

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La búsqueda de prácticas agrícolas sostenibles y eficientes es crucial en un contexto donde la seguridad alimentaria y la conservación del medio ambiente son prioridades globales. En este sentido, el uso de lodos residuales como fertilizantes se ha perfilado como una opción prometedora para mejorar la fertilidad del suelo y aumentar el rendimiento de los cultivos (Bougnom et al., 2018).

Los lodos residuales, derivados de procesos de tratamiento de aguas residuales, contienen una variedad de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, así como materia orgánica que puede mejorar la estructura del suelo y su capacidad para retener agua y nutrientes (Cirelli et al., 2021).

La producción de rábanos (*Raphanus sativus*) es un ejemplo relevante para evaluar el impacto del uso de lodos residuales como fertilizante, ya que los rábanos son cultivos de ciclo corto y alta demanda nutricional que se cultivan en una amplia variedad de condiciones (Hu et al., 2018).

Sin embargo, la aplicación de lodos residuales en la agricultura plantea desafíos y preocupaciones relacionadas con la posible acumulación de metales pesados, patógenos y otros contaminantes en el suelo y los cultivos, lo que destaca la necesidad de investigar y comprender los efectos a largo plazo de esta práctica.

(Roca-Pérez et al., 2020).

La presente investigación tiene como objetivo determinar el impacto del uso de lodos residuales como fertilizante en la producción de rábanos, centrándose en la mejora de la fertilidad del suelo y el aumento del rendimiento del cultivo. Para lograr este objetivo, se llevará a cabo un estudio experimental que evaluará el efecto de diferentes proporciones de suelo y lodos residuales en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los rábanos, así como en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

(Shen et al., 2019).

Esta investigación contribuirá a llenar una brecha de conocimiento importante en la aplicación de lodos residuales en la agricultura, proporcionando información científica que puede guiar prácticas agrícolas sostenibles y contribuir al desarrollo de estrategias para mejorar la seguridad alimentaria y la gestión de recursos naturales.

Descripción Del Problema

El tratamiento de las aguas residuales es un problema en muchas ciudades, ya que la contaminación de estos recursos puede tener graves consecuencias para el medio ambiente y la salud humana. En este sentido, la planta de tratamiento de aguas residuales de San Blas genera grandes cantidades de lodos residuales que, en lugar de ser desechados, podrían ser utilizados como fertilizantes orgánicos para mejorar la fertilidad del suelo.

El uso de estos lodos residuales de la PTAR de San Blas como fertilizante orgánico en la producción de rábanos podría ser una solución novedosa y efectiva para mejorar la calidad del suelo. Sin embargo, aún se requiere una evaluación detallada del impacto que tiene este uso en la producción de los cultivos y cómo afecta la calidad del suelo a largo plazo. Por lo tanto, es necesario investigar si el uso de los lodos residuales de la PTAR de San Blas como fertilizante orgánico en la producción de rábanos tiene influencia positiva sostenible para la gestión de los residuos y mejorar la producción agrícola.

Este estudio es relevante porque aborda simultáneamente dos problemas cruciales: la gestión sostenible de los residuos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales y la mejora de la producción agrícola a través de la fertilización orgánica. La implementación exitosa de esta práctica podría ofrecer un modelo replicable en otras regiones, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y a la seguridad alimentaria. Además, la investigación proporcionará datos valiosos que pueden influir en políticas públicas y en prácticas agrícolas más sostenibles, alineándose con los objetivos globales de desarrollo sostenible.

Planteamiento Del Problema

La baja fertilidad de los suelos, el inadecuado sistema de fertilización y el alto costo de los fertilizantes químicos, provoca bajos rendimientos en el cultivo de rábano.

Justificación

El uso de los lodos residuales como fertilizante orgánico en la producción de cultivos es una alternativa sostenible y segura para la gestión adecuada de los residuos generados por la PTAR de San Blas. Además, el uso de los lodos como fertilizante orgánico puede contribuir a mejorar la producción agrícola y la calidad del suelo.

La cantidad de residuos generados por las ciudades es cada vez mayor, y su gestión adecuada se convierte en un desafío. El uso de los lodos residuales de la PTAR de San Blas como fertilizante orgánico en la producción de rábanos puede ser una alternativa efectiva para reducir la cantidad de residuos que deben ser desechados y aumentar la sostenibilidad de la producción agrícola.

En último lugar, la investigación contribuirá a mejorar la gestión de los residuos de la PTAR de San Blas, al permitir conocer cómo se puede utilizar un residuo para mejorar la producción agrícola, en lugar de simplemente desecharlo. En última instancia, los resultados de la investigación pueden utilizarse para desarrollar soluciones más sostenibles y rentables para la gestión de residuos en otras ciudades.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la fertilización orgánica del cultivo del rábano con el uso de lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas (PTAR) de San Blas para mejorar la fertilidad del suelo

Objetivos Específicos

Analizar la composición Físicoquímica de los lodos residuales para determinar su idoneidad como fertilizante a través de métodos de laboratorio específicos para cada componente.

Determinar el efecto de diferentes proporciones de lodos residuales en la fertilidad del suelo mediante análisis de nutrientes y el cálculo de requerimiento de las plantas.

Determinar el efecto de las distintas proporciones de lodos residuales en el crecimiento vegetativo y rendimiento de los rábanos a través del análisis de las diferentes variables de respuesta.

Hipótesis

El uso de lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de San Blas como fertilizante orgánico en la producción de rábanos mejora significativamente la fertilidad del suelo y aumenta el rendimiento del cultivo.

MARCO TEÓRICO

Origen Del Cultivo Del Rábano

Se considera a China como el lugar de origen de los rábanos, aunque este es un dato que no se ha determinado de forma concluyente. Sin embargo, sí se sabe que los egipcios y babilonios ya lo consumían hace más de 4.000 años. Parece que fue hacia el año 400 a.C., cuando comenzó a consumirse en China y Corea. El rábano pertenece a la familia de las Crucíferas. En ella se engloban 380 géneros y unas 3.000 especies propias de regiones templadas o frías del hemisferio norte. En las crucíferas también se incluyen verduras como las coles y los berros. La importancia de esta familia de hortalizas reside en que contienen unos compuestos de azufre, considerados como potentes antioxidantes que ayudan a prevenir enfermedades. Se conoce la existencia de seis especies de rábano, pero tan sólo se cultiva el conocido con el nombre científico de *Raphanus sativus*. (Carrera, 2015).

Posteriormente, aproximadamente en el siglo XIV, su cultivo se extendió en Europa. Hasta ahora se desconoce exactamente la época en la que fue llevado al continente Americano, especialmente a Cuba donde su consumo en la población es mayoritario y lleva ya muchos años. Actualmente el rábano se cultiva en la mayoría de los países del mundo, debido a sus propiedades nutricionales y a la facilidad del cultivo que conlleva una fácil adaptación especialmente en regiones templadas. (Tito, 2005).

Importancia Del Cultivo

El rábano es una fuente importante de vitaminas, estimulante de la digestión, alcalinizante, mineralizante, calmante y diurético. Es apropiado para curar ya que ayuda a limpiar las vías respiratorias y fluidifica las mucosidades. En general es consumido en ensaladas antes de los platos principales. Sin embargo, las hojas también deberían ser usadas en sopas y guisos por aportar con un gran contenido nutricional. (Tito, 2005).

Características Del Cultivo

El rábano es un tipo de hortaliza que forma parte de la familia de las crucíferas junto a las coles y los berros. Se conocen seis especies de rábanos, pero sólo se cultiva el *Raphanus sativus*. Son plantas herbáceas, durante su ciclo del cultivo se diferencian dos etapas, la primera es la fase vegetativa en la que se desarrollan su follaje y sus raíces carnosas, en la etapa reproductiva es cuando se desarrollan las flores, frutos y semillas. Se adapta a cualquier tipo de suelo, aunque prefiere los suelos profundos, sueltos, de preferencia arenoso, neutros con un buen drenaje, pero que contenga un alto contenido de materia orgánica y capaz de retener abundante humedad necesaria para el rápido desarrollo del cultivo. El pH debe oscilar entre 5,5 y 6,8. El Rábano NO tolera la salinidad. (Hernández 2024)

Preparación De Terreno.

Cuadro N°1 Composición Química De La Planta

Agua95%	Calcio21 mg
Energía.....17 Kcal	Fósforo.....18 mg
Proteína.....0.6 g	Fierro0.3 mg
Grasa0.5 g	Sodio24 mg
Carbohidratos.....3.6 g	Potasio.....232 mg
Fibra0.5 g	

Fuente (Tito, 2005)

Taxonomía**Reino:** Vegetal**División:** Fanerógamas**Sub división:** Angiospermas**Clase:** Dicotiledóneas**Orden:** Rhoedales**Familia:** Cruciferae**Sub familia:** Siliculosas**Género:** Raphanus**Especie:** sativus**Nombre común:** Rábano

Fuente: (Tito, 2005)

Descripción Botánica**Raíz**

El rábano es una planta anual de raíz pivotante que se inserta en la base de un tubérculo hipocotíleo comestible, el cual puede ser redondo o alargado y de color diverso. Su sabor es más o menos picante. La raíz, la parte comestible, es un engrosamiento del parénquima tomando forma esférica o alargada parecida a la de un trompo, en la raíz se almacena sustancias alimenticias y medicinales que le dan un sabor picante bastante fuerte pero generalmente agradable al gusto. Esta raíz es muy rica en vitaminas A, B y C, en minerales como: azufre, potasio, calcio, fósforo, hierro, sodio, cloro, yodo y magnesio. También contiene agua, proteínas, grasa, carbohidratos.

(Quino, 2015).

Tallo Floral

Puede alcanzar más de 1m de altura, es cilíndrico y veloso, aunque también los hay lisos, de color verde y muy ramificado. No requiere de condiciones de vernalización para formarse.

Hojas

Compuestas, imparipinadas con bordes generalmente dentados, vellosas y de un color verde intenso en la mayoría de las variedades

Inflorescencia Y Flores

La inflorescencia es racimosa. Las flores son hermafroditas, grandes con limbo blanco y con venas violetas, según la variedad, la fecundación es alógama.

Fruto

Es una silicua indehiscente o silicua alargada, rellena en el interior de tejido parenquimatoso, en el cual se sitúan las semillas, que son silicuas patentes alargadas y cónicas.

Semilla

Es constituida por pequeños granos discoidales de 10 a 12 en cada silicua o vaina; además esta contiene aceite y carecen de albumina. (Quino, 2015).

Requerimientos Climáticos:

Fotoperiodo

Hay variedades que requieren un fotoperiodo entre 12 y 14 horas, y variedades de días largos (>14 horas luz).

Temperatura

Requiere de una temperatura óptima de 12 a 16 °C, pudiendo desarrollarse a temperaturas mínimas de 10°C y máximas de 37°C. Requiere de 15 a 18°C para su desarrollo óptimo, siendo ligeramente tolerante a heladas. Para la germinación la temperatura mínima, óptima y máxima son 16, 20-25 y 30-35°C, respectivamente. La

temperatura de congelación es de -2°C , mientras que la mínima, óptima y máxima para desarrollo son en ese orden 8, 18-22 y 30°C .

Precipitación

Anualmente requiere de 1000 a 1500 mm para su desarrollo óptimo, pudiendo tolerar valores extremos de 800 a 2800 mm anuales. Para plantas con una altura promedio de 30 cm, el coeficiente de cultivo para las etapas inicial, intermedia y tardía es 0.7, 0.9 y 0.85, respectivamente.

Humedad Relativa

Requiere alta humedad relativa, superior a 60%. Las condiciones de conservación en cámara frigorífica son 0°C y 90- 95% de humedad relativa.

(Ruiz & otros, 2013)

Requerimientos Edáficos

Suelo

El rabanito requiere suelos de buena textura y de una adecuada retención de humedad, aunque pueden cultivarse en suelos ligeros, arenosos y areno – arcillosos. Estos son mejores porque facilitan el lavado de las raíces carnosas en la cosecha, en cambio los suelos arcillosos no son favorables, porque cuando son ricos en caliza, las raíces carnosas toman un sabor más picante. También se requiere suelos ricos, medios o ligeros, con buenos contenidos de materia orgánica. El suelo adecuado para el cultivo del rábano, son los medianamente livianos a francos, bien drenados, aireados y sueltos. (Tito, 2005).

Materia Orgánica

El rábano necesita buen contenido de materia orgánica. Además, se requiere un aporte de estiércol bien descompuesto junto con el abonado de fondo. La cantidad puede oscilar entre las 10 y 20 T/Ha. Para lograr una buena producción, es necesario abonar muy bien el terreno con materia orgánica. (Tito, 2005).

PH

El cultivo del rabanito tolera condiciones ligeramente ácidas siendo adecuado un pH del suelo entre 5.5 y 6.8. (Tito, 2005).

Requerimientos Nutricionales

Es un cultivo muy exigente para un adecuado balance de nutrientes en el suelo, principalmente por su ritmo de crecimiento y pobre desarrollo de su sistema radicular. Algunos autores sugieren que sus necesidades oscilan entre: 60-120 Kg/ha nitrógeno, 40-100 Kg/ha P₂O₅ y 70-10 Kg/ha K₂O y para alcanzar un rendimiento de 100 Kg, la extracción de nutrientes cada día es: 16,6 g N, 6,0 g P₂O₅ y 17,0 g K₂O.

(Tipantiza, 2022).

Composición Nutricional

Los macronutrientes del rábano a base de 100 g, como energía (kcal) de 17, además son muy ricas en provitamina A y proteína C.

La composición nutricional del rábano es: agua (95%), proteína (0.6g), grasa (0.5), carbohidratos (3.6g), vitamina A (8IU), tiamina (0.01mg), ribo Flavia (0.05mg), fibra (0.5g), vitamina B12 (0.07mg), ácido ascórbico (22.80mg), potasio (232mg), sodio (24mg), hierro (0.3mg), fósforo (18mg) y calcio (21mg). (Tipantiza, 2022).

Ciclo Vegetativo

El rábano es una de las hortalizas que pertenece al periodo vegetativo más corto, dado su rápido crecimiento, se hacen asociaciones, intercalando con otras hortalizas de ciclos más largos, tales como zanahoria, remolacha. Dependiendo de la variedad, del clima y del suelo, los rábanos están listos para cosechar a las cuatro o seis semanas, y para la producción de semilla y su cosecha, el tiempo aproximado es después de quince a diecisiete semanas.

Contaminación De Aguas Residuales

La contaminación es provocada por la integración de cualquier agente externo ya sea sustancias, energía u organismos capaces de crear un desequilibrio en las propiedades

y características de un ecosistema, afectando de forma negativa su facultad de degradarlos y asimilarlos. Estos eventos pueden producirse por consecuencias naturales y en su mayoría por actividades antropogénicas. En el proceso de tratamiento de aguas residuales se produce lodos debido a la separación de la fase sólida – líquida, comúnmente estos tratamientos no aplican una disposición final adecuada, originando contaminación en el suelo, aire y agua. (Andrade 2021)

La falta de plantas de tratamiento para las aguas residuales en las ciudades y en las industrias, hoteles y explotaciones mineras, agrícolas y ganaderas, ocasiona grandes desechos de aguas contaminadas que hacen mucho daño al medio ambiente. La mayoría de esas aguas es descargada en los ríos, lagos, mares, en los suelos a cielo abierto o en el subsuelo, a través de los llamados pozos sépticos y rellenos sanitarios.

