



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“EFICACIA DE TRATAMIENTOS
FÍSICOS Y BIOLÓGICOS SOBRE
SUELOS SALINO - SÓDICOS PARA
USO AGRÍCOLA”

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería Ambiental

Autores:

Celso Malca Coba

Jose Persy Colunche Rodriguez

Asesor:

M.Sc. Marieta Eliana Cervantes Peralta

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

A Dios por estar conmigo en cada momento de mi vida y darme la oportunidad de alcanzar mis metas.

A mi familia de quienes he recibido todo el apoyo y el amor para culminar esta etapa de mi vida.

A mis profesores por guiarme de diferentes maneras en este proceso de aprendizaje.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por darnos la vida y los dones como el entendimiento, la sabiduría, la paciencia y la voluntad para llevar a feliz cumplimiento un proyecto de investigación: “Eficacia del suelo salino con la aplicación de tratamiento físico y biológico para uso agrícola”.

Expresar mi profundo agradecimiento a todos los docentes, que aportaron su experiencia profesional, sus percepciones y reflexiones, que han constituido la base del análisis, y esencia de mi carrera.

Mi gratitud también al soporte incondicional a toda mi familia.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	11
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	11
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	21
REFERENCIAS	23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Artículos incluidos en la revisión según palabras claves	11
Tabla 2: Número de artículos encontrados en buscadores según palabras	15
Tabla 3: Número de artículos utilizados por buscador	16
Tabla 4: Porcentajes de eficiencia de enmienda según artículos estudiados	17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Lavado de suelos salinos sódicos	9
Figura 2: Tratamiento biológico de suelos salinos	10
Figura 3: Artículos encontrados en buscadores según palabras claves	14
Figura 4: Porcentaje de artículos incluidos en el estudio según del buscador	15
Figura 5: Porcentaje de búsqueda con la palabra clave suelo salino de un total, de 14511 artículos.	16
Figura 6: Porcentaje de búsqueda con la palabra clave productividad de cultivos de un total de 35982 artículos.	16
Figura 7: Porcentaje de búsqueda con la palabra clave agricultura de un total, de 34 389 artículos	17

RESUMEN

Esta investigación tiene como idea principal determinar la efectividad del tratamiento físico y biológico en suelos salinos sódicos que se encuentran sobre todo en la zona costera, para un aprovechamiento adecuado para uso agrícola, dando soluciones a problemas de siembra y cosecha ocasionados por suelos salinos, teniendo en cuenta técnicas de mejoramiento y remediación como el uso de agua para lavado de suelos, la utilización de capa arable de zona sierra o enmiendas orgánicas como agente mejorador de suelo. Se utilizarán buscadores fiables para obtener artículos científicos, tesis, revistas investigaciones entre otros. Se tomará datos de estudios anteriores sobre remediación mediante lavado de suelos, utilización de suelos ricos en materia orgánica y/o enmiendas orgánicas haciendo una comparación de cuáles de los tratamientos son ideales para mejorar dicho suelo y ser altamente productivo para la agricultura. Esta investigación es útil para saber cuál tratamiento es efectivo. Se listará en un cuadro los principales resultados de los estudios realizados sobre el uso de tratamientos físicos y biológicos en el tratamiento de suelos salinos – sódicos para su uso en la actividad agrícola.

PALABRAS CLAVES:

Suelos salinos, suelos sódicos, lavado de suelos, enmiendas orgánicas, agricultura.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El suelo agrícola es aquel que se utiliza en el ámbito de la productividad para hacer referencia a un determinado tipo de cultivos y plantaciones, es decir para las actividades agrícolas o agricultura, el suelo agrícola debe ser en primer lugar un suelo fértil que permita el crecimiento y desarrollo de diferentes tipos de plantas que sean luego cosechados y utilizados por el hombre por lo cual también debe ser apto por sus componentes para el ser humano, por eso es necesario asegurarnos que se encuentre en buenas condiciones según Castro *et al* (2 006) para la utilización de suelos salinos como suelos de producción agrícola ha llevado a que se realicen varios procesos de remediación los cuales ayudan a ser más fértil, existen varios métodos de remediación físicos, químicos y biológicos que pueden abarcar remediaciones convencionales y de gran complejidad incrementando el costo y el tiempo del tratamiento por eso se realiza la siguiente pregunta.

