



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA Y
VETERINARIA
CARRERA DE AGROPECUARIA



TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del examen de carácter Complexivo, presentado
al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito previo a la
obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

TEMA:

Principales técnicas para la recuperación de los suelos arenosos

AUTOR:

Jandry Sleyter Pino Silvera.

TUTOR:

Ing. Agr. Juan Mariano Ortíz Dicado M, Sc.

Babahoyo - Los Ríos – Ecuador

2023

RESUMEN

El presente proyecto de investigación trata sobre la situación de los suelos arenosos y las posibilidades de su recuperación y restauración para convertirlos en suelos útiles para desarrollar cultivos comerciales utilizando técnicas y tecnologías ya experimentadas en el país y en otros países, lo cual conocemos a través de publicaciones especializadas. Este es un problema que concita la atención en países afectados por la erosión eólica e hídrica y que poseen amplias regiones desérticas; pero también es un problema para países como Ecuador en que ya se siente el impacto del calentamiento global y efecto invernadero. Los objetivos de estudio se centraron en identificar, analizar y describir las principales técnicas que se utilizan para la recuperación de los suelos arenosos. La metodología utilizada para la realización del presente trabajo de investigación se sustentó en las técnicas de análisis, descripción, parafraseo, y síntesis del acervo bibliográfico investigado. Por lo expresado, este proyecto de investigación se justifica porque aporta al conocimiento de la recuperación de suelos arenosos, presentando las más apropiadas técnicas utilizadas en esta actividad, siempre con la finalidad de transformarlos en suelos utilizables como medio de producción agrícola. Se puede concluir entonces que si hay el propósito de recuperar y restaurar suelos arenosos para utilizarlos en la práctica agrícola comercial, es posible hacerlo a través de:

- Sustitución de materiales del suelo al nivel de la capa arable.
- Enmiendas, abono orgánico, fertirriego por goteo
- Utilización de Nano Arcilla Líquida (Liquid Nano Clay.- LNC).
- Técnicas de selladores (cómo el petróleo, goma sintética, químicos y plásticos solubles en agua para la fijación de vegetación nativa).

Palabras clave: Erosión Eólica, Erosión Hídrica, Fertirriego, Nano Arcilla Líquida.

SUMMARY

This research project deals with the situation of sandy soils and the possibilities of their recovery and restoration to convert them into useful soils to develop commercial crops using techniques and technologies already experienced in the country and in other countries, which we know through specialized publications. This is a problem that attracts attention in countries affected by wind and water erosion and that have extensive desert regions; but it is also a problem for countries like Ecuador where the impact of global warming and the greenhouse effect is already being felt. The study objectives focused on identifying, analyzing and describing the main techniques used for the recovery of sandy soils. The methodology used to carry out this research work was based on the techniques of analysis, description, paraphrasing, and synthesis of the bibliographical heritage investigated. Therefore, this research project is justified because it contributes to the knowledge of the recovery of sandy soils, presenting the most appropriate techniques used in this activity, always with the purpose of transforming them into usable soils as a means of agricultural production. It can be concluded then that if there is the purpose of recovering and restoring sandy soils to use them in commercial agricultural practice, it is possible to do so through:

- Substitution of soil materials at the level of the arable layer.
- Amendments, organic fertilizer, drip irrigation
- Use of Liquid Nano Clay (Liquid Nano Clay.- LNC).
- Sealing techniques (such as oil, synthetic rubber, chemicals and water-soluble plastics for fixing native vegetation).

Keywords: Wind Erosion, Water Erosion, Fertigation, Liquid Nano Clay.

CONTENIDO

RESUMEN.....	ii
SUMMARY	iii
CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4. OBJETIVOS.....	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	3
2. DESARROLLO	5
2.1. MARCO CONCEPTUAL.....	5
2.1.1. ¿ Qué son los Suelos Arenosos?	5
2.1.2. Origen de los Suelos Arenosos.....	5
2.1.3. La Arenosidad de los Suelos	5
2.1.4. Problemas de los Suelos Arenosos	6
2.1.5. Clasificación de los Suelos Arenosos.....	6
2.1.6. Tipos de suelos.....	8
2.1.7. Composición de un Suelo Arenoso.....	8
2.1.8. Localización de los Suelos Arenosos.....	9
2.1.9. Propiedades de los Suelos Arenosos.....	9
2.1.10. Técnicas de Recuperación de los Suelos Arenosos.....	12
2.2. MARCO METODOLÓGICO.....	14
2.3. RESULTADOS.....	15
2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	16
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	18
3.1. CONCLUSIONES.....	18
3.2. RECOMENDACIONES	19
4. REFERENCIAS Y ANEXOS.....	21
4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	21
4.2. ANEXOS.....	23

CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

“El suelo es un recurso natural que necesita de un largo periodo de tiempo para su formación, lo que significa es un recurso natural no renovable” (Figueroa 2004). Es por esta razón que se debe considerar la necesidad de conservar, preservar y recuperar toda clase de suelo, tanto más si este recurso es sustento de la actividad agrícola. De manera general podemos decir que la restauración de un suelo, según su perfil edáfico, es una condición previa para la recuperación de cualquier ecosistema que se lo considere afectado en este recurso natural (Frouz 2021).

