

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

EVALUACIÓN DEL *BACILLUS SUBTILIS*, CAL Y  
HARINA DE CÁSCARA DE HUEVO PARA LA  
REDUCCIÓN DEL SODIO EN EL SUELO

Tesis para optar al título profesional de:

**INGENIERA AMBIENTAL**

**Autores:**

ELISABETH STEFANY CASO TAFUR  
RAYSA NATHALY FLORES CALDERON

Asesor:

Ing. Wilberto Effio Quezada  
<https://orcid.org/0000-0003-0364-5392>

Lima - Perú

2023

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(a)	<b>Angélica Ysabel Miranda Jara</b>	<b>40670962</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	<b>Margeo Javier Chuman Lopez</b>	<b>45997406</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	<b>Denisse Milagros Alva Mendoza</b>	<b>45535817</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## INFORME DE SIMILITUD



## DEDICATORIA

El presente trabajo a dios por darme la fortaleza para seguir adelante con este proyecto y poder desarrollarlo. A mis padres que siempre me guiaron en cada etapa que tuve que dar para cumplir mis objetivos, darme la motivación que siempre necesité y darme las fuerzas para seguir. También, a mis abuelos y tíos por creer siempre en mí.

Stefany Caso Tafur

El presente trabajo a Dios por guiarme por buen camino y por haberme dado la fortaleza para cumplir mis objetivos y poder elaborar este proyecto. A mis padres por darme la confianza, motivación y apoyo en todo momento. A mis hermanos Gustavo y Anthony que me alentaron a seguir adelante en cada objetivo que me proponga.

Raysa Flores Calderon

## AGRADECIMIENTO

A mi madre Gloria Tafur Rodríguez y mi padre Cesar Caso Apolinario por todo el apoyo moral y económico que siempre me han brindado con tanto esfuerzo.

Stefany Caso Tafur

A mis padres Luisa Calderon y Gregorio Flores por su apoyo incondicional, que siempre han sido mi motor para lograr mis metas, mis sueños y que me han enseñado a seguir adelante ante cualquier obstáculo que se presente.

Raysa Flores Calderon

A nuestro asesor Wilberto Effio por brindarnos su apoyo y conocimientos necesarios en este proyecto.

A la Universidad por las experiencias vividas y conocimientos brindados en los años de formación académica.

## TABLA DE CONTENIDO

JURADO CALIFICADOR .....	2
INFORME DE SIMILITUD .....	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO.....	5
TABLA DE CONTENIDO.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
RESUMEN.....	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	10
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA .....	26
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	38
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	53
REFERENCIAS.....	58
ANEXOS.....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Ubicación geográfica del área de estudio.....	26
<b>Tabla 2.</b> Representación del tratamiento.....	32
<b>Tabla 3.</b> Dosis de <i>Bacillus subtilis</i> para los tratamientos .....	34
<b>Tabla 4.</b> Dosis del tratamiento.....	35
<b>Tabla 5.</b> Resultados iniciales de los parámetros del suelo sódico.....	37
<b>Tabla 6.</b> Resultados de la conductividad eléctrica.....	38
<b>Tabla 7.</b> Resultados del PSI.....	39
<b>Tabla 8.</b> Resultados de la eficacia para la Conductividad Eléctrica .....	41
<b>Tabla 9.</b> Resultados de la eficacia para el Porcentaje de Sodio Intercambiable.....	42
<b>Tabla 10.</b> ANOVA para la conductividad eléctrica .....	43
<b>Tabla 11.</b> ANOVA para el PSI.....	44
<b>Tabla 12.</b> Prueba de Tukey para la conductividad eléctrica.....	45
<b>Tabla 13.</b> Prueba de Tukey para el PSI.....	47
<b>Tabla 14.</b> Propuestas.....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Triangulo textural .....	19
<b>Figura 2.</b> Proceso en la obtención de cal .....	23
<b>Figura 3.</b> Ubicación del área de estudio en el distrito de Aucallama .....	27
<b>Figura 4.</b> Localización de puntos de muestreo de forma de rectángulo.....	30
<b>Figura 5.</b> Diseño del tratamiento.....	32
<b>Figura 6.</b> Proceso de la obtención de la harina de la cáscara de huevo .....	33
<b>Figura 7.</b> Proceso del tratamiento .....	35
<b>Figura 8.</b> Comparación de la conductividad eléctrica de los resultados.....	39
<b>Figura 9.</b> Comparación de los PSI de los resultados.....	40
<b>Figura 10.</b> Comparación de eficacia para la Conductividad Eléctrica.....	41
<b>Figura 11.</b> Comparación de eficacia para para el Porcentaje de Sodio Intercambiable....	42
<b>Figura 12.</b> Varianza entre medias para la conductividad eléctrica.....	46
<b>Figura 13.</b> Varianza entre las medias para el PSI.....	47
<b>Figura 14.</b> Secuencia de la evaluación preliminar.....	48