¿Cuál de los métodos: físicos o biológicos es el más efectivo para el tratamiento de suelos salino – sódicos con fines agrícolas?

Como tratamientos físicos tenemos los lavados de suelos como los más comunes que consiste en el lavado de las sales mediante el cual son transportadas a horizontes más profundos de los explorados por las raíces de las plantas, o son evacuadas a otras zonas por medio de drenes, teniendo en cuenta que las zonas receptoras no deben de ser sensibles a la contaminación originada según Rojas *et al* (2 012).



Figura 1. Lavado de suelos salinos sódicos.

Referencia: Recuperación de suelos salinos un universo bajo nuestros pies.

Tratamiento biológico es la biodescontaminación del suelo y es un proceso espontaneo o dirigido en el cual mediante procedimientos biológicos, fundamentalmente microbiológicos se degradan o transportan los contaminantes hasta formas menos tóxicas o no tóxicas y se mitiga por Barbazan *et al* (2014)

La utilización de la capacidad de degradación de los microorganismos es la base fundamental de los tratamientos biológicos.



Figura 2. Tratamiento biológico de suelos salinos.

Referencia: Diario el Mercurio

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Materiales, instrumentos y métodos

Esta investigación es descriptiva realizando una revisión sistemática como método de investigación para la recolección de datos, tomando en cuenta las palabras claves antes mencionadas buscando información en páginas como Scielo, ebsco, Google libros, Google académico entre otras encontrando información de tesis, papers, revistas, libros y más para recopilación de datos y se tomaron los más resaltantes acerca del tema investigado.

En este trabajo se realizó la comparación de información acerca de tratamientos físicos y biológicos de suelos salinos y/o sódicos para su utilización en la agricultura, se planteó un diseño descriptivo de investigaciones anteriores con estos tipos de remediación tomando en cuenta parámetros de calidad del suelo final mostrado en cuadro descriptivo.

Tabla 1. Artículos incluidos en la revisión según palabras claves.

Autores	Título	Año
Ochoa Estrada, C. A. <i>et al.</i>	Aplicación directa de residuos sólidos orgánicos municipales a suelos volcánicos	2 009
Sánchez Bernal, Edgar Iván <i>et al.</i>	Lavado de sales en suelos aluviales costeros de Oaxaca, México, con aguas residuales municipales tratadas	2 012
Bandera, Ramiro	Rehabilitación de suelos salino - sódicos: evaluación de enmiendas y de especies forrajeras	2 017
Manzano Banda, Juana Irma <i>et al.</i>	Rehabilitación de suelos salino-sódicos: estudio de caso en el distrito de riego 086, Jiménez, Tamaulipas, México	2 014
Manzano Banda, Juana Irma <i>et al.</i>	Rehabilitación de suelos salino-sódicos: estudio de caso en el distrito de riego 086, Jiménez, Tamaulipas, México	2 014
Mogollón, José Pastor	Efecto del uso del vermicompost para la biorremediación de suelos salino-sódicos del estado Falcón.	2 014
Ramírez Alaluna, Pamela Margarita	“Condiciones de salinidad y recuperación de los suelos de la cancha pública de golf - San Bartolo, Lima”	2 016

Autores	Título	Año
Hernández Araujo, Jacqueline A.	Bio recuperación de suelos salinos con el uso de materiales orgánicos	2 011
Tejada Soria, Cecilia	Anita Aplicación de láminas de agua para recuperación de suelo salino en maíz amarillo duro	2 019

2.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Para realizar la búsqueda sistemática se tuvieron en cuenta las siguientes restricciones o limitaciones:

Antigüedad máxima: 12 años

Alcance: Tratamiento de suelos salinos/sódicos

Tipo de documento: Artículos científicos, tesis de grado, maestría o doctorado

Palabras clave:

Suelos salinos, suelos sódicos, lavado de suelos, enmiendas orgánicas, agricultura.