Según Figueroa, Muñoz *et al.* (2021), los suelos deben ser considerados como un recurso no renovable, por la razón que en los suelos se producen procesos mecánicos, físico-químicos y biológicos que se desarrollan extremadamente lentos, además que este recurso apoya muchas de las funciones ecosistémicas, tales como, el suministro de nutrientes esenciales, agua, y oxígeno, además de dar soporte a las plantas. Por tanto, la recuperación de los suelos es clave para mantenerlos funcionales.

La gran mayoría de la información técnica especializada coincide en afirmar que los suelos arenosos mantienen bajos niveles de contenido orgánico, son carentes de una buena estructura interna, y carentes de los nutrientes necesarios para practicar con ellos un tipo de agricultura sustentable y sostenible. Redimir esta clase de suelos con materia y demás productos orgánicos, es una de las técnicas con mayor utilidad (Gonzales *et al.* 2018). Cabrera (2022), nos informa de otra técnica innovadora patentada por el científico noruego Kristian Morten, a base de “arcilla líquida” inyectada al suelo con máquinas y equipos especiales; esta técnica ya ha sido probada con éxito en los desiertos.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los suelos son ampliamente reconocidos por la importante función que cumplen como medio de sustento, crecimiento y producción de los vegetales; razón por la que es muy trascendental su función en la actividad agropecuaria. Gracias a los suelos se han construido sistemas agrícolas sostenibles y sustentables y, ser además la clave que sostiene la sobrevivencia de la población mundial.

El problema es que cada vez crece más el índice poblacional y también la disminución de las áreas verdes donde poder practicar la actividad agrícola, esto se ha convertido en un problema global, lo cual se agrava si se considera la evidencia negativa del efecto invernadero, el calentamiento global y los tipos de agricultura intensivas que propician mayores ecosistemas áridos con desmedro de las superficies agrarias propiamente dichas. Por estos argumentos, es necesario que los investigadores del suelo, organismos gubernamentales y experimentales descubran las formas de evitar, mitigar y remediar estos problemas desarrollando técnicas y tecnologías de recuperación de los suelos considerados no agrícolas, tales como los suelos arenosos.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Un sin número de investigaciones se han realizado en cuanto a la problemática de recuperación de los suelos, entre otros casos, la recuperación de los suelos arenosos, que es considerado un problema con beneficios si llegara a convertirse en una remediación obligatoria, con el fin de reactivar más zonas agrícolas alrededor del mundo, sobre todo en las regiones áridas. Además, que, la actividad de recuperación de suelos arenosos es una solución para crear pequeños espacios productivos, donde las precipitaciones pluviales y la presencia de arcillas son mínimas.

Muchos estudios informan que el uso de la materia orgánica es la solución final para la transformación de los suelos arenosos en suelos agrícolas; más, con la presencia del avance tecnológico, el uso de la nanotecnología y demás dispositivos están contribuyendo en erradicar el problema de las zonas áridas.

La presente investigación se orienta a explorar las más apropiadas técnicas utilizadas en la actividad de recuperación de suelos arenosos con la finalidad de transformarlos en suelos utilizables como medio de producción agrícola.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Describir las principales técnicas utilizadas para la recuperación de los suelos arenosos.

1.4.2. Objetivos específicos

- Detallar las técnicas básicas y tecnológicas utilizadas para la recuperación de los suelos arenosos.
- Analizar las técnicas básica y tecnológica en referencia a lo más adecuado como recursos de recuperación de suelos arenosos

1.5. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

La necesidad de recuperar suelos, hoy arenosos, y que posiblemente antes fueron suelos normales productivos, obliga a realizar investigación científica para revertir la tendencia de que cada vez más se están degradando a esta categoría de suelos arenosos. La expansión poblacional y la mayor demanda de alimentos, el cambio climático y la creciente escasez de agua dulce son otros argumentos válidos para buscar este objetivo de investigación.

La relación del tema propuesto respecto de la planificación académico-investigativa institucional es la siguiente:

- **DOMINIO**

Recursos agropecuarios, ambiente, biodiversidad y biotecnología.

- **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable.

- **SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN.**

Conservación de suelos y agua.

2. DESARROLLO

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. ¿ Qué son los Suelos Arenosos?

Estos son un tipo de tierra o suelo compuestos de partículas muy finas de roca meteorizada, minerales no metálicos, y textura granular. Esta mini estructura oscila entre 0,05 y 2 mm de diámetro por grano. Además, estos suelos se caracterizan por tener un contenido superior al 70% de arena en el perfil superior del suelo (Pineda 2020).

2.1.2. Origen de los Suelos Arenosos

Como su nombre sugiere, estos suelos son, en su mayoría, suelos degradados, no útiles para hacer agricultura, y con escaso valor económico, razón por la cual suelen ser abandonados constituyendo en amplias regiones del mundo grandes espacios no utilizados.

