otros cultivos de consumo humano, ya que, aunque que los valores de metales pesados analizados se encuentran dentro de los límites permisibles, podría aumentar su presencia en el suelo y su disponibilidad.



CAPÍTULO III.

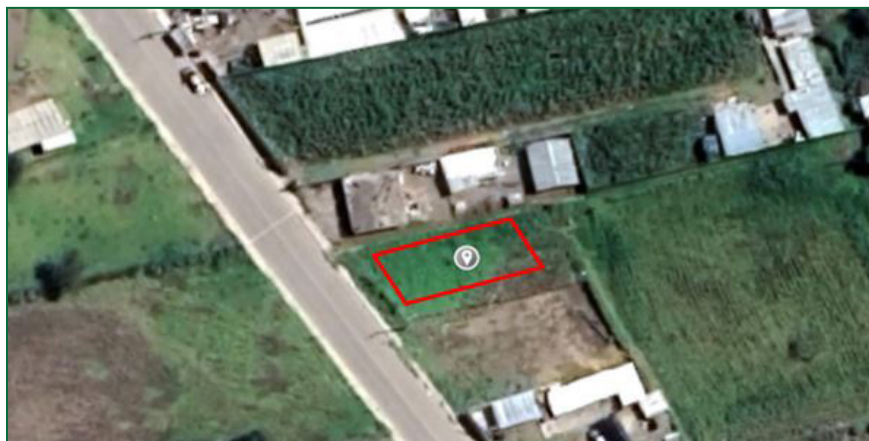
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del área de estudio

La investigación se desarrolló en condiciones de campo en el periodo marzo-agosto 2022 en el Barrio Loma Grande de la Parroquia Eloy Alfaro perteneciente al Cantón Latacunga (Ubicación geográfica WGS 84 Latitud $-0^{\circ}56'10.8''\text{S}$, Longitud $78^{\circ}37'49.0''\text{W}$).

Figura 2. Ubicación del Área de Estudio



Fuente. Google Maps (2022).

El clima de Latacunga se clasifica como cálido y templado. Latacunga tiene una cantidad significativa de lluvia durante el año. Esto es cierto incluso para el mes más seco. La temperatura promedio en Latacunga es 12.4°C , la temperatura máxima media anual: 18.2°C , temperatura mínima media anual: 6.7°C , con un alrededor de 1946 mm. de precipitación anual y Humedad media anual: 71.6% (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología 2021).

3.2. Diseño Metodológico

3.2.1. Factores de estudio

3.2.1.1. Factor A (Residuos sólidos)

R1: Residuos biosólidos de trucha.

R2: Residuos biosólidos de tilapia.

3.2.1.2. Factor B (Dosis)

D1: 25%

D2: 50%

D3: 75%

Testigo: Suelo natural

3.3. Diseño Experimental

El diseño que se utilizó en la investigación es el Diseño de bloques completamente al azar (DBCA), en arreglo factorial AXB donde A son los biosólidos y B las dosis de aplicación. Este trabajo se realizó con 7 tratamientos y 4 repeticiones (parcelas experimentales), las mismas que fueron de 2 m de largo y 1,20m de ancho, con una separación entre ellas de 0,5 m, la distancia entre surcos fue de 0,4 m y entre plantas de 0,3 m. Con una densidad de 20 plantas (UE) y 560 plantas en un área experimental de 147,74 m². La investigación se realizó en la etapa de campo (Cisneros 2022).

Tabla 4. Esquema del experimento.

Tratamientos	Descripción	Dosis	Repetición	Planta por UE	Total
T1	Suelo natural	0%	4	20	80
T2	Residuos biosólidos de trucha.	25%	4	20	80

T3	Residuos biosólidos de trucha.	50%	4	20	80
T4	Residuos biosólidos de trucha.	75%	4	20	80
T5	Residuos biosólidos de tilapia.	25%	4	20	80
T6	Residuos biosólidos de tilapia.	50%	4	20	80
T7	Residuos biosólidos de tilapia.	75%	4	20	80
TOTAL					560

UE= Unidad experimental

Variables Independientes:

- Tipo de biosólidos
- Dosis de biosólidos

Variables Independientes:

- Parámetros agronómicos y de rendimiento.
- Análisis económico.

3.4. Manejo del experimento
3.4.1. Obtención de los biosólidos de trucha y tilapia

Los biosólidos de trucha y tilapia fueron obtenidos en la granja de pesca deportiva San Nicolás, ubicados vía a Locoá barrio Zaragocín frente a la Central Hidroeléctrica Illuchi #2 en Latacunga, Ecuador y en la granja familiar del Sr. Francisco Pastuña, ubicado Guasaganda en el Recinto La Josefina, barrio Villaverde, perteneciente al Cantón La Maná, Ecuador.

3.4.2. Sanitación de los biosólidos

Siguiendo la metodología de Párraga Cedeño (2016); los biosólidos de trucha y tilapia colectados fueron mezclados con cal en dosis de 100 kg por tonelada, se homogenizó la mezcla, produciendo un incremento de temperatura y el pH a un nivel por encima de 12 unidades, haciendo desfavorable la actividad biológica de los microorganismos lo que provoca la reducción sustancial de microorganismos patógenos y de malos olores, además reduce la atracción potencial de vectores y de patógenos, posteriormente fueron expuestos a un tratamiento térmico mediante la radiación solar por 15 días.

3.4.3. Secado de Biosólidos

Los biosólidos de trucha y tilapia obtenidos en las diferentes granjas piscícolas fueron colocadas sobre una plancha de concreto con el fin de reducir el volumen de agua y lograr la sanitización y pulverizado.

3.4.4. Material vegetativo

El ensayo se realizó con la variedad de brócoli Avenger, las plántulas de esta hortaliza fueron obtenidas en la pilonera “Pilones la Victoria S.A. - Pilvicsa S.A” que son los principales proveedores de plántulas de brócoli para la industria de congelado de la provincia de Cotopaxi.

3.4.5. Análisis físico-químico de los biosólidos

Previo al establecimiento del ensayo, se realizó un análisis físico-químico del biosólidos de origen piscícola, basados en la metodología de González (2015) donde se evaluará el nitrógeno total, fósforo, potasio, pH, conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica y presencia de metales pesados. Para ello, se procedió a tomar 1kg de muestra de

los biosólidos, la misma que fue enviada al laboratorio de la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario (AGROCALIDAD).