2.3. Procedimiento

Se revisó los resultados de la búsqueda en las diferentes bases de datos mencionadas. Se seleccionaron 8 trabajos. Después de haber descartado estudios que no cumplieran con los criterios de antigüedad, alcance y tipo de documento.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

En la investigación realizada empezando con el buscador Redalyc se encontraron artículos relacionados a las palabras claves arrojando un total de 166 artículos con las palabras Suelos salino, 412 artículos con las palabras productividad de cultivos, y 11 694 artículos con la palabra agricultura.

De tal manera utilizando el buscador Ebsco se encontraron 4 950 artículos con las palabras suelo salino, 10 800 artículos con las palabras productividad de cultivos, 18 200 artículos con la palabra agricultura.

Así mismo utilizando el buscador Scielo se encontraron 3 250 artículos con las palabras suelo salino, 9 714 artículos con las palabras productividad de cultivos, 16 220 artículos con la palabra agricultura.

Utilizando el buscador Google libros se encontraron 4 017 artículos con las palabras suelo salino, artículos con las palabras productividad de cultivos, 14 688 artículos con la palabra agricultura.

Con el buscador Scopus se encontraron 2 128 artículos con las palabras suelo salino, 5 476 artículos con las palabras productividad de cultivos, 13 587 artículos con la palabra agricultura.

Estas búsquedas en las diferentes fuentes de información se delimitaron en mayoría por fecha entre los años 2009 y 2021, haciendo una excepción de algunos artículos que se incluyó por su importancia de contenido.

De los 184 729 artículos de búsqueda se procedió a depurar considerando como primer paso la importancia del contenido, después la fecha de publicación y por último el

idioma llegando a los más importantes un número de 19 artículos que fueron considerados para este estudio.

Tabla 2: Número de artículos encontrados en buscadores según palabras claves.

Buscador	Suelo salino - sódico	Productividad de cultivos	Agricultura
Redalyc	166	412	11694
Ebsco	4950	10800	18200
Scielo	3250	9714	16220
Google libros	4017	9580	14688
Scopus	2128	5476	13587
Total	14511	35982	74389

Se puede observar la cantidad de artículos encontrados en los diferentes buscadores entre los años 2009 y 2021 sin excepción.

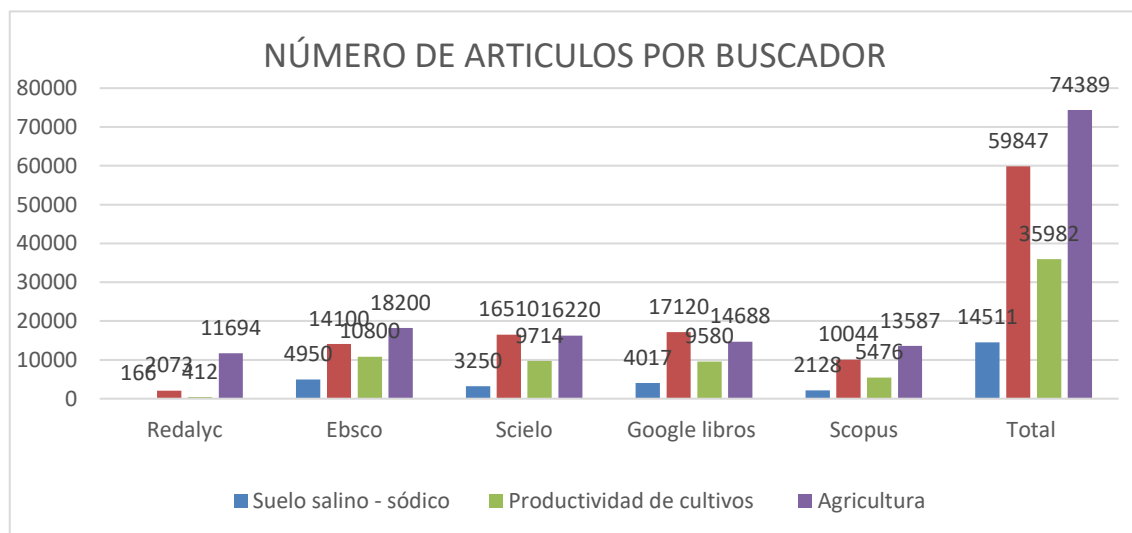


Figura 3: Artículos encontrados en buscadores según palabras claves.