Sus orígenes son muchos y muy variados, como, por ejemplo, tornados o ventiscas fuertes repetitivas que provocan erosión eólica; subidas permanentes y desbordantes de mareas de ríos y mares provocando embancamientos de sedimento arenoso; influencia de lluvias ácidas y meteóricas; malas prácticas de labranza de los suelos; excesiva utilización de fitosanitarios tóxicos y fertilizantes sintéticos aplicados directamente a los suelos, entre muchas otras razones.

Los suelos arenosos son típicos de las regiones costeras y desérticas; a pesar de esto, algunas especies vegetales se han adaptado a este sistema de vida dentro de estos espacios arenosos, utilizando recursos estratégicos naturales como retener el agua disponible en algunos órganos de su anatomía, aprovechando las esporádica aguas-lluvia que se depositan en aljibes, elongando sus raíces para tomar aguas subterráneas. etc. (ECURED 2021).

2.1.3. La Arenosidad de los Suelos

Para identificar si un suelo es arenoso, se puede apelar a técnicas conocidas como, por ejemplo: tomar un puñado de tierra y humedecerlo con

agua; si este conglomerado de tierra no se compacta y se desmorona fácilmente, significa que la mayor parte de esta tierra es arenosa. Para corregir esta situación se deberá aportar enmiendas y mayor cantidad de materia orgánica en sus diversas fuentes de provisión. En todo caso, y dependiendo de la diferencia estructural y textural de un suelo, la relación de componentes pudiera ser 2,5 a 3 partes de arena por 7 o 7,5 partes de materia orgánica (Agricultura 2018).

Otra importante opción de corrección pudiera ser algún tipo de acolchado vegetal para mantener y retener la humedad y así evitar su evaporación o fácil filtración. Además, si estos suelos se dejan durante mucho tiempo sin tratamientos como los indicados, sus pocos nutrientes se podrían perder como también la escasa buena estructura que se estuviera ganando con dichos tratamientos. (Agricultura 2018).

2.1.4. Problemas de los Suelos Arenosos

Todo suelo arenoso es un problema si la intención es hacer agricultura. El principal problema de los suelos arenosos es que se secan más rápido que otros tipos de suelos; la poca humedad que pudieran retener se disipa rápida o lentamente si la mayor composición del suelo es arena o posee poca cantidad de materia orgánica. Con el agua que se pierde también se pierden gran parte de los nutrientes que hacen parte de la capa arable. Como ya se dijo antes una posible salida a esta situación pudiera ser incrementar enmiendas y la cantidad de materia orgánica, complementado con un sistema de riego por goteo y mejor aún con un sistema de fertirriego (Medina 2017).

2.1.5. Clasificación de los Suelos Arenosos

El suelo es un elemento natural compuesto de minerales, agua, gases y material orgánico (organismos vivos y muertos) derivadas de la combinación de factores geológicos, climáticos, biológicos, las partículas que componen el suelo deben su *origen* a la erosión de los tipos de rocas preexistentes (ígneas, sedimentarias y metamórficas).

2.1.5.1. Los Suelos de Arena Fina

Normalmente consisten en arena con un tamaño inferior a 1,2 hasta 0,5 mm. y tienen una capacidad de retención de agua con un pF 3 (en suelo húmedo) inferior al 20 %, que es un valor ligeramente superior debido a la carencia de partículas finas (Gruposacsa 2015).

En el fondo de las cuencas entre los Andes, los suelos contienen menos del 1% de materia orgánica (suelos C12). El régimen de temperatura del suelo es isomérico y el régimen de humedad es óstico. El pH se acerca a 7, pudiendo aumentar a 8 en áreas más secas a medida que se acumula el carbonato de calcio en el perfil. Los suelos son, en su mayoría, profundos, desarrollados a partir de cenizas volcánicas que reposan sobre un substrato también arenoso. Localmente, estos suelos de poco espesor cubren cenizas antiguas endurecidas (cangahua) que afloran cuando los suelos están erosionados (Gruposacsa 2015).

En las partes más elevadas de las cuencas, la temperatura baja y aumentan las cantidades de materia orgánica, de manera que:

- En zona seca (régimen ústico), las tasas de materia orgánica están comprendidas entre 1 y 3% (suelos C13), el pH se aproxima a 7 y la saturación del complejo absorbente es superior al 50 %;
- En zona húmeda (régimen udico), las cantidades de materia orgánica son aún más elevadas, muchas veces superiores al 3% (suelos C14), el pH se aproxima a 6 y la tasa de saturación es inferior al 50 %. Todos estos suelos son pobres en minerales arcillosos. En región seca, cuando el análisis permite encontrarlos, predominan los minerales arcillosos con 14 A0; por el contrario, en región húmeda, los suelos presentan una Ligera reacción al test con NaF 10 que indica la presencia de algunas alófanos (Gruposacsa 2015).

2.1.5.2. Los Suelos de Arena Gruesa

Corresponden en su mayoría a suelos de depósitos volcánicos o aluviales más nuevos; recientemente se están formando alrededor de los volcanes Cotopaxi, Tungurahua y Sangay, donde la actividad sísmica y eruptiva es reciente

y continua. Son estratos con diferentes texturas, desde arena hasta lapilli, dependiendo del tipo de excavación que se realice para observar el perfil. El frecuente rejuvenecimiento de los depósitos, así como la importante erosión en las faldas de los volcanes, explican su carácter mineral (Gruposacsa 2015).