3.4.6. Análisis microbiológicos de las bacterias asociadas a los biosólidos

De la misma manera, se realizó un análisis microbiológico para saber cuáles son las colonias asociadas. Para ello, se procedió a tomar 1kg de muestra de los biosólidos.

Los análisis microbiológicos incluyeron la determinación de coliformes totales, la cuantificación e identificación de *Escherichia coli* mediante el método de Numero Más Probable descrita por La NORMA TÉCNICA ECUATORIANA (NTE) INEN 1529-8 (2016) y el conteo de Hongos y Levaduras siguiendo la técnica de siembra por profundidad descrita por LA NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1529-10:2013 (2013).

3.4.7. Parámetros agronómicos y productivos del cultivo de brócoli utilizando biosólidos

3.4.7.1. Preparación del terreno, adecuación de las parcelas y surcos

Se procedió al labrado con azada del terreno y posteriormente al trazado de las parcelas utilizando la cinta métrica, estacas y piolas dividiendo el área en parcelas para cada tratamiento con sus respectivas repeticiones. En donde fueron cultivadas las plántulas de brócoli.

3.4.7.2. Trasplante del brócoli

El trasplante de las plántulas se realizó el 20 de julio de 2022, fue de forma manual tomando en cuenta la distancia de cultivo de 30 cm entre planta y 40cm entre hilera.

3.4.7.3. Aplicación de los biosólidos al cultivo establecido de brócoli

Una vez establecido el cultivo de las plántulas se aplicó los biosólidos como abono al momento del trasplante día 0, día 15, día 30, día 45 y día 60 hasta llegar a la floración.

3.4.7.4. Cosecha

Se realizó la cosecha cuando la pella presentó las condiciones de madurez comercial (flores cerradas sin considerar su tamaño), de acuerdo con las exigencias de mercado antes de que pierda su forma compacta debido a la maduración de la flor.

3.5. Variables a evaluar

3.5.1. Altura de la planta (cm)

Se realizó la toma de datos con un flexómetro al día 0, 15, 30 y 60 después del trasplante, en 10 plantas aleatoriamente del área experimental de cada repetición por tratamiento, las medidas se expresaron en cm.

3.5.2. Porcentaje de floración (%)

Se consideró el número de plantas que empezaron la floración o formación de pellas desde el momento del trasplante hasta transcurridos los 60 días, los resultados se expresaron en porcentaje.

3.5.3. Producción de biomasa fresca (g-planta)

El cálculo de la biomasa fresca producida por el brócoli se realizó en la última etapa del ciclo de cultivo, se determinó pesando en fresco las hojas y tallos por unidad de planta, este fue expresado en gramos por planta (Peralta-Antonio et al. 2019).

3.5.4. Diámetro ecuatorial de la pella (cm)

El diámetro ecuatorial de la pella (inflorescencia) se midió con la ayuda de una cinta métrica, de 10 plantas tomadas al azar de la parcela neta. La medición se hizo al momento de la cosecha los datos se expresaron en cm.

3.5.5. Peso de pellas (g)

El peso de las pellas fue determinado pesando las pellas de 10 plantas al azar de cada parcela experimental, utilizando una balanza digital, los datos se expresaron en gramos.

3.5.6. Rendimiento T/Ha

Para determinar el rendimiento del cultivo de brócoli se cosechó todas las plantas de la parcela neta y se pesó en una balanza se sumó el peso de todas las pellas para obtener el rendimiento total por cada tratamiento, los resultados se expresaron en T/ha.

3.5.7. Análisis económico

Se registró todos los costos y se valoró la producción cosechada tomando en cuenta el precio establecido para el productor por kilogramo de brócoli según (SINAGAP (Sistema de información nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca) 2022), para determinar la utilidad económica de cada uno de los tratamientos utilizando la siguiente formula:

$\text{Costo beneficio} = \text{valor bruto de producción} - \text{costo de producción}$
--

Costo beneficio: utilidad económica o ganancia total obtenida.

Valor bruto de producción: valor total obtenido en la producción.

Costo de producción: Gastos hechos para la producción.

3.6. Tratamientos de los datos

Para el tratamiento estadístico de la información recopilada se realizó un análisis de varianza (ANOVA) tabla 6. Con los resultados arrojados de el mismo cuando el análisis de varianza reveló diferencias estadísticas significativas es decir el p-valor fue menor a $p < 0,05$ se realizó la prueba de comparación de medias Tukey al 95%. Los datos fueron procesados a través del Paquete Estadístico Infostat.

Tabla 5. Representación del ANOVA

Fuentes de variación	Fórmulas	Grados de libertad
Tratamiento	(t-1)	6
Bloque	(r-1)	3
Error experimental	(t-1) (r-1)	18
Total	(r *t)-1	27



CAPÍTULO IV.

RESULTADOS

IV. RESULTADOS

4.1. Análisis físico-químico de los biosólidos.

Los resultados obtenidos sobre las características físico-químicas de los biosólidos del cultivo de Trucha y Tilapia se muestran en la tabla 7 y 8. Se observa que, los biosólidos analizados presentan contenidos nutricionales de tres macronutrientes Nitrógeno, Fósforo y Potasio en concentraciones que pueden ser óptimas para la agricultura; además, los biosólidos son ligeramente alcalinos y presentan un generoso porcentaje de materia orgánica con 17,82% para biosólidos de trucha y 11,43 para biosólidos de tilapia (tabla 6).

Tabla 6. Análisis físico-químico de los biosólidos del cultivo de trucha y tilapia como abono orgánico en la producción de brócoli (*Brassica oleracea var. italica*).