Tabla 3: Número de artículos utilizados por buscador.

Buscador	Artículos
Redalyc	1
Ebsco	1
Scielo	3
Google académico	4
Total	9

En esta tabla se muestra la cantidad de artículos utilizados en la revisión sistemática por su importante aporte y año de publicación.

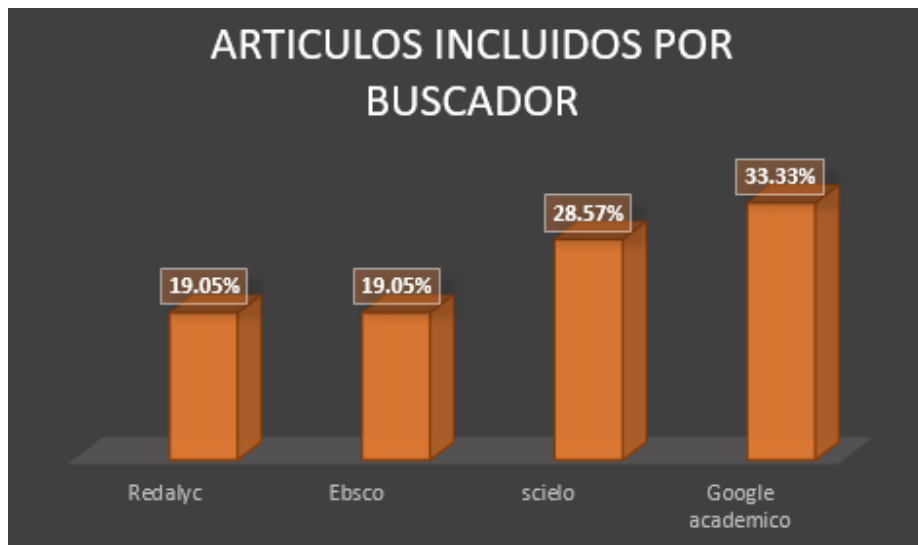


Figura 4: Porcentaje de artículos incluidos en el estudio según del buscador.

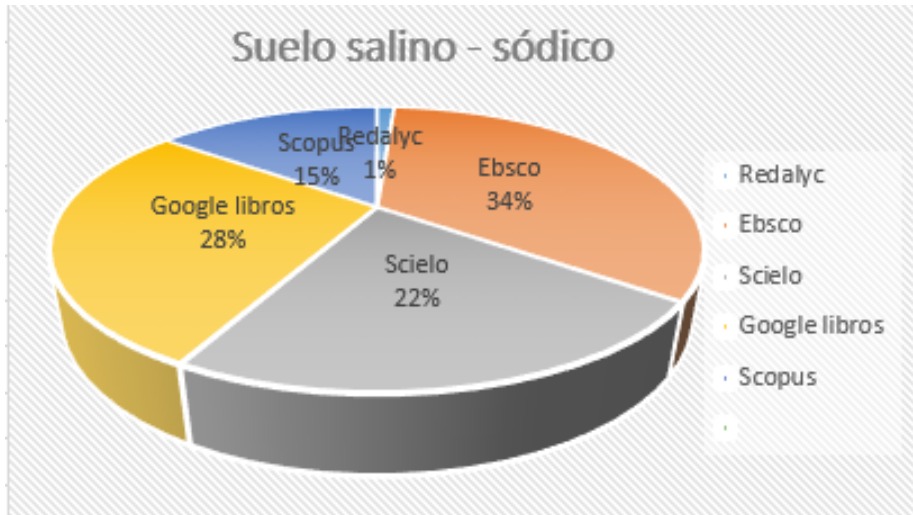


Figura 5: Porcentaje de búsqueda con la palabra clave suelo salino de un total de 14511 artículos.