Al oeste del nevado Chimborazo, la erosión eólica ha degradado la capa superficial del suelo, liberando las capas de lapilli de la eyección previamente no perturbada (Gruposacsa 2015).

2.1.6. Tipos de suelos

Existen diversos tipos de suelos, todos ellos relacionados a la actividad para la que van a ser utilizados. De manera general, los suelos se clasifican en tres categorías principales: Pesados, Medios y Ligeros. Los suelos arenosos pertenecen por su estructura a la categoría de los ligeros.

Los suelos originales o subdesarrollados, en un principio fueron suelos jóvenes formados a partir de cenizas muy frescas, o desarrollados en climas donde la sequía limitaba la intensidad de cambio de los materiales originales. Por lo tanto, se encuentran cerca de los principales centros de emisión modernos o en el fondo de las cuencas entre los Andes. Finalmente, muchos de estos suelos son "suelos erosivos subdesarrollados" en regiones frías y relativamente secas donde la erosión eólica es actualmente más importante para la formación del suelo, los suelos arenosos. (Gruposacsa 2015).

2.1.7. Composición de un Suelo Arenoso

En la fracción de arena y limo del suelo, los principales minerales son los cuarzos y feldspatos. Otros componentes son las micas y minerales.

La composición de la fracción de arcilla está determinada por las características de la roca madre. Puede presentarse vermiculita, clorita y caolín. (Briceño 2020)

De manera general, en la composición de los suelos arenosos los primeros centímetros de profundidad del perfil superior pueden contener una mínima cantidad de arcilla y poquísima materia orgánica, agregado algo de hierro.

En las regiones tropicales mejora esta situación con algo de materia orgánica y algo de otros minerales como carbono orgánico, anfíboles, olivinos y piroxenos.

2.1.8. Localización de los Suelos Arenosos

La categoría de suelos “*Arenosoles*” se localizan en muchas regiones del planeta; cubren cerca de 900 millones de hectáreas, equivalente al 7% de la superficie terrestre. Son más comunes en las regiones áridas y semiáridas, pero puede darse con cualquier clase de clima y rangos de humedad desde muy seco a muy húmedo. Además, las temperaturas en estos espacios pueden ser extremas, variar de muy altas a muy bajas, y solo la vegetación adaptada puede darse en estas condiciones extremas (Briceño 2020).

A manera de ejemplo citaremos que los suelos formados por arenas resultado de erosiones eólicas ocupan gran parte de África Central, como son las arenas de Kalahari. En este continente también encontramos los famosos desiertos del Sahara (Briceño 2020).

Casi toda Australia Central y Occidental se compone de suelos arenosos, igual que en grandes extensiones de Mongolia, China, EE.UU. México, Chile y Perú (Briceño 2020).

Además, los suelos arenosos se tipifican como: Suelos de grano fino y Suelos de grano grueso.

2.1.9. Propiedades de los Suelos Arenosos

2.1.9.1. Propiedades Físicas

El tamaño y la proporción de las partículas primarias de todo suelo definen su estructura. En el caso de los suelos arenosos su grosor oscila entre 0.05 y

2.00 mm. Si su volumen de ocupación del perfil es mayor al 50% y muy poca participación de arcilla, entonces estamos ante un suelo arenoso con escasa posibilidad de retención de agua y nutrientes, dificultando la práctica agrícola. Además, los suelos arenosos, por estar formados de arena mineral no metálica, son ácidos, cálidos, pobres en nutrientes, no retienen el agua, son secos y no son aptos para la agricultura. Además, poseen muy poca materia orgánica, son poco fértiles, requieren de un riego continuo, y un trabajo constante de reconversión. Asimismo, siempre estarán propensos a la erosión, mucho drenaje, y son fácil de calentarse (Gomez 2022).

La envergadura de las partículas que forman el suelo puede ser de entre 0,05 a 2 mm de diámetro por grano. (Gomez 2022).

Generalmente, para esta clase de suelos, la porosidad, o proporción de espacio no ocupado por los sólidos superan el 36 hasta 46%. En casos extremos, se han señalado porcentajes del 60%, en cuyo caso, estos suelos ya no se pueden cultivar (Gomez 2022).

Es importante señalar que los amplios rangos de porosidad también están relacionados con el escaso contenido de arcilla en la mayoría de estos suelos (Gomez 2022).

2.1.9.2. Propiedades Químicas

Los suelos arenosos, también llamados suelos ligeros, no poseen propiedades coloidales ni retienen los nutrientes, además presentan mala estructura, alta aireación, muy alta permeabilidad y nula retención de agua, por lo tanto, son suelos no deseables para cultivos. Sus partículas están descentradas y usualmente están descalcificados; de allí que lo que en química se denomina “intercambio iónico o intercambio de bases” en los suelos arenosos casi no se da (Gomez 2022).