En las últimas décadas el mundo ha venido mostrando preocupación y está tratando de resolver los problemas relacionados con la disposición de los efluentes líquidos provenientes del uso doméstico, comercial e industrial de las aguas de abastecimiento.

La primera prioridad que demanda una comunidad es el suministro del agua, con calidad adecuada y cantidad suficiente. Ya logrado este objetivo, surge otro no menos importante que consiste en la adecuada eliminación de las aguas ya utilizadas que se convierten en potenciales vehículos de muchas enfermedades y trastorno del medioambiente. Las fuentes de agua (ríos, acuíferos, lagos, mar), han sido incapaces por sí mismas para absorber y neutralizar esta carga contaminante, y por ello estas masas de agua han perdido sus condiciones naturales de apariencia física y su capacidad para sustentar una vida acuática adecuada, que responda al equilibrio ecológico que de ellas se espera para preservar los cuerpos de agua. Como resultado, pierden aquellas condiciones mínimas que les son exigidas para su racional y adecuado aprovechamiento como fuentes de abastecimiento de agua, como vías de transporte o fuentes de energía.

(Rodríguez 2017)

Las aguas de desecho dispuestas en una corriente superficial (lagos, ríos, mar) sin ningún tratamiento, ocasionan graves inconvenientes de contaminación que afectan la flora y la fauna. Estas aguas residuales, antes de ser vertidas en las masas receptoras, deben recibir un tratamiento adecuado, capaz de modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas, para evitar que su disposición cause los problemas antes mencionados. El grado de tratamiento requerido en cada caso para las aguas residuales deberá responder a las condiciones que acusen los receptores en los cuales se haya producido su vertimiento. Las plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser diseñadas, construidas y operadas con el objetivo de convertir el líquido cloacal proveniente del uso de las aguas de abastecimiento, en un efluente final aceptable, y para disponer adecuadamente de los sólidos ofensivos que necesariamente son separados durante el proceso. Esto obliga a satisfacer ciertas normas o reglas capaces de garantizar la preservación de las aguas tratadas al límite de que su uso posterior no sea descartado. (Rodríguez 2017)

Aguas Residuales Domésticas

Son las aguas originadas en las viviendas o instalaciones comerciales privadas públicas están compuestas por aguas fecales, aguas de lavado y limpieza. Los principales contaminantes que contienen son gérmenes patógenos, materia orgánica, sólidos, detergentes, nitrógeno y fósforo además de otros en menor proporción. (Pérez 2019)

Coliformes

Los coliformes también aparecen en medio natural, se habla de coliformes totales. Para tener un indicador exclusivamente entérico, se estableció un indicador biológico denominado coliformes fecales CF para detectarlos en laboratorios se realizan siembras en medios nutritivos específicos y al cabo de un tiempo determinado se cuenta el número determinado de colonias formadas (técnica del filtro de membrana) o se observa el efecto de gas consecuencia del proceso fermentación de la lactosa (técnica de flujo múltiple) si no hay coliformes se tiene la seguridad de que no hay gérmenes o contaminación de origen fecal. (Pérez 2009)

Estreptococos Fecales EF

Son microorganismos estrictamente fecales, los que le convierte en un indicador bastante claro. Procede de animales de sangre caliente. Se ha demostrado que las aguas que tienen un mayor número de coliformes fecales que estreptococos fecales tienen mayor probabilidad de ser de origen humano. Si la relación CF/EF es del orden 4.4, es prácticamente seguro que la relación es de origen humano. Si es menor de 0.4 o 0.6 es seguro que es de origen animal.

La contaminación por estreptococo fecales acompaña a correlaciona y bien con enfermedades relacionadas con la mucosas o por contacto en general. (Pérez · 2009)

Procedencia De Los Lodos

Los lodos provenientes de las PTAR presentan diferentes composiciones en relación con la procedencia de las aguas. Estos pueden ser generados durante el tratamiento de las aguas residuales domésticas o de las aguas industriales. Además, las características de los lodos están estrechamente vinculadas al proceso empleado en las PTAR, que influirá en las características y propiedades de los biosólidos y la viabilidad de la alternativa a emplear en la gestión. (Revista CENIC)

Lodos provenientes de tratamientos biológicos

Los lodos de las PTAR son el resultado de la concentración de los sólidos contenidos en el efluente (lodos primarios) o de la formación de nuevos sólidos suspendidos (lodos activados) resultantes de los sólidos disueltos. Los tratamientos de las PTAR pueden ser sin digestión, basado en procedimientos de separación física, secundarios con digestión, que comprenden procedimientos físicos y biológicos, en los cuales se reduce la presencia de patógenos, parásitos y el contenido de compuestos carbonados, a los cuales se suman los tratamientos químicos. Por tanto, la calidad de los lodos, en cuanto a su nivel de estabilización, está determinada en gran medida por el régimen de tratamiento al que son sometidos. El proceso de lodos activados incluye su crecimiento y desarrollo en el tanque de aireación, su posterior paso al tanque de sedimentación y su recirculación al tanque de aireación, proceso que se repite en reiteradas ocasiones

hasta el momento que estos son purgados y eliminados del sistema. Entre sus características presentan un color marrón y una apariencia floculenta, y si no ha comenzado a degradarse, tiene un olor a tierra húmeda. La fracción de lodo generado en los tratamientos biológicos de las PTAR está compuesta principalmente por microorganismos, y una parte del lodo está compuesto por materia sólida. Pueden presentar un color marrón o marrón oscuro, si es muy oscuro puede estar próximo a volverse séptico, si es más claro de lo normal puede estar poco aireado. También pueden adquirir una apariencia, poco olor. Se deshidratan fácilmente en áreas de secado, o adquieren un color marrón oscuro-negro su olor es relativamente débil. (Revista CENIC)

Lodos provenientes de tratamiento físico – químicos

La aplicación del tratamiento físico químico a los lodos a principios del siglo veinte era muy difundida, pero las elevadas dosis de coagulantes utilizadas, generaban una gran cantidad de lodos, por lo que empezaron a ser desplazados por tratamientos biológicos, que originan menos lodos y tienen una mejor eficiencia en términos de remoción de contaminantes. Actualmente, el tratamiento físico químico utiliza menores dosis de coagulantes, acompañado en ocasiones con una mínima dosis de polímeros, lo que implica bajos costos de operación y un ligero aumento en la cantidad de lodos generados respecto a los tratamientos convencionales. Con el uso del hidróxido de sodio se produce un lodo de color café para dosis bajas de coagulante y de color blanco para dosis elevadas. El flóculo formado sedimenta a gran velocidad en los primeros diez minutos. El lodo generado tiene un aspecto homogéneo. El sulfato de aluminio disuelto en agua produce hidróxido de aluminio, que provoca la formación de flóculos de forma prácticamente instantánea. El flóculo formado sedimenta con bastante facilidad y rapidez. Al usar este coagulante se genera un lodo de color oscuro. El lodo generado, al usar el cloruro férrico, adquiere un color café claro para dosis menores de 40 mg/L, entre 40 mg/L y 100 mg/L el color se hace cada vez más oscuro y para dosis superiores a 100 mg/L presenta un color rojizo. El flóculo presenta buena sedimentación y se asienta generando capas bien diferenciadas. El poli cloruro de

aluminio (PAC) presenta diferentes fases sólidas en las reacciones hidrolíticas, los flóculos forman grupos de pequeñas esferas o estructuras tipo cadena o ambas. Esta diferencia estructural produce una menor turbidez en las aguas. El sulfato férrico se usa como coagulante inorgánico para retirar del agua por coagulación y floculación, las partículas suspendidas coloidales. Se prepara por medio de sulfato ferroso como agente oxidante o por óxido férrico disolvente en ácido sulfúrico. (Revista CENIC)

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. (Vásquez 2018)

Metales Pesados

Son elementos tóxicos que tiene un peso molecular relativamente alto. Usualmente tienen una densidad superior a 5,0 g/cm³ por ejemplo, plomo, plata, mercurio, cadmio, cobalto, cobre, hierro, molibdeno, níquel, zinc. (Vásquez 2018)

Lodo Tratado

Son los lodos residuales procedentes de estaciones depuradoras de aguas residuales domésticas o urbanas y de aguas residuales de composición asimilable a urbana, tratados por vía biológica, química o térmica, mediante almacenamiento a largo plazo o cualquier otro procedimiento apropiado, de manera que se reduzca, de manera significativa, su poder de fermentación y los inconvenientes sanitarios de su utilización. (Irañeta S/F)

Lodo Deshidratado

Son los lodos tratados sometidos a un proceso de pérdida de agua por procedimientos físico-mecánicos o térmicos previos a su utilización en la agricultura. Los contenidos en humedad suelen ser superiores al 80%. (Irañeta S/F)

Lodos Pastosos

Son los lodos deshidratados con un contenido en materia seca entre 30-50%.

(Irañeta S/F)

Lodos Secados

Son lodos tratados con un contenido en humedad inferior al 70%.

(Irañeta S/F)

Lodos Secados Térmicamente

Son lodos tratados con un contenido en humedad inferior al 10%.

(Irañeta S/F)

Lodos Compostados

Son los lodos tratados sometidos a un proceso de transformación biológica aerobia, con la finalidad de obtener un producto estable y no fitotóxico. El compostaje se realiza con adición de otros residuos o productos. Este residuo de origen fecal tiene unos altos contenidos en materia orgánica y nutriente, nitrógeno y fósforo principalmente, que puede ser aprovechado en la agricultura. Sólo podrá ser utilizado si está estabilizado y libre de contaminantes, es decir, si es posible considerarlo como un recurso para el suelo. Además, su gestión se realizará bajo criterios agronómicos determinados por códigos de buenas prácticas agrícolas y sujeto a un estricto marco normativo sectorial.

(Irañeta S/F)

Aplicación Directa En Agricultura

Actualmente, una parte muy significativa de los lodos que se aplican en la agricultura se hace de forma directa, es decir, como lodo deshidratado. Las aplicaciones en líquido son mínimas y quedan restringidas a entornos muy locales próximos a pequeños sistemas de depuración. La gestión agrícola de los lodos de depuradora combina criterios económicos con medioambientales. Una eficaz gestión entraña una serie de

conocimientos de carácter empírico, basados en resultados de una dilatada experimentación agronómica. En estos ensayos de campo se obtiene la información precisa del comportamiento de un lodo específico en un suelo agrícola de unas características muy determinadas. Este conocimiento permitirá establecer las dosis más adecuadas para cada cultivo, de modo que se minimicen las pérdidas de nutrientes que podrían afectar al entorno. Esta necesidad de una guía de buenas prácticas agrícolas ha sido contemplada por el II PNLD (2008-2015), que en sus conclusiones sobre la aplicación de lodos en la agricultura establece la necesidad de:

- La redacción de Planes Integrales de Fertilización para mejorar el control de las aplicaciones agrícolas.
- La elaboración de un Manual Técnico sobre Almacenamiento.
- La redacción de guías de buenas prácticas para la aplicación en el suelo. (Irañeta S/F)

Funcionamiento de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

En su forma más simple, una planta de tratamiento de aguas residuales evacúa sólidos, reduce la materia orgánica y los contaminantes y restaura la presencia de oxígeno. Los sólidos incluyen todo, desde trapos y maderas, a arena y partículas pequeñas que se encuentran en las aguas residuales. La reducción de la materia orgánica y de los contaminantes es llevada a cabo usando bacterias útiles y otros micro-organismos que se usan para consumir la materia orgánica en el agua residual. Las bacterias y los micro-organismos son luego separados del agua. La restauración del oxígeno es importante ya que el agua debe tener suficiente oxígeno para sostener la vida. (Troconis, 2010)

Lodos de plantas de tratamiento

Los lodos producidos por las plantas de tratamiento de aguas residuales es uno de los problemas más difíciles de resolver tanto en los países industrializados como en los países en desarrollo. Esto se debe a que el lodo producido por las plantas de tratamiento de aguas residuales representa solo un pequeño porcentaje en volumen de las aguas

residuales procesadas, pero su manejo representa hasta el 50% de los costos operativos totales.

En los últimos años, la necesidad de lograr una estrategia sostenible de gestión de lodos se ha convertido en una gran preocupación, debido a las restricciones, y en algunos casos la prohibición legal, de las opciones de reciclaje convencionales y más tradicionales, como la utilización directa en la agricultura y otras tierras. Por lo tanto, el desarrollo de sistemas innovadores para maximizar la recuperación de materiales útiles y / o energía de manera sostenible se ha vuelto una gran necesidad.

(Biokube Bolivia Drecosoft © [2020])

Pasos en el Proceso de Tratamiento de Aguas Residuales

Pretratamiento: se retiran los componentes más grandes (rocas, papel, troncos, etc.).

Tratamiento Primario: se retiran los componentes más finos (arena, grava, limo, arcilla, etc.).

Tratamiento Secundario: uso de lodos para convertir a los microorganismos en componentes fácilmente removibles.

Manejo De Biosólidos: los lodos excedentes se digieren (por incineración, oxidación o digestión aeróbica), deshidratan y almacenan para su posterior manejo.

Desinfección: se inactivan bacterias, virus y cualquier patógeno para evitar daños a la salud de las personas.

Producto Final: el agua depurada se utiliza para fines agrícolas y ganaderos en su mayoría y el resto retorna al medio ambiente. (INCyTU, enero 2019)

Composición Química

Dependiendo del origen, los lodos pueden ser de naturaleza orgánica o inorgánica y diferir en cuanto al contenido en sólidos y composición. En general, los lodos procedentes de EDARUs, se caracterizan por tener un elevado contenido en agua (92-98%) y las materias suspendidas o disueltas están constituidas fundamentalmente por

materia orgánica en forma compleja (lípidos, proteínas y carbohidratos), conteniendo en mucha menor cantidad, sales inorgánicas y metales pesados.

Sustancias Poliméricas Extracelulares (SPE)

En el caso de los lodos biológicos, tienen especial interés las sustancias poliméricas extracelulares (SPE). Este término engloba la compleja mezcla de compuestos de alto peso molecular secretados por los microorganismos, los productos de la hidrólisis de macromoléculas y la materia orgánica adsorbida por estas sustancias poliméricas y pueden encontrarse en forma soluble o ligadas a las células. Las SPE tienen un papel clave en los procesos de depuración de aguas residuales, ya que intervienen en procesos de bioadsorción, floculación y adhesión. Por tanto, el estudio de las SPE es de gran importancia a la hora de caracterizar los lodos biológicos, ya que definen en gran medida sus propiedades al actuar como agentes estructurantes y condicionar la hidrofobicidad, la filtrabilidad, la electronegatividad, la capacidad de adsorción, la biodegradabilidad y la sedimentabilidad de estos agregados. (Universidad de Oviedo)

Propiedades Físicas

Las propiedades físicas de los lodos resultan determinantes para el adecuado diseño de los sistemas de tratamiento y transporte.