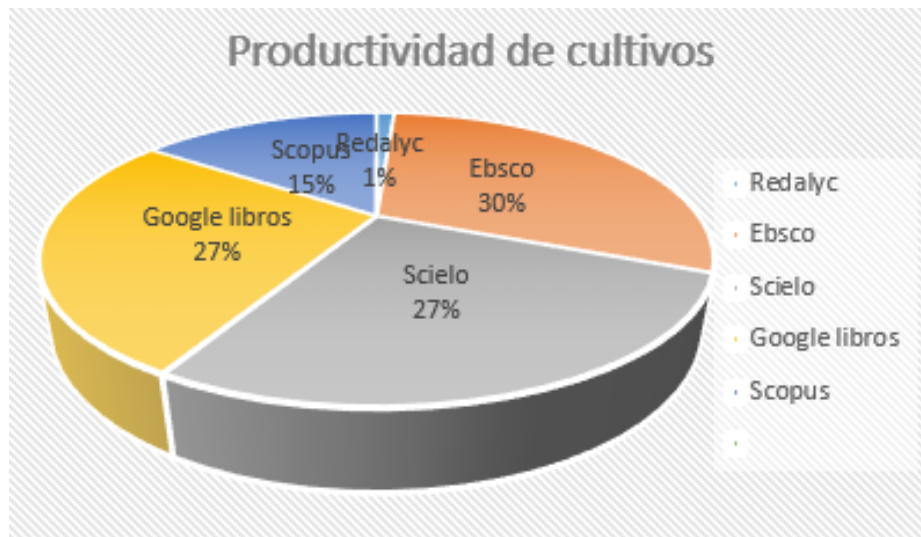


Figura 6: Porcentaje de búsqueda con la palabra clave productividad de cultivos de un total de 35982 artículos.

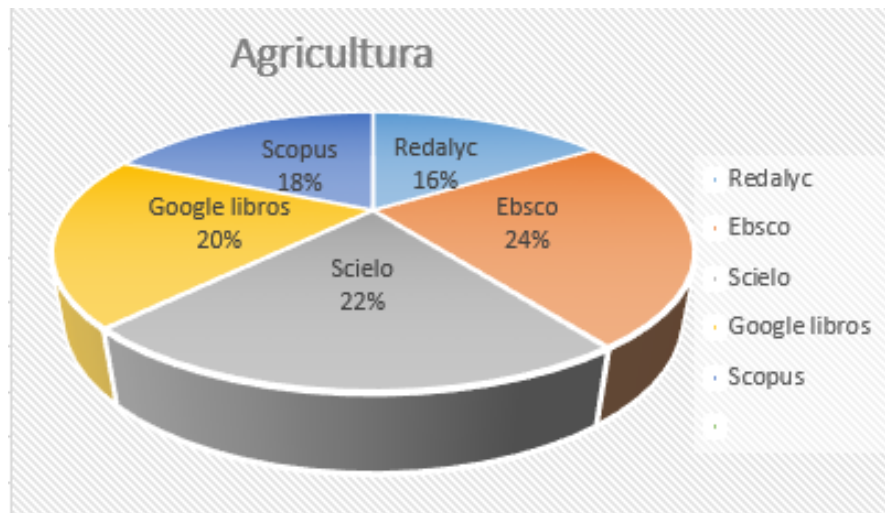


Figura 7: Porcentaje de búsqueda con la palabra clave agricultura de un total de 34 389 artículos

Tabla 4: Resultados de eficiencia de tratamientos físicos y biológicos según artículos estudiados