Parámetros analizados	Unidad	Resultado	
		Muestra de biosólido de trucha	Muestra de biosólido de tilapia
NT	%	0,57	0,90
² P ₂ O ₅	%	0,17	0,15
² K ₂ O	%	0,09	0,07
pH	1:100	8,82	8,92
CE	µS/cm 1:100	33,5	27,5
MO	%	17,82	11,43

²: Resultado obtenido por cálculo

NT=Nitrógeno Total, P₂O₅=Fósforo, K₂O=Potasio, pH, CE=Conductividad Eléctrica,
MO=Materia Orgánica

Metales pesados

El análisis de metales pesados indicó la presencia de Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre, Plomo, Mercurio, Níquel y Zinc en concentraciones por debajo de los límites permitidos por la EPA para uso agrícola. Donde, para ambos biosólidos la presencia de Arsénico en es menor a <0,1358 mg/kg, no obstante, los valores de Cadmio, Cromo, Cobre Plomo, Mercurio, Níquel y Zinc fueron mayores en biosólidos de trucha haciendo énfasis en el Cobre que se encontraron valores de 25 mg/kg en comparación de los biosólido de tilapia donde se encontraron valores < 0,5 mg/kg. Solo el Níquel y el Zinc fueron superiores en los biosólido de ver tabla 7.

Tabla 7. Contenido de metales pesados en los biosólidos del cultivo de trucha y tilapia utilizados como abono orgánico en la producción de brócoli.

3.5.7. Análisis económico

Parámetros analizados	Unidad en base seca	Límite máximo permisible	Resultado	
			Muestra de biosólido de trucha	Muestra de biosólido de tilapia
Arsénico	mg/kg	41	<0,1358	<0,1358
Cadmio	mg/kg	39	1,715	1,552
Cromo	mg/kg	1200	13,2	12,5
Cobre	mg/kg	1500	25	< 0,5
Plomo	mg/kg	300	8,9	6,7
Mercurio	mg/kg	17	<0,1214	<0,1214
Níquel	mg/kg	420	10,7	12,4
Zinc	mg/kg	2800	38	40

4.2. Análisis microbiológicos de los biosólidos

Los resultados obtenidos sobre la identificación microbiológica de los biosólidos del cultivo de Trucha y Tilapia indicaron que, el mayor número de coliformes totales pertenecen al biosólido de tilapia, mientras que, en ambos, se encontraron concentraciones de *E. Coli* menor a <1 UFC / 1g o mL. No se encontró presencia de *Salmonella spp* en ambos biosólidos. En cuanto a Mohos, la mayor presencia se observó en biosólidos de tilapia. La presencia de levaduras fue menor a <1 UFC / 1g o mL para ambos biosólidos; no se encontró presencia de ovas de helminto en ninguna muestra de biosólidos (tabla 8).

Tabla 8. Análisis microbiológicos de biosólidos de cultivo de trucha y tilapia utilizados como abono orgánico en el cultivo de brócoli.

Parámetros analizados	Unidad	Resultado	
		Muestra de biosólido de trucha	Muestra de biosólido de tilapia
Coliformes totales	UFC	<1 UFC / 1g o mL	$3 \times 10^{+2}$ UFC / 1g o mL
<i>E. Coli</i>	UFC	<1 UFC / 1g o mL	<1 UFC / 1g o mL
<i>Salmonella spp.</i>	Ausencia/ presencia	Ausencia	Ausencia
Mohos	UFC	$2 \times 10^{+2}$ UFC / 1g o mL	7×10 UFC / 1g o mL
Levaduras	UFC	<1 UFC / 1g o mL	<1 UFC / 1g o mL
Huevos de Helmintos	Ausencia/ presencia	Ausencia	Ausencia

Observaciones. UFC: Unidades Formadoras de Colonias; * $n \times 10^{+0}$ / 1g o ml: Número de colonias en 1 g o mL de muestra; < 1 : no se presenta el crecimiento de colonias en placas.

Variables agronómicas

4.3. Altura de la planta (cm)

Para la variable altura de planta se realizó la recopilación de datos en 4 tiempos diferentes; a los 0, 15, 30 y 60 observando que, en el día 0 el tratamiento 7 se obtuvo mayor altura con una media de 8,7 cm datos estadísticamente significativos en comparación del tratamiento control. Al día 15 y 30 podemos apreciar que, estadísticamente no hay diferencia significativa entre los tratamientos ($p>0.05$), a pesar de sus diferencias numéricas. En el día 60 el tratamiento 7 fue el que obtuvo el mejor promedio (42,13cm) superando considerablemente a los demás tratamientos y control experimental (22,7cm) datos que son estadísticamente significativos ($p<0.05$) ver tabla 9.

Tabla 9. Valores promedio obtenidos en la variable altura de planta a día 0, 15, 30 y 60 del trasplante en el estudio del efecto de biosólidos del cultivo de trucha y tilapia como abono orgánico en la producción de brócoli.

Tratamiento	Altura de planta (cm)			
	día 0	día 15	día 30	día 60
T1. Testigo	8,7 b	10,4 a	12,8 a	22,7 b
T2. Biosólido de trucha 25%	9,3 ab	11,2 a	13,4 a	27,6 b
T3. Biosólido de trucha 50%	8,9 ab	11,0 a	13,9 a	27,7 b
T4. Biosólido de trucha 75%	9,4 ab	11,6 a	14,4 a	31,4 ab
T5. Biosólido de tilapia 25%	9,6 ab	11,6 a	13,5 a	32,1 ab
T6. Biosólido de tilapia 50%	9,4 ab	11,2 a	13,4 a	29,8 ab
T7. Biosólido de tilapia 75%	9,8 a	11,8 a	13,9 a	42,1 a
CV (%)	5,09	5,06	7,73	18,59

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

4.4. Porcentaje de floración (%)

De acuerdo a la tabla 10 para el porcentaje de floración, el tratamiento T7. (Biosólido de tilapia 75%) obtuvo el mayor promedio de 53,8 datos que son estadísticamente significativos ($p < 0.05$) en comparación a los demás tratamientos y el testigo experimental (T1) 21,3. En esta variable, se pudo apreciar cuatro niveles de significancia para los promedios alcanzados en cada uno de los Tratamientos.

4.5. Producción de biomasa fresca (g-planta)

Los valores de esta variable se pueden apreciar en la tabla 10 donde hay cinco niveles de significancia para los promedios alcanzados en cada uno de los Tratamientos, donde el tratamiento 7 (categoría a) se posiciona como el mejor tratamiento con una media de 170,3 g-planta seguido por el tratamiento 6 (categoría ab) con 147,0 g-planta valores que son estadísticamente significativos ($p < 0.05$) en comparación a los demás tratamientos y al testigo experimental (T1) 72,5.