En las regiones templadas y tropicales los suelos están muy lixiviados (desplazamiento de partículas solubles por acción del agua). Asimismo, están descalcificados y tienen una baja capacidad de almacenar bases químicas.

Por otra parte, la poca materia orgánica que pudieran tener está poco descompuesta. El contenido de carbono orgánico es menor al 1%; esto, combinado con la baja proporción de arcillas, hace que su capacidad de intercambio catiónico sea muy bajo (menos de 4 cmol (+)/kg).

Los suelos arenosos de las regiones secas son ricos en bases; la lixiviación y descalcificación es moderada en comparación con otros suelos arenosos.

El contenido de carbono orgánico es menor al 0,5%, pero su capacidad de intercambio catiónico no es muy bajo; esto es debido a que la proporción de minerales arcillosos (vermiculita y otros) es más alta que en otras categorías de suelos arenosos.

De otra parte, si existiese algo de materia orgánica, en relación de la alta proporción de arena, la presencia de materia orgánica sería insignificante como para pretender habilitar un suelo arenoso como suelo cultivable; ello porque la capacidad de intercambio iónico y catiónico es muy débil (Gomez 2022).

2.1.9.3. Propiedades Hidrológicas

Los suelos arenosos tienen poca capacidad de retención de humedad. Debido al gran tamaño de los poros, mucha de la humedad retenida se pierde a solo 100 kPa.

La capacidad de agua disponible varía según el tamaño y distribución de las partículas que componen el suelo y el contenido de materia orgánica. Los valores pueden ir de un 3-4% hasta un 15-17%.

La conductividad hidráulica del suelo es sumamente variable en relación con la densidad de la arena. Puede estar en un rango entre 300-30.000 cm/día.

En cuanto a la capacidad de infiltración del agua, puede ser hasta 250 veces más rápida que en suelos arcillosos. Puede encontrarse entre 2,5-25 cm/hora.

2.1.10. Técnicas de Recuperación de los Suelos Arenosos

En los últimos años, se han realizado muchas investigaciones para tratar de mitigar y/o remediar, en lugar de abandonar los suelos arenosos. (Bernard 2017).

2.1.10.1. Tipos de Técnicas para la Recuperación Agrícola de los Suelos Arenosos

2.1.10.1.2. Generalidades

Para prevenir la erosión en suelos ordinarios, en cualquiera de sus formas: erosión eólica, hídrica, o por mal manejo del suelo, hay que evitar el sobrepastoreo, usar forraje cortado en lotes fijos de fardos, y el laboreo con cultivos-cubierta, en fajas o curvas de nivel. También se debe hacer la rotación de cultivos, el establecimiento de cortinas o barreras contraviento, técnicas de selladores para la fijación de dunas y, la forestación con especies arbóreas y arbustivas de raíces profundas.

Actualmente existen muchas técnicas para la prevención, mitigación y remediación de suelos arenosos; técnicas que generalmente son diseñadas para atenuar los altos contenidos de arena, lo que resulta en la alteración de su composición a través de procesos químicos, térmicos o biológicos. Su aplicación depende de las propiedades originales del suelo, y los efectos esperados de cada tratamiento, la viabilidad económica y el tiempo estimado de desarrollo. Dependiendo de cómo se aplique la tecnología de mitigación o remediación del suelo, los tratamientos in situ que actúan sobre la arena requieren que el suelo se excave primero para reemplazar la arena desalojada por cualquiera de los otros materiales señalados en líneas superiores. Este tratamiento requiere mucho trabajo, es muy lento y difícil de realizar porque es difícil que el nuevo material de reemplazo entre en contacto íntimo con toda la masa de suelo arenoso original, y demanda mucho tiempo (Ortiz *et al.* 2007).

2.1.10.1.3. Técnicas Orgánico-Naturales

Las principales opciones y medidas técnicas para mejorar, restaurar y gestionar los suelos arenosos están dirigidas a aumentar la compacidad del suelo, utilizar y aplicar fertilizantes orgánicos, hacer el riego por goteo, una posible combinación de nutrientes orgánicos y un 40% de fertilizantes; todo ello para mejorar la calidad del suelo, mejorar sus características y procurar la rápida mineralización (Bunch *et al.* 2019).

Es recomendable forestar y reforestar con caña guadúa, árboles y arbustos de raíces profundas. También se recomienda hacer las mezclas del suelo arenoso con otros tipos de suelo (arcilla, limo) y otros materiales como gallinaza, excremento de animales mayores, humus, mantillo o tampón para aumentar la capacidad de retención de agua o añadir 100 kl por cada 100 m² de turba o tierra arcillosa. Al mismo tiempo, que prevenir la erosión, evitar el sobrepastoreo; sí utilizar forrajes pre cortados en fardos permanentes, cultivar con tipos de siembra de cobertura o franjas técnicas (Bunch *et al.* 2019).

2.1.10.1.4. Técnicas Modernas

La empresa Desert Control, fundada por el científico noruego Kristian Olesen, ha desarrollado una tecnología llamada Liquid NanoClay "Nano Arcilla Líquida" (LNC) que combina las nanopartículas de arcilla y agua para transformarlas en un nuevo material. El producto permite que incluso el suelo árido del desierto se convierta en un lugar adecuado para la siembra (Ecoinventos 2020).