Contenido En Sólidos Y Densidad

El contenido en sólidos puede variar desde concentraciones del 0,5% en algunos lodos secundarios procedentes de lodos activos, hasta concentraciones del 20% que pueden encontrarse en lodos de lagunas anaerobias. Los sólidos totales (ST) se dividen en sólidos suspendidos (SS) y sólidos disueltos (SD). Habitualmente, cuando se indica el contenido de sólidos de un lodo, se refiere a los sólidos suspendidos. Tanto los SS como los SD se dividen en sólidos fijos (SF) y sólidos volátiles (SV). La relación SV/ST es un buen indicador de la fracción orgánica de los sólidos contenidos en los lodos y de su grado de digestión. Esta relación varía de 0,75 a 0,80 para lodos no digeridos y de 0,60 a 0,65 para lodos digeridos. La gravedad específica de los sólidos del lodo (densidad sólidos/densidad del agua) depende de estas relaciones, y a partir de este

valor puede estimarse la gravedad específica del lodo (agua más sólidos). (Universidad de Oviedo)

Caracterización De Los Lodos

La caracterización de los lodos es la clave para cuantificar las concentraciones de nutrientes para su aplicación en los suelos y de los compuestos dañinos que deben ser eliminados. Para el adecuado manejo de lodos se debe evaluar la composición química (incluida la concentración de metales pesados), así como el contenido de patógenos y parásitos que posean. Para la determinación de las demandas química y bioquímica de oxígeno DQO y DBO se utilizan técnicas espectrofotométricas, mientras que para los sólidos se utiliza el método gravimétrico o el volumétrico. En el caso del nitrógeno total se emplea el método de Kjeldahl y para determinar el fósforo total el de cloruro de estaño. Los metales pesados se analizan mediante absorción atómica. Todas las técnicas que se pueden utilizar se encuentran descritas. Según estudios realizados, se ha establecido un grupo de indicadores que debe ser cuantificado, ya que establece el grado de contaminación que presentan los lodos. Existe un intervalo de valores para cada uno de esos indicadores (Tabla 1) información que permite realizar una adecuada elección de los procesos de tratamiento, desde el punto de vista económico y medioambiental, con el objetivo de permitir su reúso o disposición segura.

Cuadro N°2 Caracterización De Los Lodos

Indicadores.	Máximo	Mínimo
DQO total (mg/L)	90000	6000
DBO total (mg/L)	30000	2000
Nitrógeno total (mg/L)	1500	200
Fósforo total (mg/L)	300	40
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	100000	7000
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	60000	4000
PH.	8,5	7,0
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	10^8	10^6

NMP Número más probable. DQO Demanda química de oxígeno. DBO Demanda Bioquímica de oxígeno. (Revista CENIC.)

Impacto Al Cambio Climático

Otro aspecto que se debe tener en cuenta con la mala disposición de lodos en sitios no aptos para esta actividad, es el aumento a la problemática con respecto al calentamiento global, cabe mencionar que la disposición de lodos en rellenos sanitarios provoca una importante generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI), dado que las condiciones anaeróbicas dentro de los depósitos fomentan la producción de metano (CH₄). Lo

anterior demarca que las emisiones de estos GEI se minimizan con un buen sistema de aplicación de lodos en suelos. (Avendaño, 2015)

Minimización Del Impacto

Es importante notar que el manejo del desecho no sólo se centra en el tratamiento, utilización y recuperación, sino que es más importante aún el aspecto de la producción en la fuente. Un mejor método de abordar el manejo del desecho debe concentrarse en la manera de reducir las cantidades de desecho residual durante todas las etapas de proceso de la planta extractora¹⁵. La minimización del desecho es siempre la primera selección en la jerarquía de las opciones de producción más limpia, un alto porcentaje de países desarrollados que buscan una producción más limpia disminuyendo considerablemente la cantidad de desechos, evitando serios problemas ambientales que se pueden originar si los desechos generados continúan multiplicándose y salen de control o tratamiento alguno. (Avendaño, 2015)

Uso De Lodo En Cultivos

Diversos estudios demuestran el potencial que tiene la aplicación de los lodos en el cultivo como complemento de la fertilización. Por su alto contenido de macro y micronutrientes, contribuye al incremento en la producción de frutos y es adecuado para su utilización en la producción de compost. El lodo con su alto contenido de materia orgánica produce el mejoramiento de la estructura de los suelos, importante para texturas muy granulosas, arenosas y arenosas francas. También incrementa la capacidad de retención del agua, especialmente en épocas de verano y baja pluviosidad. Asimismo favorece la coexistencia en el suelo de diferentes especies de microorganismos, aumentando considerablemente las enzimas y los metabolitos microbianos, lo que beneficia la estimulación de sustancias de acción Fito hormonal y la producción de vitaminas y aminoácidos, entre otros. Los lodos digeridos o estabilizados contienen grandes cantidades de agua. El método de deshidratación en lechos de secado es muy usado en los países tropicales por ser un proceso sencillo y de bajo costo. (Avendaño, 2015)

Cuadro N°3 Propiedades Químicas Típicas De Lodos Tratados O Biosólido

Propiedades	Unidad	Rango
Sólidos totales	%	0,83-1,16
Sólidos volátiles	%	59-88
Aceites y grasas	%	0,5-12
Proteínas	%	32-41
Nitrógeno	%	2,4-5
Fósforo	%	1,2-4,8
Potasio	%	0,4-0,5
pH		6,5-8,0
Alcalinidad	mg/l (Ca CO ₃)	580-1.100
Ácidos orgánicos	mg/l (HAc)	1.100-1.700
Contenido de energía	kcal/kg	18.500-23.000

Fuente: (Henríquez, 2011)

Digestión de lodos

La digestión de lodos es producida en las plantas de tratamiento de aguas residuales, durante su proceso, en las fases primaria, secundaria y terciaria, donde se involucra una combinación de procesos físico, químico y biológico. En la fase primaria, se pueden separar del agua servida componentes fluctuantes, basura arrastrada por el flujo del agua servida y arena. Los lodos están formados por sustancias contaminantes y peligrosas para la salud, por ese motivo los lodos deben ser tratados. Los lodos extraídos de los procesos de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales tienen un contenido en sólido que varía entre el 0.25 y el 12% de su peso. Los lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales dependen del tipo de planta de tratamiento y de la operación de ésta. En una planta de aguas residuales domésticas, los lodos se generan principalmente en las etapas de tratamiento primario y tratamiento secundario. (Vásquez, 2018).

Lodos primarios

Se producen en la sedimentación primaria, en la cual se remueven sólidos sedimentables. La cantidad depende de la carga superficial o tiempo hidráulico de retención. En la sedimentación primaria con químicos se produce más lodo, producto de una mayor remoción y de la precipitación química de la materia coloidal.

(Vásquez, 2018).

Lodos Secundarios

Se producen en procesos de tratamiento biológicos que convierten residuos o sustratos solubles en biomasa.

La cantidad producida depende de varios factores:

Eficiencia del tratamiento primario, relación de SST a DBO.

Cantidad de sustrato soluble.

Remoción de nutrientes y criterios de diseño del tratamiento.

Los lodos secundarios se producen en los reactores biológicos y se sedimentan o separan del agua en los sedimentadores secundarios. Estos sedimentadores tienen en su base una tolva para almacenar y concentrar los lodos sedimentados. La extracción del lodo sedimentado se efectúa por carga hidráulica y por el accionamiento mecánico de las rastras que “barren” el fondo del tanque, empujando los lodos sedimentados a la tolva para su extracción. (Vásquez, 2018).

Tecnologías aplicables y tamaños de plantas

Existe una gran variedad de tecnologías utilizadas en el saneamiento de las aguas residuales. Estas tecnologías se dividen principalmente en dos grupos, dependiendo del tipo de microorganismos que remueven la materia orgánica: procesos aerobios y procesos anaerobios. Los procesos aerobios son los más comúnmente usados y se dividen principalmente en procesos con biomasa suspendida y procesos con biomasa adherida, aunque también existen algunos híbridos. En los procesos con biomasa suspendida, siendo el más común el de lodos activados, los microorganismos se

encuentran suspendidos o flotando libremente en el agua y se separan por medio de sedimentación o membranas. Estos requieren de una corriente de retorno de lodos activados para obtener la concentración de biomasa requerida en el reactor. En los procesos con biomasa adherida, los microorganismos o biomasa forman una biopelícula que se adhiere a algún medio fijo o móvil. Dado que la biomasa está adherida, esta permanece en el reactor, sin embargo, a una concentración menor que en los procesos de biomasa suspendida. Los procesos aerobios, aunque tienen las desventajas de un gran consumo de energía y una mayor producción de lodos, permiten obtener una mejor calidad de agua tratada, son más fáciles de operar, y remueven nitrógeno y fósforo además de la materia orgánica. Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso? Ingeniería Química. Los procesos anaerobios tienen las principales ventajas de un menor requerimiento de energía, menor producción de lodo y producción de metano que puede ser utilizado para generación de energía. Sin embargo, estos procesos tienen un largo periodo de arranque, no se lleva a cabo la remoción biológica de nitrógeno y fósforo y generalmente se requiere una etapa aerobia posterior para cumplir con la calidad de agua tratada requerida. La tecnología a utilizar dependerá de muchos factores como el caudal a tratar, la calidad de agua cruda y agua tratada y los costos de inversión y operación y mantenimiento.

Los subproductos en el tratamiento de aguas residuales

Como resultado de la remoción de contaminantes del agua residual, se generan diferentes subproductos, principalmente basuras, arenas y lodos. En el tratamiento preliminar de las aguas residuales, se cuenta con etapas de cribado y desarenación. El objetivo de estas etapas es remover los contaminantes que puedan dañar tuberías, bombas y otros equipos ubicados aguas abajo en el tratamiento. El subproducto más importante en el tratamiento de aguas residuales, tanto por su volumen, como por el tratamiento posterior que requieren, son los lodos. Estos se producen principalmente en las etapas de tratamiento primario y tratamiento secundario del agua residual. Para poder disponerlos, es necesario estabilizarlos y desaguarlos para reducir la atracción de

vectores y su volumen. En las siguientes secciones se describe el origen de los lodos y sus características, la problemática en el manejo y disposición y las oportunidades de aprovechamiento y disposición. (Juan Gualberto Limón Macías 08 de Julio de 20

CAPÍTULO II
MATERIALES Y METODOS

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El presente trabajo de investigación se realizara en la zona el Tejar municipio de Cercado en el departamento de Tarija.

Ubicación

Ubicado geográficamente entre los paralelos 21° y 15° de latitud sur, y los meridianos $64^{\circ}21''$ y $65^{\circ}05''$ de latitud oeste con una altura promedio de 1850 m.s.n.m. específicamente en las instalaciones de Laboratorio De Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” $21^{\circ}32'31''S$ $64^{\circ}43'19''W$.



Características Agroclimáticas

DATOS AGROMETEOROLOGICOS

Estación:	Aeropuerto Tarija	Latitud Sud:	21° 32' 48"
Departamento:	Tarija	Longitud Oeste:	64° 42' 39"
Provincia:	Cercado	Altitud m/s/n/m:	1849
Serie Climática:	1970 - 2022		

PARAMETROS METEOROLOGICOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MÁXIMA ABSOLUTA (°C)	36.5	37.4	37.5	37.4	36.2	34.6	36.0	37.4	39.5	39.7	39.0	38.8	39.7
TEMPERATURA MÍNIMA ABSOLUTA (°C)	6.0	4.0	5.0	-2.0	-5.2	-7.7	-9.2	-7.9	-4.2	1.0	3.4	5.0	-9.2
TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA (°C)	27.2	26.7	26.3	25.8	24.9	24.4	24.2	25.6	26.5	27.7	27.5	27.6	26.2
TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA (°C)	14.6	14.1	13.6	11.1	6.2	2.9	2.6	4.9	8.0	11.7	13.2	14.4	9.8
TEMPERATURA MEDIA (°C)	20.9	20.4	20.0	18.5	15.5	13.6	13.4	15.3	17.2	19.7	20.4	21.0	18.0
AMPLITUD TERMICA (°C)	12.7	12.6	12.7	14.7	18.7	21.5	21.6	20.7	18.5	16.0	14.3	13.3	25.1
FRECUENCIA DE HELADAS (Días)	0.0	0.0	0.0	0.1	1.5	7.6	8.0	3.3	0.7	0.0	0.0	0.0	21.2
HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%)	67.2	69.1	69.2	66.2	60.2	54.8	53.1	50.8	51.0	55.0	59.5	63.6	60.0
EVAPORACION TOTAL (mm)													
INSOLACION TOTAL (Hrs./Sol)	179.7	162.4	170.2	185.9	210.6	205.1	234.4	239.9	222.8	205.6	183.6	165.6	2365.8
NUBOSIDAD MEDIA (Octas)	6.0	6.0	5.0	4.0	3.0	3.0	2.0	2.0	3.0	4.0	5.0	5.0	4.0
PRECIPITACIÓN TOTAL (mm)	141.7	105.4	84.8	20.0	2.2	0.8	1.0	1.7	7.7	36.5	66.4	123.1	591.3
PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 Hrs. (mm)	97.8	75.2	85.0	55.0	25.6	22.0	20.0	19.6	23.0	59.0	74.0	88.3	97.8
FRECUENCIA DE PRECIPITACIÓN (Días)	14.3	12.2	10.4	4.2	1.0	0.3	0.3	0.7	2.3	6.2	9.5	12.8	74.2
FRECUENCIA DE GRANIZADAS (Días)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1
DIRECCION Y VELOCIDAD MEDIA DE VIENTO (Dir-K	SE 5.4	SE 5.1	SE 5.0	SE 5.3	SE 4.7	SE 4.1	SE 5.0	SE 6.5	SE 8.1	SE 8.2	SE 7.6	SE 6.4	SE 6.0

INDICES AGROMETEOROLOGICOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA DIURNA (°C)	23.8	23.5	23.5	23.1	22.1	21.7	21.3	22.2	22.6	23.8	23.7	23.9	22.9
TEMPERATURA NOCTURNA (°C)	18.0	17.3	16.5	13.9	8.9	5.5	5.5	8.4	11.8	15.6	17.1	18.1	13.0
UNIDADES CALOR, BASE: 10 °C	337.9	291.2	310.0	255.0	170.5	108.0	105.4	164.3	216.0	300.7	312.0	341.0	2912.0
UNIDADES FOTOTERMICAS, BASE: 10 °C	446.0	369.8	375.1	293.3	187.6	115.6	113.8	184.0	254.9	375.9	405.6	453.5	3575.0
HORAS FRIO (Hrs.)	0.0	0.0	0.0	0.0	43.0	97.2	102.9	48.7	0.0	0.0	0.0	0.0	291.9
RADIACION SOLAR (Cal/Cm2/día)	450.5	437.1	390.6	360.2	327.4	301.9	327.3	377.4	424.3	443.2	454.0	436.0	394.2
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (mm)	131.9	109.9	106.7	88.6	75.6	67.0	73.0	92.5	112.0	135.1	136.4	140.8	1269.5

Materiales

Material de campo

- Bolsas de cultivo (25x30).
- GPS.
- Semilla de rábano.
- pH metro.
- Bandeja de germinación.
- Letreros.
- Palas.
- Combo.
- Carretilla.
- Sustrato (arena).
- Lodos (planta de tratamientos).
- Media sombra.
- Regadera.
- Tijeras.

Material y equipos de laboratorio

- Espectrofotómetros.
- Fotómetros.
- pH metro.
- Conductímetro.
- Vaso de precipitados.
- Probetas.
- Tubos de centrifuga.
- Matraces.
- Pipetas.
- Buretas.
- Papel filtro.