4.6. Diámetro ecuatorial de la pella (cm)

Los resultados del análisis estadísticos de esta variable se muestran en la tabla 10 en la cual se puede observar tres niveles de significancia para los promedios alcanzados en cada uno de los tratamientos, donde los tratamientos 4 y 7 (categoría a) alcanzaron un promedio de 9,8 cm y 9,6 cm, superando considerablemente a los tratamientos 6 y 3 (categoría ab) con 7,30 cm y 6,78 cm, seguido por los tratamientos seguidos por los tratamientos 5, 2 y 1 (categoría b) con un promedio de 5,7 cm a 5,5 cm siendo los tratamientos de menor promedio, ubicándose de esta manera en el último lugar datos que son estadísticamente significativos ($p < 0.05$).

4.7. Peso de la pella (g)

Para los promedios alcanzados en cada uno de los tratamientos en esta variable (tabla 10) se aprecia que el tratamiento T4 (104,2 g) se posiciona en el primer lugar superando considerablemente al T7 (88,1g) seguido por el tratamiento T6 (67,4g), los tratamientos T3 (56,4g) y T5 (56,0g) no son diferentes estadísticamente ($p \geq 0.05$), los tratamientos 2 y 1 (26,2g y 17,4g) respectivamente representan el menor promedio en cuanto al peso de la pella por unidad de planta, ubicándose de esta manera en el último lugar.

4.8. Rendimiento (T/Ha)

Para esta variable el mejor tratamiento es el T4 con un promedio de rendimiento de 72,6 toneladas/ Ha, superando considerablemente a los demás tratamientos como al control experimental (21,5 T/Ha) el de menor rendimiento ver tabla 10.

Tabla 9. Valores promedio obtenidos en la variable altura de planta a día 0, 15, 30 y 60 del trasplante en el estudio del efecto de biosólidos del cultivo de trucha y tilapia como abono orgánico en la producción de brócoli.

Variables evaluadas					
Tratamiento	Floración (%)	Producción de biomasa fresca (g-planta)	Diámetro ecuatorial de la pella (cm)	Peso de la pella (g)	Rendimiento (T/Ha)
T1. Testigo	21,3 c	72,5 c	5,5 b	17,4 e	16,6 e
T2. Biosólido de trucha 25%	22,5 c	88,5 bc	5,7 b	26,2 de	26,3 de
T3. Biosólido de trucha 50%	31,3 c	130,3 abc	7,3 ab	56,4 cd	44,9 cd
T4. Biosólido de trucha 75%	46,3 bc	128,8 abc	9,8 a	104,2 a	85,2 a
T5. Biosólido de tilapia 25%	30,0 c	111,0 bc	5,7 b	56,0 cd	49,5 cd
T6. Biosólido de tilapia 50%	33,8 bc	147,0 ab	6,8 ab	67,4 bc	57,6 bc
T7. Biosólido de tilapia 75%	53,8 a	170,3 a	9,6 a	88,1 ab	81,0 ab
CV (%)	17,35	20,92	22,6	22,7	27,72

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

4.9. Análisis económico

Mediante el análisis económico tabla 11 se muestra datos importantes que se tomó para poder determinar que tratamiento nos permite obtener mayores ganancias; estos datos son: precio de venta por kg, rendimiento en kg, valor bruto de producción, costos de producción y costo beneficio de producción.

Se comprobó que los tratamientos con aplicación del 25% y 50% de biosólidos tanto de trucha-tilapia y el testigo representan un bajo rendimiento y por lo tanto una pérdida económica, pero se evidenció que los biosólidos tanto de trucha y tilapia aplicados al 75% fueron favorables ya que obtuvieron un mayor rendimiento y por ende una ganancia económica de \$6736,7 y \$3814,2 por hectárea producida.

Tabla 11. Análisis económico del área experimental para determinar la utilidad económica de cada tratamiento en el estudio del efecto de biosólidos del cultivo de trucha y tilapia como abono orgánico en la producción de brócoli.

Análisis económico							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Precio de venta en kg	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Rendimiento kg	16	25,2	43,1	81,7	47,5	55,2	77,7
Valor bruto de producción	4,5	7,1	12,1	22,9	13,3	15,5	21,8
Costos de producción	10,16	16,42	16,42	16,42	18,1	18,1	18,1
Costo beneficio por área experimental	-5,7	-9,4	-4,4	6,5	-4,8	-2,6	3,7
Costo beneficio por hectárea	-5922,5	-9751,3	-4533,3	6736,7	-4988,3	-2742,5	3814,2

V. DISCUSIÓN

El análisis físico-químico realizado a los biosólidos aplicados al cultivo de brócoli, demostró que los metales pesados analizados se encuentran dentro de los límites permisibles por la EPA, resultados similares fueron obtenidos por Dufault et al. (2001) quienes además mencionan que los biosólidos de acuicultura deberían tener pocas restricciones ya que no contienen patógenos humanos, metales pesados u otras sustancias peligrosas. Además, el mismo análisis demostró que los biosólidos tanto de trucha y tilapia tenían un alto contenido de materia orgánica (17,82% y 11,43%), así como la presencia de los tres principales macronutrientes N, P, K.

Pese a esto, se debe tener cautela en su aplicación como abono en este tipo de cultivo, es necesario someter a pruebas de laboratorio constantes y monitoreos periódicos con el fin de evaluar los niveles de metales pesados que pudieran limitar su uso (Vélez Zuluaga 2007).

Por otro lado, la presencia de coliformes fecales y *Salmonella* sp son un buen indicador de contaminación considerando que niveles bajos es evidencia de ausencia de organismos patógenos, además de que su concentración en aguas residuales es más alta que otros microorganismos. Siendo estos dos organismos los principales causantes de enfermedades intestinales graves en los seres humanos (García Cárdenas 2016). El análisis microbiológico realizado a los biosólidos aplicados al cultivo de brócoli, demostró que la presencia de patógenos analizados se encuentran dentro de los límites permisibles por la EPA.