La arena desértica tiene una baja capacidad de retención de líquidos, lo que hace que prácticamente sea imposible cultivar. Cuando se mezcla con la arena del desierto, el LNC permite que el suelo arenoso retenga el agua, haciendo del desierto un suelo fértil. Cambia completamente sus propiedades físicas (Ecoinventos 2020).

El proceso de transformar el suelo árido en fértil es muy simple. El componente se aplica en el sistema de irrigación común a lo largo del área que

queramos tratar. El suelo con el nuevo componente conserva el agua como una esponja, creando una capa de 40 a 60 cm de tierra fértil (Ecoinventos 2020).

Este proceso no incorpora ningún agente químico. Puede convertir cualquier suelo arenoso de mala calidad en tierras agrícolas de alto rendimiento en sólo siete horas. El suelo requiere un retratamiento del 15%-20% después de cuatro o cinco años si la tierra está labrada y si no está labrada, el tratamiento dura más tiempo (Ecoinventos 2020).

En las pruebas realizadas en el desierto de los Emiratos Árabes, una región que se necesita tres veces más agua para la irrigación en comparación con lugares de clima templado, el consumo de agua se redujo en un 50%, lo que garantiza el doble de la superficie de siembra con la misma cantidad de agua (Ecoinventos 2020).

El coste del tratamiento por hectárea de desierto varía de \$1,800-\$9,500 (£1,300-£6,900) dependiendo del tamaño del proyecto – lo que actualmente lo hace demasiado caro para la mayoría de los agricultores (Ecoinventos 2020).

La idea de la empresa es vender inicialmente la arcilla líquida a los gobiernos, para después continuar con el sector privado.

2.2. MARCO METODOLÓGICO

Para la realización del presente trabajo de investigación se aplicó el método analítico-descriptivo, incluyendo las técnicas de análisis, parafraseo, síntesis y resumen.

El objeto de estudio fue el suelo arenoso como uno de los tipos en que se puede realizar actividad agrícola a través de su recuperación, utilizando diferentes metodologías técnico-tecnológicas

Recogiendo información resultante de investigaciones científicas, además de la información obtenida de repositorios académicos, de publicaciones especializadas, portales web focalizados, e inclusive información comercial de empresas con amplia experiencia en esta temática.

Con las acciones metodológicas indicadas, se analizaron, interpretaron y discutieron los resultados, además de contrastar y organizar toda la información levantada, para finalmente entregar las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.

2.3. RESULTADOS

Los suelos arenosos son compuestos de textura granular ligera que pueden alcanzar hasta 50 cm de profundidad en el perfil del suelo; tienen alta lixiviación de nutrientes y escasa capacidad de retención hídrica. Por tanto, ni su textura ni su estructura, ni su composición físico-química favorecen la práctica agropecuaria en esta clase de suelos.

A pesar de las dificultades asociadas a la recuperación de los suelos arenosos, existen investigaciones y avances científicos que brindan esperanza en este campo. En este sentido, diferentes técnicas y tecnologías han sido propuestas y desarrolladas. Entre ellas se encuentran tratamientos anti erosivos que buscan contrarrestar la tendencia a la desertificación en estos suelos. Asimismo, se ha estudiado la utilización de enmiendas y abonos verdes para mezclar con el suelo arenoso, mejorando su fertilidad y capacidad de retención de agua.

El fertirriego por goteo es otra técnica que ha demostrado ser efectiva en la recuperación de suelos arenosos, ya que permite suministrar agua y nutrientes directamente a las raíces de las plantas, evitando la evaporación y la lixiviación excesiva. Además, se ha explorado la sustitución de la capa superior del suelo arenoso por cubiertas vegetales trasplantadas, conocido como mulching, que ayuda a conservar la humedad y a proteger el suelo de la erosión.

Una tecnología innovadora que ha mostrado resultados prometedores es la Liquid NanoClay (Nano Arcilla Líquida), que consiste en la aplicación de partículas de arcilla en forma líquida al suelo arenoso. Estas partículas se adhieren a los granos de arena, mejorando su capacidad de retención de agua y nutrientes.

Las investigaciones y avances en el campo de la recuperación de suelos arenosos ofrecen una variedad de técnicas y tecnologías que pueden ser utilizadas. Desde tratamientos anti erosivos hasta el uso de enmiendas orgánicas, fertirriego por goteo, mulching y tecnologías como la Liquid NanoClay, se abren posibilidades para mejorar la fertilidad y las condiciones de retención de agua de los suelos arenosos. Estos enfoques contribuyen a la conservación y rehabilitación de estos suelos, brindando oportunidades para el cultivo y la sustentabilidad agrícola (FAO 2023).