- Reactivos.
- Hexametáfosfato de sodio (3m).
- Agitador vertical.
- Centrifuga de separación.
- Balanza.
- Balanza analítica.
- Hidrómetro.
- Termómetro.
- Caja Petri.
- Destilador kjeldahl.
- Destilador de agua.
- Purificador de agua.
- Pinzas.
- Gradillas.
- Estufa.
- Mufla.
- Er lenmeyer.
- Crisoles.

Metodología

Selección de las masetas: Se deben seleccionar masetas de plástico con diseño de bloques completamente al azar que sean del tamaño adecuado para el cultivo de rábanos.

Preparación de los sustratos:

Se deben preparar cuatro tipos de sustratos diferentes: uno con un 5% de lodo, otro con un 10% de lodo, otro con 20% y el último con un 30% de lodo. Todos los sustratos deben contener también tierra, arena para generar un ambiente óptimo para el desarrollo de los rábanos.

Almacigado y trasplantado de los rábanos:

Se deben sembrar semillas de rábanos en una bandeja de almacigado, pasado los 7 días se realizara el trasplante de las plantas a sus respectivas macetas con los distintos tratamientos para su desarrollo.

Cuidado de los rábanos:

Se deben regar las plantas regularmente, evitando que las masetas se sequen. También se deben controlar las plagas y enfermedades.

Evaluación del rendimiento:

Se deben medir los principales indicadores de crecimiento de los rábanos, como el número de hojas, la altura de la planta, diámetro de la raíz, peso fresco y seco de los rábanos y compararlos para determinar el efecto de los diferentes porcentajes de lodo en su desarrollo.

Análisis de datos:

Se deben analizar las estadísticas y los resultados de los indicadores de crecimiento para determinar qué porcentaje de lodo produce los mejores resultados y hacer recomendaciones para su uso en la agricultura.

Diseño Experimental**Sustrato arenoso:**

El diseño experimental es en bloques al azar con 5 tratamientos y 4 repeticiones, con 20 unidades experimentales.

Sustrato arcilloso

El diseño experimental es en bloques al azar con 5 tratamientos y 4 repeticiones, con 20 unidades experimentales.

Tratamientos para los dos sustratos

T1: 100% Suelo (control).

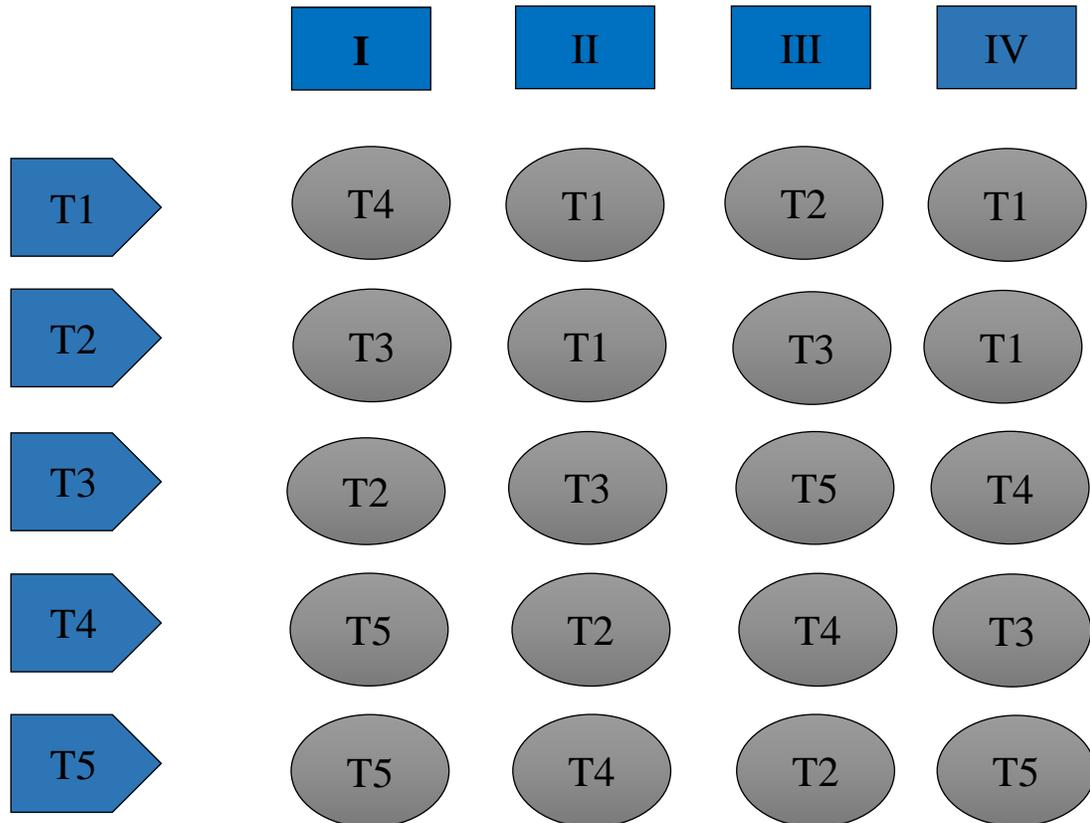
T2: 95% Suelo + 5% Lodos residuales.

T3: 90% Suelo + 10% Lodos residuales.

T4: 80% Suelo + 20% Lodos residuales.

T5: 70% Suelo + 30% Lodos residuales.

Diseño De Campo:



Procedimiento Experimental

Paso 1: Preparación de las unidades experimentales:

Se delimitarán 40 unidades experimentales.

Se mezclarán las proporciones de suelo y lodos residuales de acuerdo con los tratamientos designados.

Paso 2: almacigado y trasplantado:

Se realizara el almacigado del rábano en una bandeja pasado los 7 días se trasplantara los rábanos a cada tratamiento experimental para su crecimiento.

Pasó 3: Monitoreo y recolección de datos:

Se realizará un seguimiento regular del crecimiento de las plantas y se registrarán las mediciones pertinentes.

Al alcanzar la madurez, se cosecharán los rábanos y se medirá el rendimiento y la calidad de los mismos.

Pasó 4: Análisis de datos:

Se analizarán los datos recolectados utilizando técnicas estadísticas apropiadas para determinar diferencias significativas entre tratamientos.

Pasó 5: Conclusiones y recomendaciones:

Se elaborarán conclusiones basadas en los resultados obtenidos y se formularán recomendaciones prácticas para agricultores y autoridades reguladoras sobre el uso óptimo de lodos residuales como fertilizante en la producción de rábanos.

Variables De Respuesta

Suelo: pH, CE contenido de nutrientes (N, P, K), materia orgánica, textura, densidad aparente.

Planta: Altura de la planta, número de hojas, largo del bulbo, diámetro del bulbo, peso del bulbo peso fresco y seco de los rábanos.

Cronograma de actividades

Actividad	Duración	Fecha de Inicio	Fecha de Finalización
7+1.Preparación de las unidades experimentales.	1 semana	05/08/2024	10/08/2024
2. mezclar las proporciones de suelo y lodos residuales de acuerdo con los tratamientos designados.	3 días	14/08/2024	16/08/2024
3. siembra de semillas de rábanos en cada unidad experimental, utilizando el mismo tipo y cantidad de semillas para todos los tratamientos.	1 día	19/08/2024	19/08/2024
4. Prácticas de riego.	2 veces por semana		
5. Cuidado estándar.	Cada día		
6. Realizar un seguimiento regular del crecimiento de las plantas y se registrarán las mediciones pertinentes.	2 meses	19/08/2024	19/10/2024
7. analizar los datos recolectados utilizando técnicas estadísticas apropiadas para determinar diferencias significativas entre tratamientos.	2 semanas	20/10/2024	02/11/2024

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUCION

Resultados y discusión:

Resultados de la Desinfección

El proceso de desinfección del lodo mediante la adición de cal en porcentajes del 15% y 20% fue evaluado en términos de eficacia microbiológica. Se comprobó que la adición de cal en estas proporciones resultó en una reducción significativa de la carga microbiológica, cumpliendo con los parámetros parasitológicos establecidos en la mayoría de las normativas internacionales, dado que en Bolivia no se cuenta con una regulación específica sobre este tema.

Estudios previos indican que la desinfección comienza a ser efectiva a partir del 10% de adición de cal, pero en esta investigación se analizó la eficacia en porcentajes superiores para evaluar su impacto en la calidad del suelo y el crecimiento del cultivo.

Desinfección del Lodo

Previo al tratamiento, el lodo crudo proveniente del tratamiento de aguas residuales de origen doméstico contenía una alta presencia de bacterias y parásitos, lo que representa un riesgo para su uso agrícola. La adición de cal al 15% y 20% con el tiempo de reposo aplicado permitió una reducción efectiva de microorganismos patógenos, alcanzando niveles seguros para su utilización en suelos agrícolas.

La evaluación microbiológica posterior al tratamiento mostró que los valores de organismos patógenos disminuyeron por debajo de los límites aceptables en normativas internacionales. Esto confirma que el proceso de alcalinización con cal es un método efectivo para la sanitización del lodo, mejorando su calidad y permitiendo su aplicación en la producción agrícola con menor riesgo sanitario.

Numero De Hojas Del Rábano En Sustrato Arenoso:

Se realizó en conteo de hojas al día 30 en sustrato arenoso.

Tabla 1 Número De Hojas Por Planta Del Rábano De Los Tratamientos

TRATAMIENTO	REPETICIONES				TOTAL	MEDIA
	I	II	III	IV		
T1	7	8	9	9	33	8.25
T2	8	7	6	7	28	7
T3	8	10	8	7	33	8.25
T4	11	7	8	6	32	8
T5	2	4	8	6	20	5

En la tabla 1 podemos observar el número de hojas de los 5 tratamientos con sustrato arenoso, total y la media.

Donde T1 (testigo) y T3 (10% de lodo) tienen el mayor promedio con 8.25 seguido del T4 (20% de lodo) con 8 y T2 (5% de lodo) 7 y por último tenemos al T5 (30% de lodo) con 5 un promedio bajo.

Tabla 2 Tabla De Análisis De Varianza

	Grados De Libertad	Suma De Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor De F	Sig.
Entre grupos	4	30.700	7.675	2.647	0.0748
Dentro de los grupos	15	43.500	2.900		
Total	19	74.200			

Coefficiente de variación = 23.33 %.

Se tiene que los tratamientos son altamente significativos por tanto.

Tabla 3 Prueba De Diferencia Significativa De Tukey Con Un Nivel De Significancia Del 0.05%

Tratamientos	Medias	Rangos De Significación
1 (testigo)	8.250	A
3 (10%lodo)	8.250	A
4 (20%lodo)	8.000	A
2 (5% lodo)	7.000	A
5 (30%lodo)	5.000	A

Todos los tratamientos (1, 2, 3, 4 y 5) están en la misma categoría de significancia estadística representada por la letra "A". Esto indica que no hay diferencias significativas entre ellos en términos de las medias obtenidas. En otras palabras, los tratamientos no tienen efectos estadísticamente distintos.

Tabla 4 Prueba De Diferencia Significativa De Tukey Con Un Nivel De Significancia Del 0.01%

Tratamientos	Medias	Rangos De Significación
1 (testigo)	8.250	A
3 (10%lodo)	8.250	A
4 (20%lodo)	8.000	A
2 (5% lodo)	7.000	A
5 (30%lodo)	5.000	A

Todos los tratamientos (1, 2, 3, 4 y 5) están en la misma categoría de significancia estadística representada por la letra "A". Esto indica que no hay diferencias significativas entre ellos en términos de las medias obtenidas. En otras palabras, los tratamientos no tienen efectos estadísticamente distintos.

Numero De Hojas Del Rábano En Sustrato Arcilloso:

Se realizó el conteo de hojas de las plantas al día 30.

Tabla 5 Número De Hojas Del Rábano Por Planta De Los Tratamientos

TRATAMIENTO	REPETICIONES				TOTAL	MEDIA
	I	II	III	IV		
T1	8	8	8	6	30	7.5
T2	8	7	7	5	27	6.75
T3	5	5	6	7	23	5.75
T4	5	7	8	6	26	6.5
T5	7	6	7	8	28	7

En la tabla 5 podemos observar el número de hojas de los 5 tratamientos con sustrato arcilloso, total y la media.

Donde T1 (testigo) tiene el porcentaje más alto con 7.5 seguido de T5 (30% de lodo) con 7 después tenemos al T2 (5% de lodo) con 6.75 y no por mucho tenemos después T4 (20% de lodo) con 6.5 y por último tenemos T3 (10% de lodo) con 5.75.

Tabla 6 Tabla De Análisis De Varianza

	Grados De Libertad	Suma De Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor De F	Sig.
Entre grupos	4	6.700	1.675	1.436	0.2705
Dentro de los grupos	15	17.500	1.167		
Total	19	24.200			

Coefficiente de variación= 16.12%.

Tabla 7 Prueba De Diferencia Significativa De Tukey Con Un Nivel De Significancia Del 0.05%

Tratamientos	Medias	Rangos De Significancia
1 (testigo)	7.5	A
5 (30% de lodo)	7	A
2 (5% de lodo)	6.75	A
4 (20% de lodo)	6.5	A
3 (10% de lodo)	5.75	A

Todos los tratamientos (1, 2, 3, 4 y 5) están en la misma categoría de significancia estadística representada por la letra "A". Esto indica que no hay diferencias significativas entre ellos en términos de las medias obtenidas. En otras palabras, los tratamientos no tienen efectos estadísticamente distintos.

Tabla 8 Prueba De Diferencia Significativa De Tukey Con Un Nivel De Significancia Del 0.01%

Tratamientos	Medias	Rangos De Significancia
1 (testigo)	7.5	A
5 (30% de lodo)	7	A
2 (5% de lodo)	6.75	A
4 (20% de lodo)	6.5	A
3 (30% de lodo)	5.75	A

Todos los tratamientos (1, 2, 3, 4 y 5) están en la misma categoría de significancia estadística representada por la letra "A". Esto indica que no hay diferencias significativas entre ellos en términos de las medias obtenidas. En otras palabras, los tratamientos no tienen efectos estadísticamente distintos.

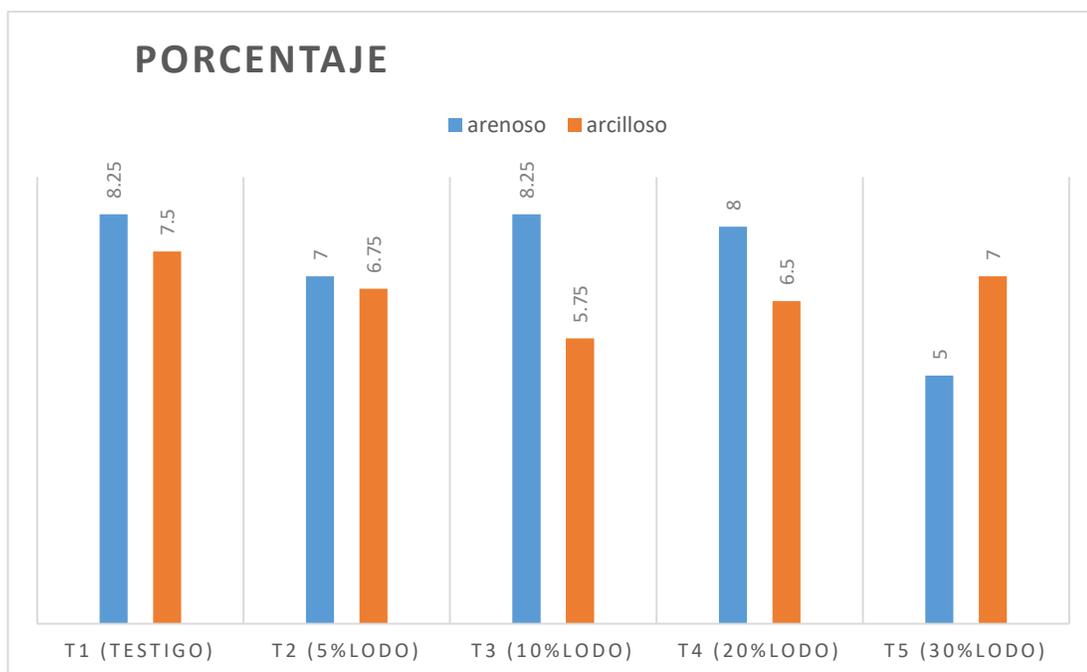


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..1 comparación de número de hojas de los tratamientos del sustrato arenoso con el arcilloso.