Título	Tipo de tratamiento	Efectividad	Logro
Aplicación directa de residuos sólidos orgánicos municipales a suelos volcánicos	Biológico	Sí	Suelo con CE (inicial) de 13.3 ds m-1 disminuyó a 3 ds m-1.
Lavado de sales en suelos aluviales costeros de Oaxaca, México, con aguas residuales municipales tratadas	Físico	Sí	Suelo con CE (inicial) de 8.64 ds m-1 disminuyó a 3,4 ds m-1.
Rehabilitación de suelos salino - sódicos: evaluación de enmiendas y de especies forrajeras	Biológico	No	Incremento de la masa seca de especie forrajera instalada en suelo salino – sódico, tratado con materia orgánica
Rehabilitación de suelos salino-sódicos: estudio de caso en el distrito de riego 086, Jiménez, Tamaulipas, México	Biológico	Sí	Suelo 1 con CE (inicial) de 7.75 ds m-1 y Suelo 2 con CE (inicial) de 22,2 ds m-1; disminuyó a menos de 4 ds m-1. Suelo 1 con 18,4 PSI y Suelo 2 con 34 PSI disminuyeron a niveles menores a 8 PSI.
Rehabilitación de suelos salino-sódicos: estudio de caso en el distrito de riego 086, Jiménez, Tamaulipas, México	Físico	Sí	Suelo 1 con 7.84 pH disminuyó a 7,60 en pH y Suelo 2 con 8 pH disminuyó a 7.74.

Título	Tipo de tratamiento	Efectividad	Logro
Efecto del uso del vermicompost para la biorremediación de suelos salino-sódicos del estado Falcón.	Biológico	Sí	Suelo con 8.3 de pH disminuyó a menos de 7,5. Suelo con CE (inicial) de 3.48 ds m-1 (1:2) disminuyó a 2.15 ds m-1. Suelo con 67,17 PSI disminuyó a 33.6 PSI.
“Condiciones de salinidad y recuperación de los suelos de la cancha pública de golf - San Bartolo, Lima”	físico	No	Suelo con 8.3 de pH disminuyó a menos de 7,5. Suelo con CE (inicial) de 174 ds m-1 disminuyó a 124 ds m-1. Suelo 1 con 223 PSI disminuyó a 105.6 PSI. Suelo 2 con 44 PSI disminuyó a 29.2 PSI
Bio recuperación de suelos salinos con el uso de materiales orgánicos	Biológico	Sí	Suelo con CE (inicial) de 12.46 ds m-1 disminuyó a 0,34 ds m-1.
Aplicación de láminas de agua para recuperación de suelo salino en maíz amarillo duro	Físico	Sí	Suelo con CE (inicial) de 4.95 ds m-1 disminuyó a 1.7 ds m-1.

De los 5 tratamientos biológicos encontrados por este estudio 4 encontraron resultados favorables es decir el 80%. De los 4 tratamientos físicos 3 obtuvieron resultados positivos en el tratamiento de suelos salinos y/o sódicos, siendo el 75%.

Tabla 4: Porcentajes de eficiencia de enmienda según artículos estudiados

Tratamiento	% De eficiencia
Físico	75%
Biológico	80%

Nota: En el cuadro se muestra los porcentajes de eficiencia de los tratamientos aplicados a suelos salinos donde se observa que el método más eficiente es el tratamiento biológico como enmienda

Bases teóricas:

Suelo salino es un suelo con exceso de sales solubles, la sal dominante en general es el cloruro de sodio (NaCl), razón por la cual el suelo también se llama suelo salino-sódico, este perjudica o imposibilita el cultivo agrícola influyendo desfavorablemente sobre el desarrollo vegetal y en ocasiones los limitan en forma total. Esos efectos desfavorables son más permanentes en los suelos sódicos que en los suelos salinos. Una característica muy común de los suelos salinos y sódicos es su considerable grado de heterogeneidad, presentan variantes considerables dentro de áreas separadas por distancias mínimas según Moreno et al (2 009)

Las sales solubles del suelo consisten principalmente de proporciones variadas de los cationes sodio, potasio, calcio y magnesio y de los aniones cloruro, sulfato, carbonatos y bicarbonatos. El origen de estas sales son los minerales primarios que se encuentran en los suelos y en las rocas expuestas de la corteza terrestre durante la formación de los suelos que comprende fenómenos como el de hidrolisis, hidratación, solución, oxidación y carbonatación, estos constituyentes son liberados de los minerales primarios adquiriendo mayor solubilidad según Le Bissonnais (2 006).