2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según Vadestard (2021), los suelos arenosos suelen ser secos, deficientes en nutrientes y de drenaje rápido; tienen poca (o ninguna) capacidad para transportar agua desde las capas más profundas a las capas superiores del perfil de suelo con aplicación al fenómeno físico de la capilaridad, o de la diferencia de gradientes. Por lo tanto, la administración de la poca agua con que pueda contarse debe reducirse al mínimo para retener la humedad en la superficie de la cama de siembra. De otra parte, se nos informa que la capacidad de retención de nutrientes y agua de los suelos arenosos puede mejorarse, por ejemplo, añadiendo materia orgánica

Según los resultados presentados y explicados en este documento, se acepta que existen alternativas, primero, para prevenir la desertificación de los suelos; segundo, mitigar los indicios de transformación de un suelo ordinario a suelo arenoso y, tercero, con aplicación de las técnicas indicadas en los “resultados”, se pueden recuperar y restaurar esta clase de suelos. Solo que este proyecto investigativo no tiene entre sus objetivos la valoración económica. ¿Cuánto costaría, económicamente hablando, la aplicación de las técnicas y tecnologías indicadas y explicadas en los “resultados” de este proyecto?

A priori, se pudiera anticipar que cualquiera de estas técnicas y/ o tecnologías tienen un alto costo económico en relación con el costo de producción en cualquier otro suelo, como los suelos francos, arcillosos, limosos, franco-arcillosos, o franco-limosos, lo que juega en contra de los pequeños y medianos

productores, en contra de los cultivos de ciclo corto, y en contra de los cultivos de productos agrícolas de primera necesidad.

Pero, si el interés es el hacer producir los suelos de textura arenosa, este mismo proyecto presenta las alternativas para prevenir, mitigar y restaurar estos suelos, eso sí, considerando que se debiera escoger cultivos de alta rentabilidad económica para amortizar a largo plazo la gran inversión financiera que se pudiera realizar.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. CONCLUSIONES

Los suelos arenosos presentan desafíos particulares debido a su composición y textura áspera. Para su recuperación, se requiere la aplicación de técnicas básicas y tecnológicas específicas. Una de las técnicas utilizadas es la enmienda del suelo con materia orgánica. La adición de materia orgánica o estiércol aporta nutrientes esenciales que el suelo arenoso carece, mejorando su fertilidad y capacidad de retención de agua. La materia orgánica también ayuda a aumentar la capacidad de retención de nutrientes y mejora la estructura del suelo, promoviendo el desarrollo de raíces y la actividad biológica beneficiosa.

Otra técnica comúnmente empleada es la revegetación del suelo arenoso. La plantación de especies adecuadas puede ayudar a prevenir la erosión y mejorar la calidad del suelo. Al elegir plantas resistentes a condiciones de suelo seco y arenoso, como cocoteros, agave, tunas, pitahayas, bulbos y tubérculos, yuca, repollos, almendro, olivo, dátiles, higueras y mandioca, es posible establecer un ecosistema vegetal que contribuya a la recuperación del suelo. Estas plantas no solo ayudan a estabilizar el suelo, sino que también pueden extraer nutrientes y agua de las capas más profundas, mejorando la calidad del suelo para futuros cultivos.

Además de las técnicas básicas, la tecnología también desempeña un papel importante en la recuperación de los suelos arenosos. Una técnica utilizada es la aplicación de riego por goteo o sistemas de riego eficientes que proporcionan agua directamente a las raíces de las plantas, minimizando la pérdida de agua por evaporación y lixiviación. La implementación de sistemas de drenaje

adecuados también puede ayudar a controlar el exceso de agua y prevenir la acumulación de sales en el suelo.

Para la recuperación de los suelos arenosos, se requiere la combinación de técnicas básicas y tecnológicas. La enmienda del suelo con materia orgánica, la revegetación con especies adecuadas y la implementación de sistemas de riego eficientes son algunos de los enfoques utilizados. La combinación de estas técnicas y tecnologías puede mejorar la fertilidad, estructura y retención de agua del suelo arenoso, creando condiciones más favorables para el establecimiento de cultivos y la sustentabilidad a largo plazo del ecosistema.

3.2.RECOMENDACIONES

Las prácticas de manejo preventivo, mitigante, y correctivo de un suelo arenoso coadyuban al no agravamiento de su situación negativa y ayudan a su recuperación y manutención en el tiempo, aunque sea para practicar agricultura de autoconsumo, y mejor aún, para hacer producción comercial.

Con estas consideraciones, se puede recomendar:

- La incorporación de abonos orgánicos en mezcla, lo que libera nutrientes en forma lenta y mejora las propiedades físico – químicas del suelo.
- La incorporación superficial de abonos orgánicos a suelos arenosos resulta en una rápida mineralización. Por ello, se debe enterrar en el suelo o incorporar en camada con máximo 5 cm. de espesura. Esto aumentará la capacidad de almacenamiento de agua, la actividad biológica, la disponibilidad de nutrientes y el rendimiento de la cosecha.
- El mulching o acolchado se puede incorporar para aumentar el almacenamiento de agua mediante la disminución de las pérdidas de evaporación. El intervalo entre la temperatura máxima y mínima del suelo también se disminuye, tal como la erosión eólica.