Referente a la variable altura de planta, el tratamiento T7 (biosólido de tilapia al 75 %) fue el que presentó la mayor altura de planta en comparación con el tratamiento T1 (Testigo absoluto) que fue

el que mostró la menor altura de planta. No obstante, se debe de considerar que la altura de plantas es una característica que se encuentra ligada a la parte genética además en muchos de los casos se puede considerar que esta característica puede ser influenciada por factores exógenos, principalmente por los nutrientes (Khan Academy 2015). En este caso, posiblemente los resultados expuestos tengan relación con el efecto de los biosólidos que actúan como un fertilizante de liberación lenta y que pueden suministrar gran parte del nitrógeno requerido para el crecimiento de los cultivos ya que pueden contener del 1 al 5% de N como lo señalan (Martínez y Rivero 2007, Williams s. f.), que además contribuyen con otros macro y micro elementos que favorecen al desarrollo del cultivo. Resultados similares se obtuvieron en Alonso et al. (2018), pues indican que cuanto mayor era la proporción de biosólidos en el sustrato, mayores eran el crecimiento, la biomasa y la calidad de las plántulas de *Ceiba speciosa*, por lo tanto, recomiendan reciclar biosólidos en proporciones de 50 al 100%.

En relación con el porcentaje de floración, el tratamiento T7 (biosólido de tilapia al 75%) y T4 (biosólido de trucha al 75%) se presentaron con el mayor promedio de manifestación de influencia en comparación con el tratamiento T1 (Testigo absoluto) que fue el que mostró los valores más bajos. Los resultados mostrados posiblemente tengan que ver con el aporte de los nutrientes provenientes de los biosólidos, quien proporcione de manera eficiente los elementos deseados. Lo que coincide con lo señalado por (Woo Reza 2003). Resultados similares en función directa con la dosis de aplicación de biosólidos también, fue observado por Párraga Cedeño (2016) en un estudio sobre la producción de maíz (*Zea mays*).

En cuanto a la variable producción de biomasa fresca, el tratamiento 7 (biosólido de tilapia al 75%) fue el que presentó mayor peso en cuanto a la biomasa fresca/planta, seguido por los tratamientos T6

(biosólido de tilapia al 50%), T3 (biosólido de trucha al 50%), T4 (biosólido de trucha al 75%), T5 (biosólido de tilapia al 25%) y 2 (biosólido de trucha al 25%) mientras que, el T1 (testigo) presento un bajo peso. Lo que permite señalar que la aplicación de biosólidos al cultivo de brócoli, en general mejoró la producción de biomasa, esto se atribuye a la aportación de MO provenientes de los biosólidos, por cuanto, los tratamientos que recibieron abono reportaron mejores resultados que el testigo lo que es similar a lo mencionado por (Cruz-Tobar et al. 2018). Además, Borges et al. (2007), mencionan que la aplicación de biosólidos incrementó la superficie foliar de las plantas de tomate, logrando valores similares a los obtenidos por las plantas cultivadas en el suelo con fertilización mineral y superiores a las desarrolladas en el suelo natural.

Para el caso de las variables diámetro ecuatorial de la pella, peso de la pella y rendimiento T/ha los mejores resultados se consiguieron con los tratamientos T4 (biosólido de trucha al 75%) y T7 (biosólido de tilapia al 75%) al obtenerse diámetro de pella de mayor tamaño y peso y por ende mayor rendimiento. Estos resultados se obtuvieron debido a que estos dos tratamientos tienen la dosis de aplicación más alta con respecto a los demás tratamientos, lo que permite deducir que la aplicación de biosólidos al 75% induce a mayor diámetro de las pellas y mejora los rendimientos. Siendo similar a lo que señala nuevamente (Cruz-Tobar et al. 2018). La proporción de los distintos calibres de las pellas obtenidas en este estudio coinciden con los resultados obtenidos por Salazar et al.(2009), en su experimento con papa (*Solanum tuberosum*), pues los tubérculos mostraron una tendencia a tener calibres más altos en los tratamientos con mayor cantidad de biosólidos. Este mismo autor menciona que, el reciclaje de estos desechos orgánicos en suelos agrícolas es una alternativa factible; sin embargo, se requieren mayores estudios relacionados a su complementación con fertilizantes inorgánicos.

Sabiendo que la utilidad económica de un sistema de producción agrícola va ligada directamente al rendimiento del mismo, el análisis económico demostró que los tratamientos T4 (biosólido de trucha al 75%) y T7 (biosólido de tilapia al 75%) resultaron ser económicamente viables al obtener un costo beneficio de \$6736,7 y \$3814,2 por hectárea respectivamente. Esto por cuanto a mayor producción mayor rentabilidad económica. González Flores et al. (2014), en su estudio del impacto socioeconómico del uso de biosólidos en la producción de maíz (*Zea mays*), mencionan que, el impacto del uso de biosólidos ocasionado en la economía de los productores y sus familias, resulta en la respuesta afirmativa ya que el 91.7% de los productores consideraron mayores sus cosechas después de usar biosólidos.

CONCLUSIONES

Al estudiar los resultados del análisis físico-químicos del contenido de metales pesados y microbiológicos se determinó que, los valores obtenidos no sobrepasan los límites máximos permisibles para el uso y aprovechamiento agrícola de biosólidos según la EPA, por lo que es posible hacer uso de los biosólidos de la crianza de trucha y tilapia como medio de fertilización en el cultivo brócoli.

Analizando los parámetros agronómicos y de rendimiento del cultivo de brócoli utilizando biosólidos del cultivo de trucha y tilapia como abono se determinó que la aplicación de biosólidos al 75% como abono evidenció los mejores resultados en todas las variables evaluadas ya que presentaron diferencias significativas. El tratamiento testigo presentó el más bajo promedio en todas las variables sujetas de estudio.

Los tratamientos T4 y T7, presentaron el mejor beneficio/costo por ha con un valor de \$6736,7 y \$3814,2 respectivamente considerando que la aplicación de biosólidos fue del 75%, mientras que el tratamiento control evidencio todo lo contrario con un valor de \$ -5922,5 por ha.