## RESUMEN

En esta investigación se evaluó la capacidad de *Bacillus subtilis*, cal y harina de cáscara de huevo en la reducción del sodio en el suelo del distrito de Aucallama, Huaral. Para ello, se empleó 3 tratamientos con diferentes dosis durante una aplicación con frecuencia diaria en un tiempo de 30 días. Para el tratamiento 1 se aplicó 0.5 gr. *Bacillus subtilis*, 30 gr. Cal y 20 gr. Harina de cascara de huevo, donde se obtuvo una eficacia del 92.77% para la conductividad y 98.28% para el PSI, para el tratamiento 2 se aplicó 0.75 gr. *Bacillus subtilis*, 40 gr. Cal y 40 gr. Harina de cáscara de huevo, donde se consiguió el 93.83% de eficacia para la conductividad y 97.96% para el PSI, para el tratamiento 3 se aplicó 1 gr. *Bacillus subtilis*, 50 gr. Cal y 60 gr. Harina de cáscara de huevo, donde obtuvo una eficacia del 92.59% para conductividad y 98.70% para el PSI, lo cual fue comprobada estadísticamente con la prueba de Anova. Finalmente, se concluye que el tratamiento 2 es el más significativo debido a que se obtuvo un promedio de eficacia del 95.90% para la reducción de sodio en el suelo.

**PALABRAS CLAVES:** *Bacillus subtilis*, cal, cáscara de huevo, reducción de sodio.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1 Realidad problemática

El deterioro del suelo a nivel mundial está creciendo cada vez más rápido, ya sea por el estrés que recibe este por una inadecuada práctica agrícola, salinización, contaminaciones ambientales, cambio climático. Según, García, García y Ramírez (2015), el principal problema en muchas regiones a nivel mundial de la productividad del suelo es causada por las sales presentes en ella, debido a que ocasiona el déficit crecimiento y desarrollo de las plantas. Estos suelos predominan más en los lugares costeros, áridos y en tierras bajas, debido a que ocurre una mayor evapotranspiración en ella. En base a lo mencionado es muy probable que la calidad del suelo se degrade y cause problemas en el desarrollo de los terrenos agrícolas.

Más de 800 millones de hectáreas de suelo son afectadas por salinidad y sodicidad a lo largo del mundo, lo que es equivalente a más del 6% del área total mundial y aproximadamente el 20% del área cultivable total. Este porcentaje podría incrementarse a un 50% del total de suelo cultivable en el 2050. (Courel, 2019).

No obstante, los problemas de degradación en el suelo a causa de la salinización y sodicidad se dan regularmente en la costa del Perú, ya que no tienen un adecuado sistema de riego y un buen manejo de la agricultura, esto llegó a afectar a 306.701 hectáreas de suelo (Minagri, 2017).

Además, Ramírez (2016), comenta que la salinización de los suelos agrícolas en las zonas de la costa peruana es un proceso contaminante y creciente, por esta razón la pequeña agricultura tiene limitaciones financieras para enfrentar el problema.

Además, esta parte del país se caracteriza por tener suelos arenosos, con excepción de algunos valles fértiles, cuya fuente de agua proviene de los ríos de la cuenca del Pacífico.