En la figura número 1 podemos demostrar que el rábano en el suelo arenoso tiene mayor número de hojas comparadas con la arcillosa a excepción del tratamiento 5.

Altura De La Planta De Rábano En Sustrato Arenoso En (Cm):

Se realizó la medición de las plantas al día 30 en sustrato arenoso.

Tabla 9 Altura De La Planta De Rábano De Los Tratamientos

TRATAMIENTO	REPETICIONES				TOTAL	MEDIA
	I	II	III	IV		
T1	23	24	22.5	21.5	91	22.75
T2	22	22.5	18.5	19.50	82.5	20.625
T3	26	20	23	19	88	22
T4	16	15	15	8.5	54.5	13.625
T5	3	6	17	8	34	8.5

En la tabla 9 podemos observar la altura de la planta de los 5 tratamientos con sustrato arenoso, total y la media.

Donde T1 (testigo) tiene el valor más alto con 22.75 después tenemos a T3 (10% de lodo) con 22 seguido tenemos a T2 (5% de lodo) después tenemos a T4 (20% de lodo) y por ultimo tenemos T5 (30% de lodo) con un valor muy bajo de 8.5.

Tabla 10 Tabla De Análisis De Varianza

	Grados De Libertad	Suma De Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor De F	Sig.
Entre grupos	4	614.375	153.594	12.182	0.0001
Dentro de los grupos	15	189.125	12.608		
Total	19	803.500			

Coefficiente de variación = 20.29%.

Tabla 11 Prueba De Diferencia Significativa De Tukey Con Un Nivel De Significancia Del 0.05%

Tratamientos	Medias	Rangos De Significancia
1 (testigo)	22.75	A
3 (10% de lodo)	22.00	A
2 (5% de lodo)	20.63	AB
4 (20% de lodo)	13.63	BC
5 (30% de lodo)	8.500	C

Los tratamientos con 10% de lodo (tratamiento 3) y el testigo (tratamiento 1) obtuvieron las mejores respuestas, sin diferencias significativas entre ellos y también el tratamiento 2 (5% de lodo). A medida que aumenta la proporción de lodo, especialmente a partir del 20% y 30%, se observa una disminución significativa en los resultados. El tratamiento con 30% de lodo tuvo un desempeño significativamente inferior a los demás, indicando que esa proporción no es adecuada para este caso. Estos

resultados sugieren que proporciones moderadas de lodo (como el 10%) podrían ser beneficiosas, mientras que niveles altos (20% y 30%) tienen efectos negativos.

Tabla 12 Prueba De Diferencia Significativa De Tukey Con Un Nivel De Significancia Del 0.01%

Tratamientos	Medias	Rangos De Significancia
1 (testigo)	22.75	A
3 (10% de lodo)	22.00	A
2 (5% de lodo)	20.63	A
4 (20% de lodo)	13.63	AB
5 (30% de lodo)	8.500	B

Los tratamientos testigo (1), 10% de lodo (3) y 5% de lodo (2) no presentan diferencias significativas entre ellos al 0.01. Esto indica que el uso de 10% o 5% de lodo no afecta negativamente el rendimiento en comparación con el testigo.

El tratamiento con 20% de lodo (4) tiene un rendimiento significativamente menor que los tratamientos con mejores medias (A), pero no está completamente diferenciado, ya que forma parte de un grupo intermedio (AB).

El tratamiento con 30% de lodo (5) muestra un efecto claramente negativo, siendo significativamente inferior a todos los demás tratamientos.

Altura De La Planta De Rábano En Sustrato Arcilloso (cm):

Se hizo la medición de altura de la planta al día 30.

Tabla 13 Altura De La Planta De Rábano De Los Tratamientos

TRATAMIENTO	REPETICIONES				TOTAL	MEDIA
	I	II	III	IV		
T1	25.5	26.5	23	19.5	94.5	23.625
T2	27	25	24	15	91	22.75
T3	20	11	19.5	20	70.5	17.625
T4	14.5	22	21	11	68.5	17.125
T5	24	13	18	14.5	69.5	17.375

En la tabla 13 podemos observar la altura de la planta de los 5 tratamientos con sustrato arcilloso, total y la media.

Donde T1 (testigo) tiene el valor más alto con 23.625 seguido de T2 (5% de lodo) con 22.75 seguido de T3 (10% de lodo) con 17.625 T5 (30% de lodo) con 17.375 T4 (20% de lodo) con 17.125 todos con un valor muy cercano.

Tabla 14 Tabla De Análisis De Varianza

	Grados De Libertad	Suma De Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor De F	Sig.
Entre grupos	4	164.2	41.05	1.880	0.166
Dentro de los grupos	15	327.5	21.833		
Total	19	491.7			

Coeficiente de variación= 23.72%.

Tabla 15 Prueba De Diferencia Significativa De Tukey Con Un Nivel De Significancia Del 0.05%

Tratamientos	Medias	Rangos De Significancia
1 (testigo)	23.63	A
2 (5% de lodo)	22.75	A
3 (10% de lodo)	17.63	A
5 (30% de lodo)	17.38	A
4 (20% de lodo)	17.13	A

Todos los tratamientos (1, 2, 3, 4 y 5) están en la misma categoría de significancia estadística representada por la letra "A". Esto indica que no hay diferencias significativas entre ellos en términos de las medias obtenidas. En otras palabras, los tratamientos no tienen efectos estadísticamente distintos.

Tabla 16 Prueba De Diferencia Significativa De Tukey Con Un Nivel De Significancia Del 0.01%

Tratamientos	Medias	Rangos De Significancia
1 (testigo)	23.63	A
2 (5% de lodo)	22.75	A
3 (10% de lodo)	17.63	A
5 (30% de lodo)	17.38	A
4 (20% de lodo)	17.13	A

Todos los tratamientos (1, 2, 3, 4 y 5) están en la misma categoría de significancia estadística representada por la letra "A". Esto indica que no hay diferencias significativas entre ellos en términos de las medias obtenidas. En otras palabras, los tratamientos no tienen efectos estadísticamente distintos.

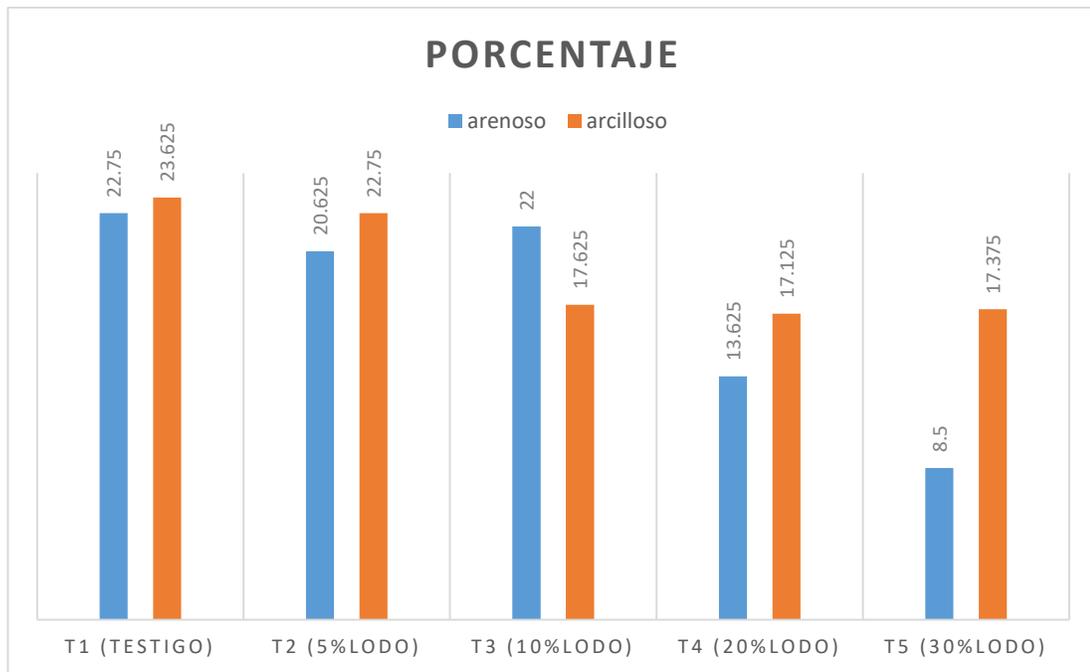


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..2 comparaciones de altura de la planta de los tratamientos del sustrato arenoso con el arcilloso.

El sustrato arcilloso muestra un mejor desempeño general en términos de altura de las plantas en todos los tratamientos, lo que puede deberse a sus propiedades físicas y químicas, como la mayor retención de agua y nutrientes.

Las proporciones de lodo de 20% y 30% tienen un efecto negativo evidente, especialmente en el sustrato arenoso, sugiriendo que concentraciones altas de lodo no son adecuadas para este tipo de suelo.

El tratamiento con 10% de lodo muestra resultados equilibrados y consistentes entre ambos sustratos, lo que podría considerarse como una proporción óptima para promover el desarrollo de las plantas.

Largo del bulbo sustrato arenoso en (mm):

Se procedió a medir lo largo del bulbo en (mm) el 21 de noviembre.

Tabla 17 Largo Del Bulbo De Los Tratamientos

TRATAMIENTO	REPETICIONES				TOTAL	MEDIA
	I	II	III	IV		
T1	52.10	50.50	78.80	83.80	265.20	66.30
T2	38.50	45.20	49.70	72.90	206.30	51.58
T3	22.70	39.50	43.10	59.20	164.50	41.13
T4	28.70	26.70	39.40	22.80	117.60	29.40
T5	6.90	4.50	14.70	30.90	57.00	14.25

En la tabla 17 podemos observar el largo del bulbo de los 5 tratamientos con sustrato arenoso, total y la media.

Donde T1 (testigo) con 66.30 tiene el valor más alto seguido del T2 (5% de lodo) con 51.58 después tenemos al T3 (10% de lodo) con 41.13 seguido de T4 (20% de lodo) con 29.40 y por ultimo tenemos a T5 (30 % de lodo) con un valor bajo de 14.25.

Tabla 18 Tabla De Análisis De Varianza

	Grados De Libertad	Suma De Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor De F	Sig.
Entre grupos	4	6403.817	1600.954	8.473	0.0009
Dentro de los grupos	15	2834.225	188.948		
Total	19	9238.043			

Coefficiente de variación= 33.92%.

Tabla 19 Prueba De Diferencia Significativa De Tukey Con Un Nivel De Significancia Del 0.05%

Tratamientos	Medias	Rangos De Significancia
1 (testigo)	66.30	A
2 (5% de lodo)	51.58	AB
3 (10% de lodo)	41.13	ABC
4 (20% de lodo)	29.40	BC
5 (30% de lodo)	14.25	C

El testigo (T1) tiene el mejor rendimiento, pero no hay diferencias significativas con el tratamiento con 5% de lodo (T2).

Efectos negativos del lodo: A partir del 10% de lodo (T3), el rendimiento comienza a disminuir significativamente. El tratamiento con 30% de lodo (T5) presenta el peor desempeño, siendo estadísticamente diferente (rango C) de todos los tratamientos superiores.

Transición entre grupos: La existencia de rangos intermedios (AB, ABC, BC) refleja una transición progresiva en la disminución del rendimiento, lo cual es relevante al definir límites seguros para la aplicación de lodo.

Tabla 20 Prueba de diferencia significativa de tukey con un nivel de significancia del 0.01%

Tratamientos	Medias	Rangos De Significancia
1 (testigo)	66.30	A
2 (5% de lodo)	51.58	AB
3 (10% de lodo)	41.13	AB
4 (20% de lodo)	29.40	AB
5 (30% de lodo)	14.25	B

El testigo (T1) tiene el mejor rendimiento, pero no muestra diferencias significativas al 0.01 con los tratamientos que contienen 5%, 10% o 20% de lodo (T2, T3 y T4). Esto indica que estas proporciones de lodo no afectan significativamente el rendimiento comparado con el control.

A partir del 30% de lodo (T5), se observa se encuentra completamente diferenciado (B) de todos los demás, lo que evidencia que proporciones tan altas no son adecuadas.

Los tratamientos 2, 3 y 4 pertenecen al grupo intermedio (AB) y no están completamente diferenciados entre sí. Esto indica que hay una disminución gradual en el rendimiento a medida que aumenta la proporción de lodo, aunque no es estadísticamente significativa al nivel del 1%.

Largo Del Bulbo Sustrato Arcilloso:

Se procedió a medir lo largo del bulbo en (mm).

Tabla 21 Largo Del Bulbo De Los Tratamientos

TRATAMIENTO	REPETICIONES				TOTAL	MEDIA
	I	II	III	IV		
T1	36.60	53.60	35.20	45.60	171.00	42.75
T2	44.30	29.50	38.10	40.10	152.00	38.00
T3	21.90	19.00	30.60	43.60	115.10	28.78
T4	21.60	44.20	47.60	27.40	140.80	35.20
T5	43.40	30.60	39.30	39.70	153.00	38.25

En la tabla 21 podemos observar el largo del bulbo de los 5 tratamientos con sustrato arcilloso, total y la media.

Donde T1 (testigo) tiene el valor más alto con 42.75 seguido de T5 (30% de lodo) con 38.25 y T2 (5% de lodo) con 38 sin mucha diferencia entre ellos seguido de T4 (20% de lodo) con 35.20 y por ultimo tenemos a T3 (10% de lodo) con 28.78.

Tabla 22 Tabla De Análisis De Varianza

	Grados De Libertad	Suma De Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor De F	Sig.
Entre grupos	4	422.782	105.6955	1.247	0.334
Dentro de los grupos	15	1271.7675	84.7845		
Total	19	1694.5495			

Coefficiente de variación= 25.16%.

Tabla 23 Prueba De Diferencia Significativa De Tukey Con Un Nivel De Significancia Del 0.05%

Tratamientos	Medias	Rangos De Significancia
1 (testigo)	42.75	A
5 (30% de lodo)	38.25	A
2 (5% de lodo)	38.00	A
4 (20% de lodo)	35.20	A
3 (10% de lodo)	28.77	A

Todos los tratamientos (1, 2, 3, 4 y 5) están en la misma categoría de significancia estadística representada por la letra "A". Esto indica que no hay diferencias significativas entre ellos en términos de las medias obtenidas. En otras palabras, los tratamientos no tienen efectos estadísticamente distintos.