La productividad de cultivos es la cantidad de producción por hectárea, los suelos más ricos en nutrientes son los suelos que mayor producción tienen por área, un suelo productivo debe poseer todos los elementos nutritivos que aseguren el buen crecimiento de las plantas y el desarrollo de los cultivos agrícolas, para producir necesitamos de suelos sanos, buen nivel de fertilidad, manejados con enfoque sustentable, de mínima labranza o labranza cero, cultivo de abonos verdes en rotación, con el agregado de materia orgánica principalmente en pequeñas y medianas superficies para Díaz (2 016).

La agricultura es la actividad humana tendiente a combinar procedimientos y saberes en el tratamiento de la tierra con el objetivo de producir alimentos de origen vegetal, tales como frutas, verduras, hortalizas, cereales entre otros según Duran *et al* (2 009).

Es la actividad económica que se encuentra dentro del sector primario y en ella se encuentran todos los actos realizados por el hombre, tendientes a modificar el medio ambiente que lo rodea para hacerlo apto y así generar una mayor productividad del suelo y obtener alimentos tanto para el consumo directo o para su posterior tratamiento industrial generando valor agregado según Hernández *et al* (2 011).

Suelo es un sistema natural desarrollado a partir de una mezcla de minerales (arcillas, limos y arenas) y restos orgánicos (residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición) bajo la influencia de factores formadores (clima, pendiente, medio biológico) y del tiempo. Así mismo, se diferencia en horizontes y se le atribuyen funciones que consisten en suministrar oxígeno, agua, sustancias nutricionales y anclaje mecánico para las plantas según Porta y López (1 993).

CAPÍTULO IV. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Discusiones

La degradación de suelos se refiere a la pérdida, desde un punto de vista cuantitativo o cualitativo, de su productividad, a través de varios procesos como la erosión hídrica o eólica, el deterioro de la estructura del suelo, la salinización, la acidificación (Pla-Sentís, 1990b). Así mismo, González-Quñones (2006) indica que la degradación del suelo puede definirse como la alteración del equilibrio existente entre sus constituyentes debido a los cambios experimentados en sus propiedades físicas, químicas, biológicas o bioquímicas, que conducen a la pérdida o disminución de su fertilidad y que disminuye la capacidad actual o futura del suelo para generar, en términos de calidad y cantidad, bienes o servicios

Los tratamientos físicos tenemos los lavados de suelos como los más comunes que consiste en el lavado de las sales mediante el cual son transportadas a horizontes más profundos según Rojas *et al* (2012). Sin embargo, existen otros tratamientos como el biológico que es un proceso espontáneo o dirigido en el cual mediante procedimientos biológicos, fundamentalmente microbiológicos se degradan o transportan los contaminantes hasta formas menos tóxicas o no tóxicas y se mitiga según Barbazan *et al* (2014)

Conclusiones

Después de lo investigado, concluimos:

- Se obtuvieron 8 trabajos de investigación referidos a tratamientos físico y biológicos de suelos salinos y/o sódicos con fines agrícolas. De los cuales 4 fueron sobre tratamientos biológicos, 3 sobre tratamientos físicos y 1 estudio tuvo tratamiento físico y biológico.
- El 80% de los tratamientos biológicos fueron eficientes en el tratamiento de suelos salinos y/o sódicos para fines agrícolas.
- El 75% de los tratamientos físicos fueron eficientes en el tratamiento de suelos salinos y/o sódicos para fines agrícolas
- Que la remediación biológica según los estudios cuyos datos son mencionados en la presente investigación es la más eficiente que el tratamiento físico, en la remediación de suelos salinos y/o sódicos para uso agrícola.