Adicionalmente, que el uso de biosólidos provenientes de cultivos acuícolas en el campo agrícola constituye una opción para el reciclado de estos residuos y por ende es una alternativa ante el problema ambiental que estos representan por su y manejo inadecuado y disposición final.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álava, A; Vélez, PI. 2021. Análisis de los canales de comercialización del brócoli en Ecuador. Revista Tecnológica - ESPOL 33(3):181-201. DOI: <https://doi.org/10.37815/rte.v33n3.857>.
- Alonso, JM; Abreu, AHM de; Melo, LA de; Leles, PS dos S; Cabreira, GV. 2018. BIOSOLIDS AS SUBSTRATE FOR THE PRODUCTION OF CEIBA SPECIOSA SEEDLINGS. CERNE 24(4):420-429. DOI: <https://doi.org/10.1590/01047760201824042568>.
- . 2018. BIOSOLIDS AS SUBSTRATE FOR THE PRODUCTION OF CEIBA SPECIOSA SEEDLINGS. CERNE 24:420-429. DOI: <https://doi.org/10.1590/01047760201824042568>.
- Álvarez Munárriz, L; Álvarez De Luis, A. 2009. Estilos de vida y alimentación (en línea). Gazeta de Antropología . DOI: <https://doi.org/10.30827/Digibug.6858>.
- Álvarez, T; Bravo, E; Armendaris, E. 2014. ACCESS TO HORTICULTURAL SEEDS AND FOOD SOVEREIGNTY IN ECUADOR. La Granja (20):45-57. DOI: <https://doi.org/10.17163/lgr.n20.2014.05>.
- Arango, MJ. 2017. Abonos orgánicos como alternativa para la conservación y mejoramiento de los suelos (en línea). Caldas – Antioquia, Corporación Universitaria Lasallista Facultad de Ciencias Administrativas y Agropecuarias Especialización en Gerencia Agropecuaria. . Disponible en http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/2036/1/Abonos_organicos_alternativa_conservacion_mejoramiento_suelo.pdf.
- Araújo da Silva, JL. 2017. Reuso de resíduo orgânico da piscicultura como condicionante de solo no semiárido. doctoralThesis (en línea, sitio web). Consultado 27 ene. 2022. Disponible en <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/30476>.

- Borges, EU; Reynaldo-Escobar, IM; Cabrera, JA; Carbajal, ER. 2007. Aplicación de biosólidos en el cultivo de plántulas de tomate. 16(1).
- Bueno Zamora, JL. 2015. Beneficios de Lodos Residuales, ó Biosólidos (en línea, sitio web). Consultado 5 mar. 2022. Disponible en <https://aguayambiente.com/2015/05/09/biosolidos/>.
- Celis, J; Sandoval, M; Barra, R. 2008. Plant Response to Salmon Wastes and Sewage Sludge Used as Organic Fertilizer on Two Degraded Soils Under Greenhouse Conditions (en línea). Chilean journal of agricultural research 68(3). DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-58392008000300007>.
- Celis, J; Sandoval, M; Zagal, E; Briones, M. 2006. EFECTO DE LA ADICIÓN DE BIOSOLIDOS URBANOS Y DE SALMONICULTURA SOBRE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) EN UN SUELO PATAGÓNICO. :13.
- Cisneros, S. 2022. Cultivo de temporada: Brócoli. Informativo (en línea, sitio web). Consultado 3 jun. 2022. Disponible en <https://soyagropecuario.com/Post/Cultivo-de-temporada-Brocoli/1220>.
- Coello Torres, MJ. 2014. EVALUACIÓN DE TRES DOSIS DE BIOPLUS EN EL CULTIVO ORGÁNICO DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* L. var. *Itálica* cv. *Mónaco*). :105.
- Cruz-Tobar, E; Vega-Chariguamán, J; Albán, AG-; González-Rivera, M; Saltos-Espín, R; González-Rivera, V. 2018. EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS EN LA PRODUCCIÓN DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea*). Revista de Investigación Talentos 5(1):1-8.
- Cultivo de Brócoli | Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal. s. f. s.l., s.e. Consultado 21 abr. 2022. Disponible en <https://icamex.edomex.gob.mx/brocoli>.

- Dágner G. s. f. GESTIÓN DE BIOSÓLIDOS EN COLOMBIA - PDF Descargar libre (en línea). s.l., s.e. p. 7. Consultado 5 mar. 2022. Disponible en <https://docplayer.es/21537313-Gestion-de-bio-solidos-en-colombia.html>.
- DEP (Florida Department of Environmental Protection). s. f. Benefits of Biosolids (en línea). s.l., s.e. Disponible en <https://floridadep.gov/sites/default/files/benefits-of-biosolids-2-8-16.pdf>.
- DISTRITO DE AGUAS RESIDUALES DEL ÁREA DE CARMEL. 2022. Environmental Benefits of Biosolids (en línea, sitio web). Consultado 21 abr. 2022. Disponible en <https://www.cawd.org/environmental-benefits-of-biosolids>.
- Dufault, R; Korkmaz, A; Ward, B. 2001. Potential of Biosolids from Shrimp Aquaculture as a Fertilizer for Broccoli Production. *Compost Science & Utilization* 9:107-114. DOI: <https://doi.org/10.1080/1065657X.2001.10702024>.
- Dufault, RJ; Korkmaz, A; Ward, B. 2001. Potential of Biosolids from Shrimp Aquaculture as a Fertilizer for Broccoli Production. *Compost Science & Utilization* 9(2):107-114. DOI: <https://doi.org/10.1080/1065657X.2001.10702024>.
- EL PRUCTOR. 2022. Ecuador: El milagro del brócoli orgánico | Noticias Agropecuarias (en línea, sitio web). Consultado 25 nov. 2022. Disponible en <https://elproductor.com/2022/04/ecuador-el-milagro-del-brocoli-organico/>.
- EPA/625/R-92/013. 2003. Environmental Regulations and Technology, Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. :186.
- ETAPA EP (Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable y Alcantarillado, Cuenca). 2019. Plan Maestro de Gestión de Biosólidos en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de Cuenca, Fase 1 Prefactibilidad (en línea). s.l., Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca – ETAPA EP. Disponible en <https://www.etapa.net.ec/Portals/0/Documentos/convocatoria%20>