Tabla 24 Prueba De Diferencia Significativa De Tukey Con Un Nivel De Significancia Del 0.01%

Tratamientos	Medias	Rangos De Significancia
1 (testigo)	42.75	A
5 (30% de lodo)	38.25	A
2 (5% de lodo)	38.00	A
4 (20% de lodo)	35.20	A
3 (10% de lodo)	28.77	A

Todos los tratamientos (1, 2, 3, 4 y 5) están en la misma categoría de significancia estadística representada por la letra "A". Esto indica que no hay diferencias significativas entre ellos en términos de las medias obtenidas. En otras palabras, los tratamientos no tienen efectos estadísticamente distintos.

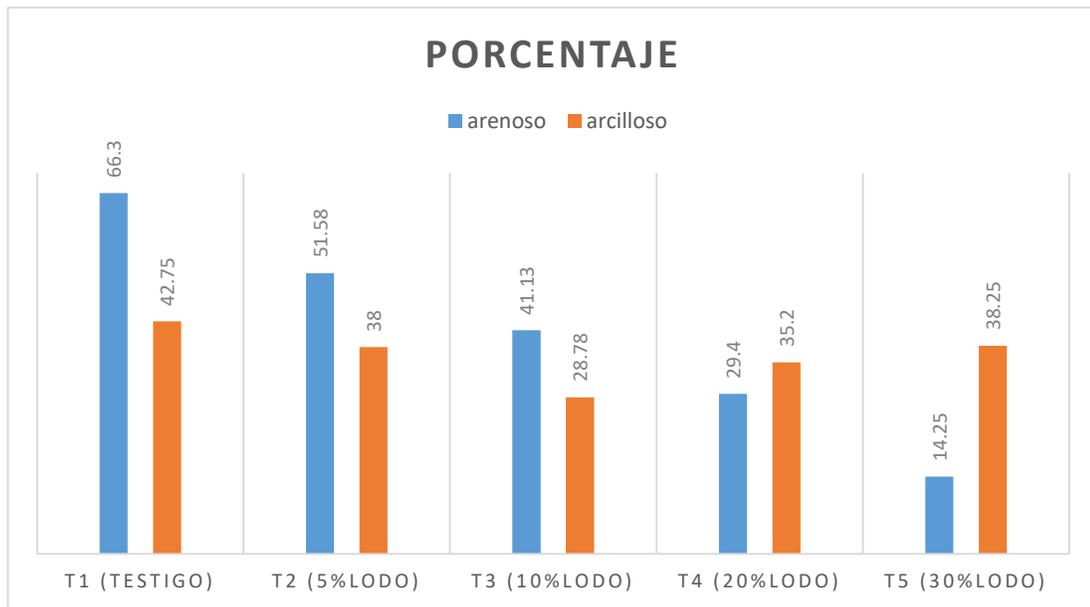


Figura ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..3 comparaciones del largo del bulbo de los tratamientos de los sustratos arenoso y arcilloso.

Este gráfico sugiere que el sustrato arenoso favorece el crecimiento del bulbo en condiciones controladas o con una baja cantidad de lodo, pero a medida que el porcentaje de lodo aumenta, su rendimiento disminuye. En cambio, el sustrato arcilloso tiene un mejor rendimiento con mayores cantidades de lodo, aunque sigue siendo menos eficiente en condiciones de bajo lodo en comparación con el arenoso. Este análisis puede ser útil para entender cómo el tipo de sustrato y la cantidad de lodo afectan el desarrollo del bulbo en tu estudio.

Diámetro del bulbo con sustrato arenoso en (mm)

Tabla 25 Diámetro Del Bulbo Con Sustrato Arenoso:

TRATAMIENTO	REPETICIONES				TOTAL	MEDIA
	I	II	III	IV		
T1	53.30	45.20	48.00	54.30	200.80	50.20
T2	35.10	45.60	38.20	45.10	164.00	41.00
T3	28.50	41.00	45.70	44.10	159.30	39.83
T4	29.80	28.70	32.90	17.20	108.60	27.15
T5	2.30	2.20	13.60	33.20	51.30	12.83

En la tabla 25 podemos observar el diámetro del bulbo de los 5 tratamientos con sustrato arenoso, total y la media.

Donde T1 (testigo) tiene el valor más alto con 50.20 seguido de T2 (5% de lodo) con 41.00 después tenemos a T3 (10% de lodo) con 39.83 el T4 (20% de lodo) con 27.15 y por ultimo tenemos T5 (30% de lodo) con 12.83.

Tabla 26 Tabla De Análisis De Varianza

	Grados De Libertad	Suma De Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor De F	Sig.
Entre grupos	4	3361.895	840.474	11.459	0.0002
Dentro de los grupos	15	1100.205	73.347		
Total	19	4462.100			

Coefficiente de variación= 25.04%.

Tabla 27 Prueba de diferencia significativa de tukey con un nivel de significancia del 0.05%

Tratamientos	Medias	Rangos De Significancia
1 (testigo)	50.20	A
2 (5%lodo)	41.00	AB
3 (10%lodo)	39.83	AB
4 (20% lodo)	27.15	BC
5 (30%lodo)	12.83	C

El tratamiento testigo (T1) presenta el mayor rendimiento. Los tratamientos con 5% de lodo (T2) y 10% de lodo (T3) no presentan diferencias significativas con el testigo, ya que comparten el grupo AB.

A partir del 20% de lodo (T4), el rendimiento disminuye significativamente. Este tratamiento pertenece al grupo BC

El tratamiento con 30% de lodo (T5) tiene un rendimiento significativamente inferior y forma parte exclusivamente del grupo C, indicando que esta proporción tiene un impacto negativo claro.

Tabla 28 Prueba De Diferencia Significativa De Tukey Con Un Nivel De Significancia Del 0.01%

Tratamientos	Medias	Rangos De Significancia
1 (testigo)	50.20	A
2 (5%lodo)	41.00	A
3 (10%lodo)	39.83	A
4 (20% lodo)	27.15	AB
5 (30%lodo)	12.83	B

Los tratamientos testigo (T1), 5% de lodo (T2) y 10% de lodo (T3) no presentan diferencias significativas entre sí, ya que comparten el rango A. Esto sugiere que estas proporciones de lodo no afectan significativamente el rendimiento en comparación con el control.

El tratamiento con 20% de lodo (T4) muestra una disminución significativa en el rendimiento, comenzando a diferenciarse estadísticamente de los tratamientos superiores (A) y acercándose al grupo B.

El tratamiento con 30% de lodo (T5) tiene un rendimiento significativamente inferior y está completamente diferenciado del resto de los tratamientos (B).

Diámetro Del Bulbo Con Sustrato Arcilloso:

Tabla 29 Diámetro Del Bulbo De Los Tratamientos

TRATAMIENTO	REPETICIONES				TOTAL	MEDIA
	I	II	III	IV		
T1	34.70	44.60	27.00	35.40	141.70	35.43
T2	38.50	19.80	31.10	19.20	108.60	27.15
T3	25.60	17.20	27.40	41.60	111.80	27.95
T4	14.30	40.90	42.20	24.20	121.60	30.40
T5	25.80	30.00	41.10	45.30	142.20	35.55

En la tabla 29 podemos observar el diámetro del bulbo de los 5 tratamientos con sustrato arcilloso, total y la media.

Donde T5 (30% de lodo) con 35.55 y T1 (testigo) con 35.43 sin mucha diferencia son los más altos seguido de T4 (20% de lodo) con 30.40 después tenemos a T3 (10% de lodo) con 27.95 y T2 (5% de lodo) con 27.15 ambos sin mucha diferencia.

Tabla 30 Tabla De Análisis De Varianza

	Grados De Libertad	Suma De Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor De F	Sig.
Entre grupos	4	257.332	64.333	0.633	0.646

Dentro de los grupos	15	1523.917	101.594		
Total	19	1781.249			

Coefficiente de variación= 32.21%.

Tabla 31 Prueba De Diferencia Significativa De Tukey Con Un Nivel De Significancia Del 0.05%

Tratamientos	Medias	Rangos De Significancia
5 (30% de lodo)	35.55	A
1 (testigo)	35.42	A
4 (20% de lodo)	30.40	A
3 (10% de lodo)	27.95	A
2 (5% de lodo)	27.15	A

Todos los tratamientos (1, 2, 3, 4 y 5) están en la misma categoría de significancia estadística representada por la letra "A". Esto indica que no hay diferencias significativas entre ellos en términos de las medias obtenidas. En otras palabras, los tratamientos no tienen efectos estadísticamente distintos.

Tabla 32 Prueba De Diferencia Significativa De Tukey Con Un Nivel De Significancia Del 0.01%

Tratamientos	Medias	Rangos De Significancia
5 (30% de lodo)	35.55	A
1 (testigo)	35.42	A
4 (20% de lodo)	30.40	A
3 (10% de lodo)	27.95	A

2 (5% de lodo)	27.15	A
----------------	-------	---

Todos los tratamientos (1, 2, 3, 4 y 5) están en la misma categoría de significancia estadística representada por la letra "A". Esto indica que no hay diferencias significativas entre ellos en términos de las medias obtenidas. En otras palabras, los tratamientos no tienen efectos estadísticamente distintos.

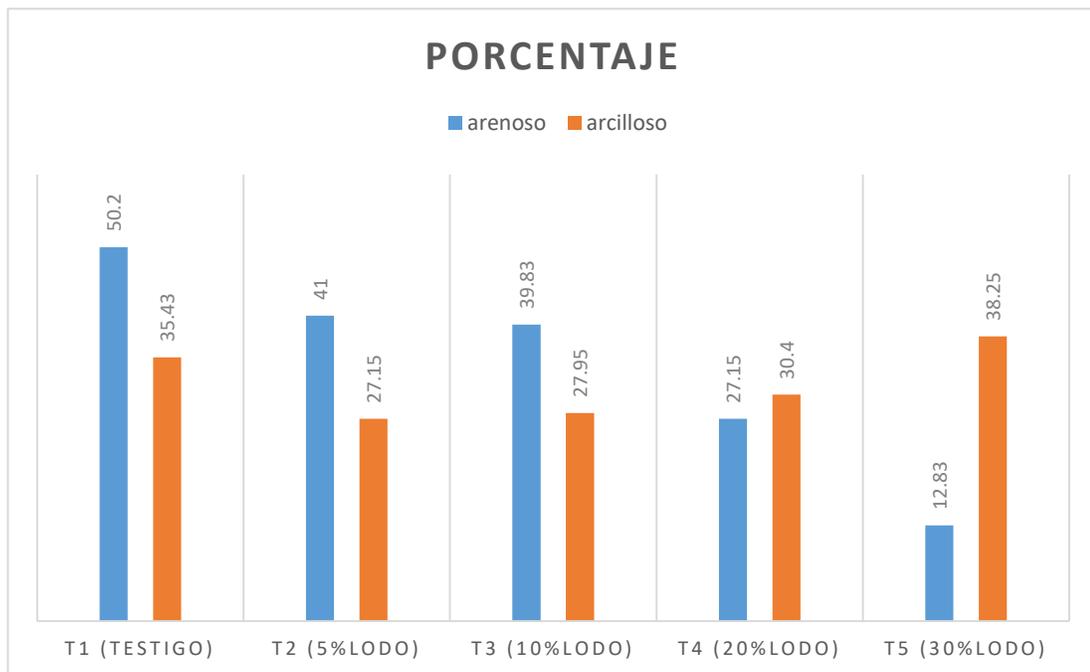


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..4comparaciones del diámetro del bulbo de los tratamientos de los dos sustratos arenoso y arcilloso.

En general, el sustrato arenoso tiene un mejor rendimiento en términos de diámetro del bulbo en los primeros tratamientos sin o con poco lodo. Sin embargo, a medida que el porcentaje de lodo aumenta, el sustrato arcilloso muestra un mejor desempeño.

Peso Del Bulbo En Fresco Del Sustrato Arenoso (g):

Tabla 33 Pesos Del Bulbo En Fresco De Los Tratamientos

TRATAMIENTO	REPETICIONES				TOTAL	MEDIA
	I	II	III	IV		
T1	74.60	55.80	83.00	123.40	336.80	84.20
T2	25.80	43.20	38.10	70.80	177.90	44.48
T3	11.50	34.00	46.60	51.30	143.40	35.85
T4	14.20	11.10	22.20	3.50	51.00	12.75
T5	1.00	1.00	1.70	15.50	19.20	4.80

En la tabla 33 podemos observar el diámetro del bulbo de los 5 tratamientos con sustrato arenoso, total y la media.

Donde T1 (testigo) tiene el valor más alto con 84.20 seguido del T2 (5% de lodo) con 44.48 después tenemos T3 (10% de lodo) con 35.85 después tenemos a T4 (20% de lodo) con 12.75 y por ultimo tenemos a T5 (30% de lodo) con 4.80.

Tabla 34 Tabla De Análisis De Varianza

	Grados De Libertad	Suma De Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor De F	Sig.
Entre grupos	4	15632.918	3908.229	12.203	0.0001
Dentro de los grupos	15	4804.108	320.274		
Total	19	20437.026			

Coefficiente de variación=49.15%.

Tabla 35 Prueba De Diferencia Significativa De Tukey Con Un Nivel De Significancia Del 0.05%

Tratamientos	Medias	Rangos De Significancia
1 (testigo)	84.20	A
2 (5%lodo)	44.47	B
3 (10%lodo)	35.85	BC
4 (20% lodo)	12.75	BC

5 (30%lodo)	4.800	C
-------------	-------	---

El tratamiento testigo (T1) tiene el mejor rendimiento y está completamente diferenciado de todos los tratamientos.

El tratamiento con 5% de lodo (T2), aunque tiene un rendimiento inferior al testigo, se mantiene significativamente diferenciado de los tratamientos con mayores proporciones de lodo (10%, 20% y 30%) y se encuentra en un rango intermedio (B).

A partir del 10% de lodo (T3), el rendimiento disminuye aún más, y este tratamiento comienza a solaparse estadísticamente con los tratamientos de mayores proporciones de lodo, lo que indica una pérdida de eficiencia.

Los tratamientos con 20% de lodo (T4) y 30% de lodo (T5) muestran un rendimiento significativamente inferior. El tratamiento con 30% de lodo pertenece exclusivamente al grupo C, destacando como el más afectado negativamente.

Tabla 36 Prueba de diferencia significativa de tukey con un nivel de significancia del 0.01%

Tratamientos	Medias	Rangos De Significancia
1 (testigo)	84.20	A
2 (5%lodo)	44.47	AB
3 (10%lodo)	35.85	AB
4 (20% lodo)	12.75	B

5 (30%lodo)	4.800	B
-------------	-------	---

El testigo (T1) mantiene el rendimiento más alto y está significativamente diferenciado de los tratamientos con proporciones altas de lodo (20% y 30%).

Los tratamientos con 5% (T2) y 10% (T3) de lodo no presentan diferencias significativas entre sí.

Los tratamientos con 20% (T4) y 30% (T5) de lodo tienen los rendimientos más bajos y pertenecen exclusivamente al grupo B, mostrando una disminución significativa en comparación con los tratamientos de menores proporciones de lodo (A y AB).