REFERENCIAS

- Barbazan M y Ferrando M (2 014). Diagnóstico nutricional de *Lotus corniculatus* L. en suelos de Uruguay, (January 2008).
- Bandera R (2 017). Rehabilitación de suelos salino – sódicos: evaluación de enmiendas y de especies forrajeras. Tesis para optar el título de Magister de la Universidad de Buenos Aires, área Recursos Naturales Buenos Aires – Argentina.
- Castro H; Manuel I; Oscar E y Dilsa M (2 006). Diagnóstico y control de la acidez en suelos sulfatados ácidos en el Distrito de riego del Alto Chicamocha (Boyacá) mediante pruebas de incubación.
- Díaz F. (2016). Los suelos productivos con el uso de enmiendas orgánicas y practicas agrícolas tradicionales. *Agronomía Costarricense*. 39:155-159.
- Durán L y Henríquez C (2 009). Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia Foetida*) en cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*. 33:275-281.
- González-Quiñones V (2 006). Metodología, formulación y aplicación de un índice de calidad de suelos con fines agrícolas para Castilla-La Mancha. Tesis para optar el grado de Doctor de la Universidad Politécnica de Madrid - España.
- Hernández J; Chacín L; Ávila J; El Khatib N; Chirinos I y Bracho B (2 011). Métodos de manejo de la salinidad del estiércol bovino para el vermicompostaje con la lombriz roja (*Eisenia andrei*). *Rev. Fac. Agron. VOL N° 7*. Febrero 2 011.
- Hernández J (2 011). Bio recuperación de suelos salinos con el uso de materiales orgánicos. Tesis para optar el grado de doctor de la Universidad Politécnica de Madrid – España.
- Le Bissonnais Y (2 006). Aggregate breakdown mechanisms and erodibility. In Lal R (Ed.). *Encyclopedia of Soil Science (40-44)*. USA: Taylor and Francis.

- Manzano J; Rivera P; Briones F y Zamora C (2 014). Rehabilitación de suelos salino –
sódicos: estudio de caso en el distrito de riego 086, Jiménez, Tamaulipas,
México. Revista Terra Latinoamericana VOL. N° 32, julio del 2 014.
- Mogollón J (2 014). Efecto del uso del vermicompost para la biorremediación de suelos
salino-sódicos del estado Falcón. Tesis para optar el título de Magister en
Ciencias Ambientales mención Evaluación de Impacto Ambiental de la
Universidad Yacambú - Colombia.
- Moreno B; García S; Cañizares R; Castro J y Benítez E (2 009). Rainfed olive farming in
south-eastern Spain: long-term effect of soil management on biological
indicators of soil quality. Agriculture, Ecosystems and Environment.
- Ochoa S; Ortiz C; Gutiérrez M; Quintero R y Silva J (2 009). Aplicación directa de residuos
sólidos orgánicos municipales a suelos volcánicos. Revista Terra
Latinoamericana VOL. N° 27, marzo del 2 009.
- Porta J y López M (1 993). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid:
Ediciones Mundi-Prensa.
- Ramírez P (2 016). Condiciones de salinidad y recuperación de los suelos de la cancha
publica de golf – San Bartolo, Lima. Tesis para optar el título de Ingeniero
Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería
Agrícola, Lima – Perú.
- Rojas W; Germán I y Boñón H (2 012). Estudio de suelos y capacidad de uso mayor de las
tierras departamento de Cajamarca.
- Sánchez E; Ortega H; Sandoval G; Hernández R y Estrada C (2 012). Lavado de sales en
suelos aluviales costeros de Oaxaca, México, con aguas residuales municipales

tratadas. Revista internacional de contaminación ambiental VOL. N° 28,
diciembre del 2 012.

Tejada A (2 019). Aplicación de laminas de agua para recuperación de suelo salino en maíz
amarillo duro. Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrícola de la Universidad
Nacional de Trujillo – Perú.