- lodos%20y%20biosolidos/4_Informe%20Lodos%20ETAPA.pdf?ver=2021-01-14-214624-173.
- FAO.2014.AGROECOLOGÍAPARALASEGURIDADALIMENTARIA Y NUTRICIÓN (en línea). s.l., s.e. 466 p. Disponible en <https://www.scholacampesina.org/wp-content/uploads/2018/11/Informe-Int-Symposium-Agroec-2014-FAO-ES.pdf>.
- García Cárdenas, MI. 2016. Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de la concentración de coliformes fecales y totales (en línea). s.l., s.e. . Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12044/1/UPS-CT005866.pdf>.
- Gliessman, SR. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible (en línea). s.l., CATIE. 392 p. Disponible en <https://books.google.com.ec/books?id=rnqan8BOVNAC&p-g=PA14&dq=AGROECOLOG%C3%8DA&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiqYqC2Z77AhUUkmoFHBaiAwUQ6AF6BAG-JEAI#v=onepage&q=AGROECOLOG%C3%8DA&f=false>.
- González Acosta, JAG. 2012. Uso y manejo de sedimentos provenientes de piscicultura como base para el manejo sostenible: revisión del tema. :25.
- González Acosta, JAG. 2015. Caracterización de sedimentos producidos en una explotación intensiva de trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792, como un medio para definir estrategias de uso y manejo sostenible de lagunas de oxidación en piscicultura. :120.
- González Flores, E; Sandoval Castro, E; Pérez Magaña, A. 2014. Biosólidos en la producción de maíz: impacto socioeconómico en zonas rurales del municipio de Puebla. Estudios sociales (Hermosillo, Son.) 22(43):61-86.
- Google Maps. 2022. Mapa de Cantón Latacunga en Cotopaxi en Latacunga (en línea, sitio web). Consultado 23 nov. 2022. Disponible en <https://www.google.com/maps/place/0%->

C2%B056'10.8%22S+78%C2%B037'49.0%22W/@-0.9363246,-7
8.6324567,746m/data=!3m2!1e3!4b1!4m6!3m5!1s0x0:0xde0c-
bb6ed2bd9670!7e2!8m2!3d-0.9363298!4d-78.6302677?hl=es-ES.

Gualoto, JJG. 2016. PROPUESTA DE GESTIÓN DE LODOS RESIDUALES MUNICIPALES. CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LA PARROQUIA RURAL DE NONO. :100.

Gutierrez, L. s. f. EL CULTIVO DEL BROCOLI. :38.

Hepp K., C. 2012. RESULTADOS PRELIMINARES SOBRE EL USO DE LODOS DE PISCICULTURAS SOBRE SUELOS AGROPECUARIOS DE ORIGEN VOLCÁNICO DE LA PATAGONIA OCCIDENTAL (AYSÉN) (en línea). Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro de Investigación INIA Tamel Aike, Coyhaique, Aysén-Patagonia, Chile., s.e., vol. BOLETÍN INIA No 223. 82 p. Disponible en <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7769/NR40073.pdf?sequence=9&isAllowed=y>.

Infoagro. 2022. Agricultura. El cultivo del brócoli. (en línea, sitio web). Consultado 21 abr. 2022. Disponible en <https://www.infoagro.com/hortalizas/brocoli.htm>.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. 2021. CLIMA DE LATACUNGA (en línea, sitio web). Disponible en <https://inamhi.wixsite.com/inamhi/novedades>.

Khan Academy. 2015. Mendel y sus guisantes (artículo derivado modificado de “Experimentos de Mendel y las leyes de probabilidad”) (en línea, sitio web). Consultado 9 ene. 2023. Disponible en <https://es.khanacademy.org/science/biology/classical-genetics/mendelian--genetics/a/mendel-and-his-peas>.

Maldonado Montalvo, J; Ramírez Juárez, J; Méndez Espinoza, JA; Pérez Ramírez, N. 2017. El sistema de producción del brócoli desde la perspectiva del campo social de Pierre Bourdieu (en línea).

Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional 27(50). DOI: <https://doi.org/10.24836/es.v27i50.487>.

Martínez, Y; Rivero, C. 2007. Efecto del uso de lodo papelero sobre el contenido de N, P, K en dos suelos de importancia en la Cuenca del Lago de Valencia. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia 30(ESPECIAL):63-70.

Medina González, JF. 2017. Optimización del sistema de manejo de biosólidos producidos en los cultivos de trucha en estanque. :140.

NOM-004-SEMARNAT-2002. 2002. NORMA OFICIAL MEXICANA, PROTECCION AMBIENTAL.- LODOS Y BIOSOLIDOS.-ESPECIFICACIONES Y LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA SU APROVECHAMIENTO Y DISPOSICION FINAL (en línea). s.l., s.e. Disponible en <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ecol/semarnat004.pdf>.

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1529-8. 2016. Control microbiológico de los alimentos. Detección y recuento de Escherichia coli presuntiva por la técnica del número más probable (en línea). s.l., s.e. Disponible en https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_1529-8-1.pdf.

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1529-10:2013. 2013. Control microbiológico de los alimentos. Mohos y levaduras viables. recuentos en placa por siembra en profundidad. (en línea). s.l., s.e. Disponible en https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_1529-10-1.pdf.

Ozores-Hampton, M; Mendez, J. 2010. Uso de Biosolidos en Produccion de Hortalizas1 (en línea). . Disponible en https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Uso+de+Biosolidos+en+Produccion+de+Hortalizas1&btn-G=#d=gs_cit&t=1660529211870&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3Apl2h0MBn9zoJ%3Ascholar.google.com%2F%26output%3Dcite%26scirp%3D0%26hl%3Des.

- Párraga Cedeño, A. 2016. "BIOSÓLIDOS PROVENIENTES DE AGUAS RESIDUALES DE UNA PROCESADORA DE PESCADO APLICADOS AL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mayz* var. INIAP-528) EN LA PROVINCIA DE MANABÍ". (en línea). Tesis de grado para la obtención del título Magister en Ciencias con énfasis en Manejo Sustentable de Biorrecursos y Medio Ambiente. Manabí, UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES. . Disponible en <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/11870/1/TESIS%20DE%20MAESTRIA%20P%C3%81RRAGA%20CEDE%C3%91O.pdf>.
- Peralta-Antonio, N; De Freitas, GB; Watthier, M; Silva Santos, RH. 2019. Compost, bokashi y microorganismos eficientes: sus beneficios en cultivos sucesivos de brócolis. Idesia (Arica) 37(2):59-66. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000200059>.
- Picado, B. 2005. Introducción a la Agroecología (en línea). s.l., s.e. Disponible en https://www.academia.edu/44592642/Introducci%C3%B3n_a_la_Agroecolog%C3%ADa?from=cover_page.
- Quinchía, AM; Carmona, DM. 2004. FACTIBILIDAD DE DISPOSICIÓN DE LOS BIOSÓLIDOS GENERADOS EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES COMBINADA. Revista EIA (2):89-108.
- Quispe Conde, Y; Locatelli, B; Vallet, A; Blas Sevillano, R. 2022. Agroecología para la seguridad alimentaria y frente al cambio climático en Perú. Economía Agraria y Recursos Naturales 22(1):5-29. DOI: <https://doi.org/10.7201/earn.2022.01.01>.
- Ramos Agüero, D; Terry Alfonso, E. 2014. Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. Cultivos Tropicales 35(4):52-59.
- Rivero, G. 2017. TRATAMIENTO DE LODOS (en línea). . Consultado 21 abr. 2022. Disponible en <https://www.academia>.

edu/33246295/TRATAMIENTO_DE_LODOS.