Peso Del Bulbo En Fresco Del Sustrato Arcilloso (g):

Tabla 37 Pesos En Fresco Del Bulbo De Los Tratamientos

TRATAMIENTO	REPETICIONES				TOTAL	MEDIA
	I	II	III	IV		
T1	21.50	49.90	11.80	27.50	110.70	27.68
T2	31.80	6.70	16.60	6.30	61.40	15.35
T3	7.30	2.80	10.60	31.60	52.30	13.08
T4	2.10	39.90	39.90	9.80	91.70	22.93
T5	9.90	14.80	34.20	37.40	96.30	24.08

En la tabla 37 podemos observar el diámetro del bulbo de los 5 tratamientos con sustrato arcilloso, total y la media.

Donde T1 (testigo) tiene el valor más alto con 27.68 seguido de T5 (30% de lodo) con 24.08 después tenemos a T4 (20% de lodo) con 22.93 después tenemos a T2 (5% de lodo) con un valor de 15.35 y por ultimo tenemos a T3 (10% de lodo) con 13.08.

Tabla 38 Tabla De Análisis De Varianza

	Grados De Libertad	Suma De Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor De F	Sig.
Entre grupos	4	606.892	151.723	0.659	0.629

Dentro de los grupos	15	3450.520	230.035		
Total	19	4057.412			

Coefficiente de variación= 73.55%.

Tabla 39 Prueba De Diferencia Significativa De Tukey Con Un Nivel De Significancia Del 0.05%

Tratamiento	Medias	Rangos De Significancia
1 (testigo)	27.68	A
5 (30% de lodo)	24.08	A
4 (20% de lodo)	22.93	A
2 (5% de lodo)	15.35	A
3 (10% de lodo)	13.07	A

Todos los tratamientos (1, 2, 3, 4 y 5) están en la misma categoría de significancia estadística representada por la letra "A". Esto indica que no hay diferencias significativas entre ellos en términos de las medias obtenidas. En otras palabras, los tratamientos no tienen efectos estadísticamente distintos.

Tabla 40 Prueba De Diferencia Significativa De Tukey Con Un Nivel De Significancia Del 0.01%

Tratamientos	Medias	Rangos De Significancia
1 (testigo)	27.68	A
5 (30% de lodo)	24.08	A
4 (20% de lodo)	22.93	A
2 (5% de lodo)	15.35	A

3 (10% de lodo)	13.07	A
-----------------	-------	---

Todos los tratamientos (1, 2, 3, 4 y 5) están en la misma categoría de significancia estadística representada por la letra "A". Esto indica que no hay diferencias significativas entre ellos en términos de las medias obtenidas. En otras palabras, los tratamientos no tienen efectos estadísticamente distintos.

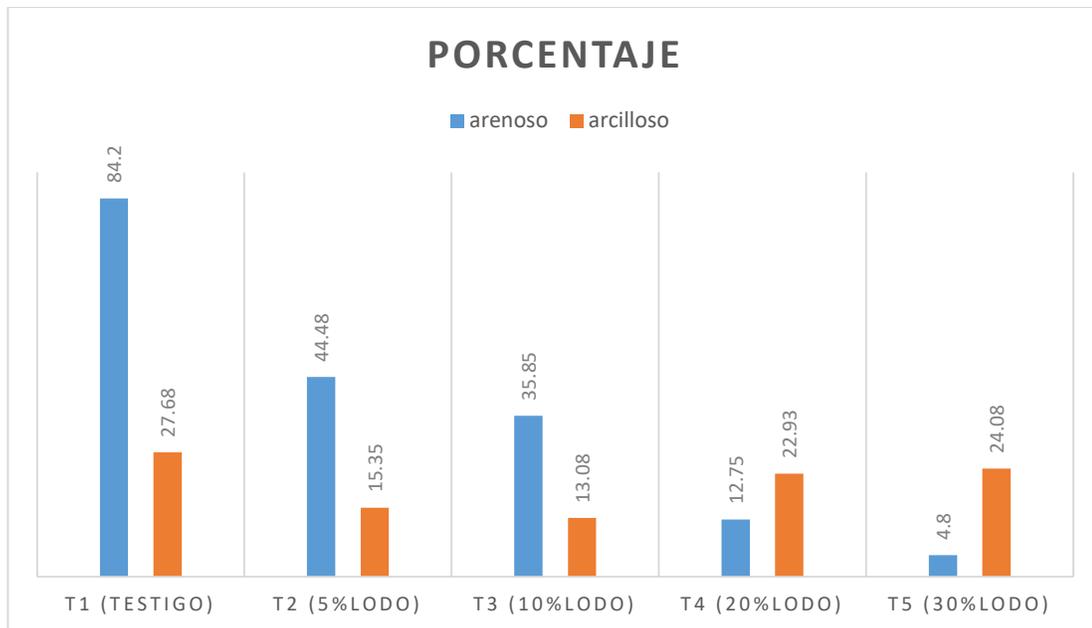


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..5comparacion del peso del bulbo de los tratamientos en los dos sustratos arenoso y arcilloso.

Interpretación De Los De Los Análisis De Suelo Que Se Hizo En Cada Tratamiento Del Suelo Con Sustrato Arenoso

Tratamiento 1 Arenoso

Fertilidad del Suelo

PH (6.69, Neutro):

El suelo tiene un pH neutro, lo que es favorable para la mayoría de los cultivos, incluyendo el rábano, ya que permite una buena disponibilidad de nutrientes.

Conductividad Eléctrica (0.322 mmhos/cm, Normal):

Indica una salinidad baja, lo cual es ideal, ya que niveles altos de sales pueden afectar el crecimiento de las plantas.

Materia Orgánica (3.76%, Media):

Un nivel medio de materia orgánica proporciona un suelo con buena estructura y capacidad de retención de agua y nutrientes. Sin embargo, podría mejorarse con la adición de compost o abonos orgánicos para optimizar la fertilidad del suelo.

Macronutrientes del Suelo

Nitrógeno Total (0.350%, Alto):

Un nivel alto de nitrógeno es positivo para el desarrollo de cultivos que requieren un crecimiento vegetativo vigoroso. En el caso del rábano, un exceso de nitrógeno puede favorecer más el desarrollo foliar que el crecimiento de la raíz.

Fósforo Disponible (90.11 ppm, Muy Alto):

Es un valor bastante alto, lo que es beneficioso para el desarrollo radicular del rábano. Un exceso podría no ser aprovechado eficientemente y podría generar desperdicio si no hay una buena relación con otros nutrientes.

Potasio Intercambiable (59.10 ppm, Bajo):

Un nivel bajo de potasio puede afectar la resistencia del cultivo a enfermedades y estrés hídrico. Para mejorar este parámetro, se podría considerar la aplicación de fertilizantes ricos en potasio, como ceniza de madera o sulfato de potasio.

Caracterización y Propiedades Físicas e Hídricas del Suelo

Textura del Suelo (67.10% Arena, 20.78% Limo, 12.12% Arcilla - Franco Arenosa):

Un suelo franco arenoso drena bien y permite un buen desarrollo de raíces, lo cual es positivo para el rábano. Sin embargo, podría necesitar un mejor manejo de la humedad, ya que los suelos arenosos tienden a perder agua rápidamente. Se podría mejorar con materia orgánica para aumentar la retención de agua.

Densidad Aparente (1.36 g/cm³, Densidad aparente ideal):

Es un valor adecuado para cultivos de raíces, ya que permite un buen desarrollo radicular sin limitaciones por compactación.

Tratamiento 2 Arenoso**Fertilidad del Suelo****PH (6.64, Neutro):**

Un pH neutro es ideal para la mayoría de los cultivos, incluido el rábano, ya que permite la adecuada disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Conductividad Eléctrica (1.224 mmhos/cm, Posible problema salino):

Este valor indica una posible acumulación de sales en el suelo, lo cual podría afectar el crecimiento del rábano, ya que es un cultivo sensible a la salinidad. Para mitigar este problema, se recomienda realizar un buen manejo del riego para evitar acumulación de sales en la zona radicular.

Materia Orgánica (3.81%, Media):

Un nivel medio de materia orgánica ayuda a mantener la estructura del suelo, la retención de agua y la disponibilidad de nutrientes. Sin embargo, añadir compost o materia orgánica extra podría mejorar la fertilidad y la capacidad de retención de humedad del suelo.

2. Macronutrientes del Suelo

Nitrógeno Total (0.358%, Alto):

Un contenido alto de nitrógeno favorece el crecimiento vegetativo, lo cual es beneficioso para la parte foliar del rábano. Sin embargo, un exceso podría reducir el desarrollo de la raíz y generar rábanos más frondosos que carnosos.

Fósforo Disponible (92.79 ppm, Muy Alto):

Un nivel muy alto de fósforo es positivo para el desarrollo de raíces y tubérculos. No será un factor limitante en el cultivo del rábano.

Potasio Intercambiable (59.09 ppm, Bajo):

Un nivel bajo de potasio puede afectar la resistencia de la planta a enfermedades y estrés hídrico. Se recomienda suplementar con fertilizantes ricos en potasio como sulfato de potasio o ceniza de madera.

3. Caracterización y Propiedades Físicas e Hídricas del Suelo

Textura del Suelo (61.10% Arena, 24.78% Limo, 14.12% Arcilla - Franco Arenosa):

Un suelo franco arenoso es adecuado para el rábano porque permite un buen drenaje y facilita el crecimiento radicular. Sin embargo, la arena en exceso puede dificultar la retención de agua y nutrientes, por lo que agregar materia orgánica ayudaría a mejorar la capacidad de retención de humedad.

Densidad Aparente (1.26 g/cm³, Densidad aparente ideal):

Este valor indica que el suelo no está compactado, lo cual es positivo para el desarrollo de las raíces del rábano.

Tratamiento 3 Arenoso

Fertilidad del Suelo

PH (6.89, Neutro):

Un pH cercano a 7 es ideal para el rábano, ya que permite la óptima absorción de nutrientes sin riesgo de toxicidad o deficiencia.

Conductividad Eléctrica (2.487 mmhos/cm, Posible problema salino):

Este valor indica un problema de salinidad más severo en comparación con el informe anterior. Un exceso de sales puede afectar la germinación y el desarrollo **de las raíces** del rábano. Se recomienda mejorar el manejo del riego con lavados de sales y evitar el uso de fertilizantes con alto contenido de sodio.

Materia Orgánica (5.38%, Alta):

Un contenido alto de materia orgánica es beneficioso para la retención de humedad y la disponibilidad de nutrientes. Este valor es mejor que en los otros informes, lo que favorece el desarrollo radicular del rábano.

2. Macronutrientes del Suelo

Nitrógeno Total (0.502%, Muy Alto):

Un nivel muy alto de nitrógeno puede estimular el crecimiento excesivo de hojas en detrimento del desarrollo de la raíz del rábano. Se recomienda balancear con un fertilizante rico en potasio para mejorar la formación del tubérculo.

Fósforo Disponible (97.10 ppm, Alto):

Este nivel es adecuado para el crecimiento de raíces y desarrollo del rábano, aunque es menor que en el informe anterior.

Potasio Intercambiable (62.42 ppm, Bajo):

Al igual que en los otros informes, el potasio sigue siendo deficiente. Dado que el potasio es clave para el desarrollo del tubérculo y la resistencia a enfermedades, se recomienda aplicar fertilizantes ricos en potasio, como sulfato de potasio.

3. Caracterización y Propiedades Físicas e Hídricas del Suelo

Textura del Suelo (61.10% Arena, 28.78% Limo, 10.12% Arcilla - Franco Arenosa):

La textura sigue siendo franco arenosa, lo cual es adecuado para el rábano, ya que facilita el drenaje y evita el encharcamiento. Sin embargo, al tener menos arcilla y limo que en el segundo informe, podría retener menos humedad. Se recomienda mejorar la capacidad de retención de agua con materia orgánica o riegos más frecuentes.

Densidad Aparente (1.20 g/cm³, Densidad aparente ideal):

Este valor indica que el suelo no está compactado y es adecuado para el desarrollo de raíces.

Tratamiento 4 Arenoso

Fertilidad del Suelo

PH (7.05, Neutro):

Un pH ligeramente superior a los anteriores pero aún dentro del rango óptimo para el cultivo del rábano. No se prevén problemas en la absorción de nutrientes.

Conductividad Eléctrica (2.886 mmhos/cm, Posible problema salino):

Este valor indica una salinidad más alta que en los informes anteriores, lo que puede afectar negativamente la germinación y el desarrollo de las raíces del rábano. Se recomienda mejorar el manejo del riego para reducir la acumulación de sales.

Materia Orgánica (5.32%, Alta):

Un nivel elevado de materia orgánica favorece la retención de humedad y la disponibilidad de nutrientes, lo que es beneficioso para el crecimiento del rábano.

2. Macronutrientes del Suelo

Nitrógeno Total (0.715%, Muy Alto):

Un nivel muy alto de nitrógeno puede estimular un crecimiento excesivo de hojas a expensas del desarrollo del tubérculo. Se recomienda equilibrar con una fertilización rica en potasio para favorecer la formación de raíces.

Fósforo Disponible (118.26 ppm, Muy Alto):

Un nivel excelente para el desarrollo de raíces, ya que el fósforo es clave para el crecimiento radicular.

Potasio Intercambiable (59.03 ppm, Bajo):

Sigue siendo deficiente en potasio, lo que puede afectar el engrosamiento y calidad del rábano. Se recomienda aplicar fertilizantes ricos en potasio, como sulfato de potasio.

3. Caracterización y Propiedades Físicas e Hídricas del Suelo

Textura del Suelo (63.10% Arena, 26.78% Limo, 10.12% Arcilla - Franco Arenosa):

La textura es adecuada para el rábano, ya que facilita el drenaje y previene el encharcamiento. Sin embargo, al tener un mayor contenido de arena que en los otros informes, podría necesitar un manejo más cuidadoso del riego para evitar la pérdida rápida de humedad.

Densidad Aparente (1.12 g/cm³, Densidad aparente ideal):

Este valor indica que el suelo no está compactado y permite un buen desarrollo de raíces.

Tratamiento 5 Arenoso

Fertilidad del Suelo

PH (7.81, Alcalinidad Moderada):

Este pH es más alcalino que los anteriores y podría afectar la disponibilidad de algunos nutrientes, como el fósforo y algunos micronutrientes esenciales para el desarrollo del

rábano. Se recomienda aplicar materia orgánica o enmiendas acidificantes si fuera necesario.

Conductividad Eléctrica (2.804 mmhos/cm, Posible problema salino):

La salinidad sigue siendo un factor de riesgo. Altos niveles de sales pueden afectar la germinación y el desarrollo de las raíces. Es importante manejar el riego adecuadamente para evitar acumulaciones de sal.

Materia Orgánica (5.78%, Alta):

Un nivel elevado que favorece la estructura del suelo y la retención de humedad, lo cual es positivo para el cultivo del rábano.

2. Macronutrientes del Suelo

Nitrógeno Total (0.320%, Alto):

Aunque es un valor alto, es menor que en los informes previos. Esto puede ser positivo, ya que un exceso de nitrógeno puede generar más desarrollo foliar en lugar de favorecer el engrosamiento del rábano.

Fósforo Disponible (97.30 ppm, Alto):

Buen nivel de fósforo para estimular el crecimiento de raíces.