- Para que el laboreo sea eficaz, éste se debe realizar lo antes posible después del riego o de las lluvias, cuando la vaporización aún esté alta.
- El laboreo mínimo junto con cultivos cubierta, cultivos en fajas, rotación de cultivos, control del pastoreo y establecimiento de cortinas y barreras contraviento.
- Implementar técnicas de selladores como el petróleo, goma sintética, químicos y plásticos solubles en agua para la fijación de dunas.
- La forestación con especies arbóreas y arbustivas específicas para esta clase de suelo y adaptables al ecosistema.
- Respecto de cultivos comerciales, sembrar especies apropiadas para esta clase de suelos como: cocoteros, agave, tunas, pitahaya, bulbos y tubérculos, yuca, repollos, almendro, olivo, dátiles, higuera mandioca, etc.
- La fertilización sintética se realizará a través del fertirriego.

4. REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BBC News Mundo. 2018. La innovadora técnica capaz de convertir la arena del desierto en tierra fértil. BBC. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-44008991>

Briceño, G., V. 2020. Suelo arenoso. *Euston96*. <https://www.euston96.com/suelo-arenoso/>

Bunch, R., Braun, A. R., Van de Fliert, E., & WIYANTO. 2019. Casos. Leisa en la práctica. *Leisa-al.org*. <https://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-14-numero-3-2/2488-casos-leisa-en-la-practica>.

Cabrera, A., & Olesen, K. M. 2023. Plantando en el desierto con arcilla líquida: una opción para el Chaco. *Paraguay Aprende Edu.py*. <https://www.uaa.edu.py/cdn/files/0143a807ffa66b069856ae153d23.pdf>

Características de los diferentes tipos de suelo. 2023. *Vaderstad.com*. <https://www.vaderstad.com/cl/know-how/basic-agronomy/soil-basics/characteristics-of-different-soil-types/>

Carlosama, P., & Jiménez, J. 2018. Evaluación de tres tipos de abonos verdes en la recuperación de suelos degradados de la parroquia Bolívar – Cantón Bolívar. *Universidad Técnica Del Norte Edu.ec*. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8024/1/03%20RNR%2070%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>

Ecoinventos. 2020. La innovación que convierte la arena del desierto en tierra de cultivo. *Ecoinventos*. *Gov.co*. <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/La-innovaci%C3%B3n-que-convierte-la-arena-del-desierto-en-tierra-de-cultivo.aspx>

ECURED. 2021. Suelos Arenosos. *Ecured.cu*.
https://www.ecured.cu/Suelos_arenosos.

FAO. 2023. Manejo de Suelos Arenosos. *Fao.org*.
<https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-arenosos/es/>

Figueroa, D. 2004. Estrategias para la recuperación de suelos degradados. *Interempresas*. <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/73362-Estrategias-para-la-recuperacion-de-suelos-degradados.html>

García, R. (S/f-b). Ingenieroambiental.com. Recuperado el 15 de mayo de 2023, de <http://ingenieroambiental.com/nov/ga.pdf>.

Gomez, V. 2022. Suelo arenoso. *Lifeder*. <https://www.lifeder.com/suelos-arenosos/>

Gruposacsa. 2015. Propiedades de los suelos arenosos. *Grupo SACSA*.
<https://www.gruposacsa.com.mx/propiedades-de-los-suelos-arenosos/>

Medina, F. 2017. ¿Cuál es el principal problema del suelo arenoso? *Quora*.
<https://es.quora.com/Cu%C3%A1l-es-el-principal-problema-del-suelo-arenoso>

Ortiz B., Sanz, G., Dorado V., & Villar, F. 2007. Técnicas de recuperación de suelos contaminados. *Madrimasd.org*.
https://www.madrimasd.org/sites/default/files/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/vt6_tecnicas_recuperacion_suelos_contaminados.pdf

Pineda, J. 2020. Cómo son los Suelos Arenosos, Características y Usos. *encolombia.com*.
<https://encolombia.com/economia/agroindustria/agronomia/suelos-arenosos/>

Poliméricas. 2021. Arcilla Polimérica Líquida: ¿Qué es y cómo se utiliza? *Creacionespolimérica*. <https://www.creacionespolicimericas.com/post/arcilla->

polim%C3%A9rica-l%C3%ADquida-qu%C3%A9-es-y-c%C3%B3mo-se-utiliza

4.2. ANEXOS



ANEXO 1. PRIMERA SIEMBRA EN SUELO ARENOSO REHABILITADO (MEDIO ORIENTE)



ANEXO 2. RIEGO EN CULTIVO SEMIPERENNE; SUELO ARENOSO REHABILITADO (MÉXICO).



ANEXO 3. CULTIVO SEMIPERENNE EN SUELO ARENOSO TRATADO CON ARCILLA LÍQUIDA (MEDIO ORIENTE)



ANEXO 4. CULTIVO DE CICLO CORTO EN SUELO ARENOSO REHABILITADO (CALIFORNIA, EE.UU.)



ANEXO 5. CULTIVO PERENNE EN SUELO ARENOSO REHABILITADO (ARIZONA, EE.UU.)



ANEXO 6. CULTIVO PERENNE EN SUELO ARENOSO REHABILITADO (MEDIO ORIENTE)