- SAKATA. 2020. De productor a consumidor: ¡Se prefiere el brócoli Avenger! – Sakata Seed Sudamerica – Español (en línea, sitio web). Consultado 27 nov. 2022. Disponible en <https://www.sakata.com.br/blog/es/2020/01/30/de-productor-a-consumidor-se-prefiere-el-brocoli-avenger/>.
- Salazar, FJ; Alfaro, MA; Valdebenito, A. 2009. EFECTO DE DOSIS DE BIOSOLIDOS DE LA CRIANZA INTENSIVA DE TRUCHAS EN EL CULTIVO DE PAPA Y SU EFECTO RESIDUAL EN BALLICA ANUA (en línea). s.l., s.e. p. 6. Consultado 15 ene. 2023. Disponible en <http://sbera.org.br/sigera2009/downloads/obras/039.pdf>.
- Sánchez, AM; Vayas, T; Mayorga, F; Freire, C. 2020. PRODUCCIÓN DE BRÓCOLI EN ECUADOR (en línea). s.l., s.e. Disponible en <https://blogs.cedia.org.ec/obest/wp-content/uploads/sites/7/2020/12/Brocoli-en-Ecuador.pdf>.
- Sarandón, SJ; Flores, CC. eds. 2014. Agroecología: Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables (en línea). s.l., Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). DOI: <https://doi.org/10.35537/10915/37280>.
- SINAGAP (Sistema de información nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca). 2022. Boletín Situacional Brócoli 2021 (en línea, sitio web). Consultado 21 nov. 2022. Disponible en <https://online.fliphtml5.com/ijia/hzpx/>.
- Sipion Verastegui, JN; Soto Curi, MY. 2021. Uso de fertilizante orgánico a base de lodos de piscicultura para mejorar la aptitud de los suelos agrícolas en la provincia de Oyón-Lima 2021 (en línea) (En accepted: 2021-11-03t04:01:23z). Repositorio Institucional - UCV . Consultado 27 ene. 2022. Disponible en <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/72650>.
- Solís, P. 2012. DESARROLLO DE UNA ALTERNATIVA PARA LA PRESERVACIÓN DEL BRÓCOLI DE EXPORTACIÓN DISMINUYENDO CONSUMO DE ENERGÍA Y COSTOS DE

PRODUCCIÓN PROVEFRUT S.A. COTOPAX. :218.

Toledo, J. 2003. Cultivo del Brócoli (en línea). Lima-Perú, s.e., (Manual RI 2003 No 01). Disponible en https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/895/1/Toledo-Cultivo_brocoli.pdf.

Utria Borges, E; Reynaldo-Escobar, IM; Cabrera, JA; Ramos Carbajal, E; Miranda Caballero, A. 2007. Aplicación de biosólidos en el cultivo de plántulas de tomate. 16(1):6.

Vélez Zuluaga, JA. 2007. Los biosólidos: ¿una solución o un problema? 2(2):15.

Williams, P. s. f. Uso de Biosolidos en Produccion de Hortalizas. :9.

Woo Reza, JL. 2003. ESTUDIO DE VIABILIDAD EN LA APLICACIÓN DE LODOS ACTIVADOS EN SUELO PARA LOS CULTIVOS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) Y NOPAL (*Opuntia ficus-indica*,) (en línea). COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS. MEXICO, UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON FACULTAD DE **AGRONOMÍA SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO. Disponible en <http://eprints.uanl.mx/5762/1/1020131314.PDF>.**

Zamora, E. 2016. EL CULTIVO DEL BROCOLI (en línea). s.l., s.e. Disponible en <https://dagus.unison.mx/Zamora/BROCOLI-DAG-HORT-010.pdf>.

ANEXOS

Anexo 1. Fotografías de las labores de campo realizadas en el experimento.

Figura 1. Obtención del biosólido del cultivo de trucha.



Figura 4. Oba 4. Obtención del biosólido del cultivo de trucha



Figura 2. Obtención del biosólido del cultivo de tilapia.



FIGURA 3 Estabilización con cal de los biosólidos de trucha y tilapia.



FIGURA 4. Secado y pulverizado de los biosólidos de trucha y tilapia..



FIGURA 5. Muestras de los biosólidos de trucha y tilapia para análisis de laboratorio.



FIGURA 6. Preparación del terreno y adecuación de parcelas.



FIGURA 7. Plántulas de brócoli obtenidas para el experimento.



FIGURA 8. Trasplante de las plántulas de brócoli.



FIGURA 9. Toma de datos de altura de planta..



FIGURA 10. Aplicación de biosólidos al cultivo de brócoli.



FIGURA 11. Cultivo de brócoli al día 45 después del trasplante.



FIGURA 12. Etapa inicial de la formación de la pella.



FIGURA 13. Brócoli en estado de madurez comercial.



FIGURA 14. Cosecha-etapa final del ciclo de cultivo.



FIGURA 15. Toma de datos de la producción de biomasa en peso fresco.



FIGURA 16. Toma de datos de diámetro ecuatorial de la pella.



FIGURA 17. Toma de datos del peso de la pella.





Dr. EDUARDO DÍAZ OCAMPO, Ph.D.
RECTOR

Ing. YENNY GUISELLI TORRES NAVARRETE, Ph.D.
VICERRECTORA ACADÉMICA

Ing. BOLÍVAR ROBERTO PICO SALTOS, M.Sc.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

Econ. CARLOS EDISON ZAMBRANO, Ph.D.
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN - DICYT