Potasio Intercambiable (59.05 ppm, Bajo):

Sigue presentando deficiencia en potasio, lo que puede afectar la calidad del rábano. Se recomienda corregir con fertilizantes ricos en potasio.

3. Caracterización y Propiedades Físicas e Hídricas del Suelo

Textura del Suelo (71.10% Arena, 18.78% Limo, 10.12% Arcilla - Franco Arenosa):

El contenido de arena ha aumentado significativamente en comparación con los suelos anteriores. Esto puede favorecer el drenaje, pero también aumentar el riesgo de pérdida de humedad, lo que podría afectar el desarrollo del rábano.

Densidad Aparente (1.12 g/cm³, Densidad aparente ideal):

Indica que el suelo no está compactado y permite el desarrollo adecuado de raíces.

Interpretación De Los De Los Análisis De Suelo Que Se Hizo En Cada Tratamiento Del Suelo Con Sustrato Arcilloso**Tratamiento 1 Arcilloso****1. Fertilidad del Suelo****PH (7.84, Alcalinidad Moderada):**

Similar al informe anterior, este pH alcalino puede afectar la disponibilidad de algunos micronutrientes esenciales para el rábano. Se recomienda agregar materia orgánica o aplicar enmiendas acidificantes si se detectan deficiencias.

Conductividad Eléctrica (0.141 mmhos/cm, Normal):

A diferencia de otros suelos, este no presenta problemas de salinidad, lo cual es favorable para el desarrollo del rábano.

Materia Orgánica (3.56%, Media):

Este nivel es más bajo que en los informes previos. Un aumento en la materia orgánica podría mejorar la retención de humedad y la disponibilidad de nutrientes.

2. Macronutrientes del Suelo**Nitrógeno Total (0.141%, Bajo):**

Este valor es bajo y podría limitar el crecimiento del rábano. Se recomienda una fertilización adecuada en función del ciclo del cultivo.

Fósforo Disponible (88.16 ppm, Muy Alto):

Excelente nivel de fósforo para promover el desarrollo radicular del rábano.

Potasio Intercambiable (66.09 ppm, Bajo):

El potasio sigue estando en niveles bajos, lo que puede afectar la calidad del rábano. Se recomienda complementar con fertilización rica en potasio.

3. Caracterización y Propiedades Físicas e Hídricas del Suelo**Textura del Suelo (50.59% Arena, 28.17% Limo, 21.24% Arcilla - Franco):**

Un suelo más equilibrado en comparación con los anteriores. Su mayor contenido de arcilla y limo le da mejor retención de agua y nutrientes, lo cual favorece el desarrollo del rábano.

Densidad Aparente (1.32 g/cm³, Densidad aparente ideal):

Aunque está dentro del rango ideal, es más alta que en los suelos anteriores, lo que podría indicar un ligero grado de compactación.

Tratamiento 2 Arcilloso**1. Fertilidad del Suelo****PH (8.30, Alcalinidad Moderada):**

Este es el suelo con mayor alcalinidad hasta ahora. Un pH elevado puede afectar la disponibilidad de nutrientes esenciales, como el hierro y el zinc. Se recomienda monitorear posibles deficiencias y considerar enmiendas acidificantes si es necesario.

Conductividad Eléctrica (0.865 mmhos/cm, Posible problema salino):

Este valor indica un riesgo de salinidad, lo cual puede afectar la absorción de agua y nutrientes por parte del rábano. Se recomienda mejorar el drenaje y, si es posible, realizar lavados del suelo con agua de buena calidad.

Materia Orgánica (3.91%, Media):

Un nivel aceptable, aunque ligeramente bajo en comparación con otros suelos. Aumentar la materia orgánica puede mejorar la retención de humedad y la estructura del suelo.

2. Macronutrientes del Suelo

Nitrógeno Total (0.235%, Medio):

Un nivel intermedio, pero dependiendo de la fase del cultivo, podría necesitar un refuerzo con fertilizantes nitrogenados.

Fósforo Disponible (83.28 ppm, Alto):

Buen nivel para el desarrollo radicular del rábano.

Potasio Intercambiable (69.18 ppm, Bajo):

Sigue siendo un punto débil, ya que el potasio es clave para la calidad y resistencia del rábano. Se recomienda una fertilización potásica.

3. Caracterización y Propiedades Físicas e Hídricas del Suelo

Textura del Suelo (44.59% Arena, 34.17% Limo, 21.24% Arcilla - Franco):

Un suelo con buen balance de partículas, lo que mejora la retención de agua y el desarrollo de raíces.

Densidad Aparente (1.27 g/cm³, Densidad aparente ideal):

Valor aceptable, aunque levemente mayor en comparación con otros suelos analizados.

Tratamiento 3 Arcilloso

1. Fertilidad del Suelo

PH (8.04, Alcalinidad Moderada)

Este valor indica que el suelo es moderadamente alcalino, lo que puede afectar la disponibilidad de ciertos nutrientes esenciales como el hierro, zinc y fósforo. Para cultivos sensibles a la alcalinidad, como el rábano, se recomienda monitorear los síntomas de deficiencias nutricionales y considerar el uso de enmiendas acidificantes (como azufre elemental o materia orgánica ácida).

Conductividad Eléctrica (1.768 mmhos/cm, Posible problema salino)

Este es el suelo con mayor problema de salinidad en comparación con los anteriores. Un alto contenido de sales puede dificultar la absorción de agua por parte del cultivo, generando estrés hídrico. Se recomienda mejorar el drenaje del suelo y realizar lavados con agua de baja salinidad para reducir la acumulación de sales.

Materia Orgánica (5.62%, Alta)

Este valor es el más alto de los suelos analizados, lo que es favorable, ya que una mayor materia orgánica mejora la estructura del suelo, la retención de humedad y la disponibilidad de nutrientes. Es importante mantener este nivel con aplicaciones periódicas de compost o estiércol bien descompuesto.

2. Macronutrientes del Suelo**Nitrógeno Total (0.268%, Medio)**

Este nivel es adecuado para cultivos de ciclo corto como el rábano, pero dependiendo de las necesidades del cultivo, podría requerir una fertilización complementaria con fuentes de nitrógeno (como urea o compost rico en nitrógeno).

Fósforo Disponible (46.85 ppm, Alto)

Un nivel excelente, lo que favorece el desarrollo radicular y mejora el crecimiento inicial del cultivo. No se necesita una fertilización extra de fósforo.

Potasio Intercambiable (69.43 ppm, Bajo)

Este sigue siendo un punto crítico en el suelo, ya que el potasio es esencial para la calidad del rábano, aumentando su resistencia a enfermedades y mejorando su sabor. Se recomienda aplicar fertilizantes ricos en potasio, como sulfato de potasio o ceniza de madera.

3. Caracterización y Propiedades Físicas e Hídricas del Suelo

Textura del Suelo (42.59% Arena, 46.17% Limo, 11.24% Arcilla - Franco)

La textura franca es ideal para el cultivo del rábano, ya que permite un buen balance entre retención de humedad y drenaje, evitando encharcamientos y facilitando el desarrollo radicular.

Densidad Aparente (1.23 g/cm³, Densidad aparente ideal)

Este valor indica que el suelo no está compactado y permite un buen crecimiento de las raíces del cultivo. Sin embargo, si se observa compactación en campo, se puede mejorar con labores de aireación como el uso de materia orgánica y labranza mínima.

Tratamiento 4 Arcilloso

1. Fertilidad del Suelo

PH (8.09, Alcalinidad Moderada)

El suelo presenta un pH alcalino moderado, lo que podría reducir la disponibilidad de algunos micronutrientes esenciales como hierro, manganeso y zinc. Se recomienda monitorear el cultivo y, si es necesario, aplicar enmiendas acidificantes como azufre elemental o sulfato de amonio.

Conductividad Eléctrica (1.808 mmhos/cm, Posible problema salino)

Este suelo tiene un problema de salinidad leve a moderado, lo que puede afectar la absorción de agua por parte de la planta. Para mitigar este problema, se recomienda mejorar el drenaje y, si es posible, realizar lavados del suelo con agua de buena calidad para reducir la acumulación de sales.

Materia Orgánica (5.74%, Alta)

Este es un nivel alto de materia orgánica, lo cual es beneficioso porque mejora la estructura del suelo, la retención de humedad y la disponibilidad de nutrientes. Se recomienda mantener este nivel aplicando materia orgánica de forma periódica.

2. Macronutrientes del Suelo

Nitrógeno Total (0.321%, Medio)

El contenido de nitrógeno es intermedio, lo que podría ser suficiente para el cultivo del rábano, pero en caso de requerirse un mayor crecimiento vegetativo, se puede complementar con fertilización nitrogenada (urea o compost rico en nitrógeno).

Fósforo Disponible (48.29 ppm, Alto)

El nivel de fósforo es alto, lo que favorece el desarrollo radicular y el establecimiento del cultivo. No se necesita una fertilización adicional con fósforo.

Potasio Intercambiable (69.11 ppm, Bajo)

Este sigue siendo el principal problema del suelo. El potasio es crucial para la calidad del rábano, aumentando su resistencia a enfermedades y mejorando su textura y sabor. Se recomienda aplicar fertilizantes ricos en potasio, como sulfato de potasio o ceniza de madera.

3. Caracterización y Propiedades Físicas e Hídricas del Suelo

Textura del Suelo (52.59% Arena, 38.17% Limo, 9.24% Arcilla - Franco Arenosa)

La textura franco arenosa indica que el suelo tiene un buen drenaje, lo que puede ser beneficioso para evitar encharcamientos. Sin embargo, este tipo de suelo tiende a retener menos humedad, por lo que se debe asegurar un buen manejo del riego para evitar estrés hídrico en el cultivo.

Densidad Aparente (1.17 g/cm³, Densidad aparente ideal)

Este valor es adecuado y no representa problemas de compactación. El suelo permitirá un buen desarrollo radicular del cultivo.

Tratamiento 5 Arcilloso

1. Fertilidad del Suelo

PH (8.41, Alcalinidad Fuerte)

Este es el suelo más alcalino analizado hasta ahora. Un pH alto puede limitar la disponibilidad de nutrientes esenciales como hierro, manganeso y zinc, afectando el crecimiento del rábano. Se recomienda aplicar enmiendas acidificantes como azufre elemental o materia orgánica ácida para corregir esta condición.

Conductividad Eléctrica (1.514 mmhos/cm, Posible problema salino)

Este suelo presenta un problema de salinidad moderada. La acumulación de sales puede afectar la absorción de agua por parte de la planta, generando estrés hídrico y reduciendo la calidad del cultivo. Se recomienda mejorar el drenaje, realizar lavados con agua de baja salinidad y evitar fertilizantes con alto contenido de sales.

Materia Orgánica (5.55%, Alta)

Este nivel de materia orgánica es beneficioso, ya que mejora la retención de humedad, la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes. Se recomienda mantener este nivel con aplicaciones de compost o estiércol bien descompuesto.

2. Macronutrientes del Suelo**Nitrógeno Total (0.451%, Alto)**

Este es un buen nivel de nitrógeno para el cultivo del rábano, ya que promueve un crecimiento vigoroso. Sin embargo, es importante no excederse en la fertilización nitrogenada para evitar un desarrollo excesivo de hojas en detrimento de la raíz.

Fósforo Disponible (34.97 ppm, Alto)

El fósforo es clave para el desarrollo radicular, y en este caso, su nivel es óptimo. No se requiere una fertilización adicional con fósforo.

Potasio Intercambiable (65.72 ppm, Bajo)

Este es el principal punto débil del suelo. El potasio es esencial para la calidad del rábano, ya que influye en la resistencia a enfermedades, el sabor y la textura. Se

recomienda aplicar fertilizantes ricos en potasio, como sulfato de potasio o ceniza de madera.

3. Caracterización y Propiedades Físicas e Hídricas del Suelo

Textura del Suelo (56.59% Arena, 32.17% Limo, 11.24% Arcilla - Franco Arenosa)

El suelo franco arenoso tiene buen drenaje, lo que evita problemas de encharcamiento. Sin embargo, este tipo de suelo retiene menos humedad, por lo que se debe prestar especial atención al riego para evitar el estrés hídrico.

Densidad Aparente (1.10 g/cm³, Densidad aparente ideal)

Un valor adecuado, indicando que el suelo no está compactado y permitirá un buen desarrollo radicular del cultivo.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusión y Recomendación:

Conclusión:

Los resultados de la investigación muestran que el uso de lodo como enmienda en el sustrato afecta el rendimiento de las plantas de manera significativa. Los tratamientos con 5% y 10% de lodo no presentan diferencias significativas respecto al testigo, lo que sugiere que estas concentraciones pueden ser efectivas sin reducir el rendimiento de las plantas. Sin embargo, al aumentar la concentración de lodo a 20% y 30%, se observa una disminución considerable en el rendimiento, lo que indica que el exceso de lodo puede tener efectos perjudiciales, alterando la estructura o la fertilidad del sustrato.

El testigo, sin lodo, sigue siendo el tratamiento más efectivo, pero el uso moderado de lodo (hasta un 10%) podría ofrecer ventajas sin comprometer los resultados. Estos hallazgos son fundamentales para guiar la implementación de lodo en prácticas agrícolas, ya que subrayan la importancia de un uso equilibrado de enmiendas orgánicas para mejorar la productividad agrícola sin causar impactos negativos en los cultivos.

En resumen, el 5% a 10% de lodo es la proporción más adecuada para optimizar el rendimiento de las plantas, mientras que concentraciones superiores al 10% deben ser evitadas para mantener la eficiencia y la sostenibilidad del sistema agrícola.

Recomendación:

Basado en los resultados obtenidos de las pruebas de Tukey y el análisis de las medias de los tratamientos con diferentes proporciones de lodo, se recomienda lo siguiente:

Uso controlado de lodo como enmienda:

El uso de lodo debe ser moderado para evitar efectos negativos en el rendimiento de los cultivos. Las proporciones de lodo del 5% (T2) y 10% (T3) no presentan diferencias significativas en comparación con el testigo (sin lodo), lo que sugiere que se pueden

usar sin afectar negativamente los resultados. Estas proporciones mantienen un rendimiento cercano al tratamiento control (testigo), lo que indica que se puede aprovechar el lodo como enmienda sin comprometer la productividad.

Evitar el uso de altas proporciones de lodo:

Los tratamientos con 20% (T4) y 30% (T5) de lodo presentan una disminución considerable en el rendimiento y son significativamente inferiores a los tratamientos con menores proporciones de lodo y al testigo. Las altas concentraciones de lodo no solo afectan negativamente el rendimiento de las plantas, sino que también provocan un cambio en la dinámica del sustrato que podría no ser beneficioso para el crecimiento de las plantas.

Proporción ideal de lodo para optimizar el rendimiento:

Con base en los resultados obtenidos, se recomienda utilizar máximos de 10% de lodo para obtener beneficios sin comprometer el rendimiento de las plantas. Las proporciones mayores no solo reducen la eficiencia de los cultivos, sino que también podrían tener efectos perjudiciales a largo plazo, especialmente si se utilizan en concentraciones más altas de lo recomendado.

Uso de los lodos en cultivos con resistencia a un pH alto:

Se recomienda el uso de lodos residuales como enmienda orgánica en cultivos que requieren suelos con pH elevado, debido a su capacidad para incrementar el pH del suelo. Su aplicación debe realizarse bajo un manejo adecuado para garantizar su efectividad y minimizar posibles impactos ambiental