Para poder evitar estos problemas y recuperar los suelos deteriorados por este, existen diversos métodos los cuales pueden ser físicos, químicos y biológicos, por lo que, Zúñiga, Cuero, Osorio, y Peña (2011), aseguran que algunos de los métodos de recuperación para el suelo salino – sódico son los fertilizantes como el multibiol, biosol, biocompost y micorrizas; las convencionales que son el yeso, azufre y cal; los biopolímeros como el desalt, humisol, biosol new; y electromagnetismo como *Lactobacillus casei*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*. También, Huanca (2019), afirma que “*la harina de la cáscara de huevo ayudará al crecimiento de los diversos cultivos y proporcionará calcio, ya que presenta un 95% de CaCO<sub>3</sub> en peso y esto contribuirá a tener una mejor calidad del suelo*”.

Por otra parte, Corcuera (2012), asevera que el estado no tiene interés en estas problemáticas sobre el suelo, ya que no hay información en los últimos años y solo hay datos disponibles del año 1970, donde hubo 300 000 hectáreas de suelos de baja calidad por la salinidad y sodicidad en el suelo.

Por este motivo mencionado esta tesis está orientada a presentar una alternativa de fácil uso, económica, “aumentando la permeabilidad del suelo dejando transmitir el agua y el aire, adsorción de calcio y potasio en las plantas para lograr obtener un suelo agrícola” (Fertilab, 2016). Por lo que, se aprovechará un recurso orgánico como la cascará de huevo y la cal, lo cual influenciarán en la recuperación del suelo reduciendo

las sales presentes como el sodio, asimismo, el *Bacillus subtilis* ayudará en las características físicas del suelo mejorando su fertilidad, por lo que se consideró utilizar 3 tratamientos con diversas sustancias y concentraciones, así logrando reducir el sodio en el suelo.

Para la contribución del trabajo realizado se utilizó otras investigaciones nacionales e internacionales que ayudaron para la recolección de información sobre tratamientos para el suelo salino utilizando: *Bacillus subtilis*, cal y cascará de huevo para el mejoramiento agrícola.

Pérez y Rodrigo (2016), determinó la cal requerida en los suelos agrícolas de Zamora, Honduras, con el objetivo de recolectar información de las características del suelo y establecer una dosis de cal, lo cual seleccionó 25 lotes agrícolas, para determinar el pH, textura, capacidad de intercambio catiónico y aluminio intercambiable para los datos iniciales, luego realizó ecuaciones para determinar la dosis de cal que se iba a requerir para el incremento de pH. Finalmente se demostró que la causa de la acidez del suelo fue el aluminio y se recomendó la aplicación de la cal con dosis de 1 a 4.8 t/ha, cuando hay bajo contenido en magnesio y pH.

Harsha (2015), realizó una investigación para ver la eficacia del estiércol con la cáscara de huevo en el crecimiento de cultivos, utilizó cáscara de huevo junto con otro bioresiduo como desechos de plantas y desechos de animales en plantas de trigo los cuales se colocaron en macetas y también uno en blanco. Se observó un notable crecimiento en las macetas con los residuos y la cáscara de huevo en comparación con la maceta en blanco del mismo tipo en el suelo, se obtuvo 4.29 de pH inicial y 7.65 pH

final. Esto muestra que el estiércol con cáscaras de huevo y desechos biológicos tiene potencial requerido para las plantas que apoya el crecimiento, evita enfermedades.

Sánchez y Huanio (2017), determinaron la granulometría óptima del carbonato de calcio extraídos de la cáscara de huevo para la recuperación del suelo ácido. Primero, se estableció tres valores del granulado con 3 diferentes valores de tiempo, con sus respectivas repeticiones. Los resultados de estas dosis, demostró que el pH aumentó de 5.5 a 7.6 con un tiempo de 20min, y tamaño menor de 0,125 mm, con 0.28 cmol+ kg<sup>-1</sup> de acidez. También, con 0,250 mm y tiempo de 20min, se obtuvo un pH de 7.3 y 7. Se concluye, la dosis más eficaz para reducir la acidez es de 0.125 y con un tiempo de 20min.

Rivera (2018), determinó la dosis de la cal agrícola y sangre de res, para reducir la salinidad del suelo, lo cual hizo 3 tratamientos y un testigo con sus respectivas repeticiones. Los tratamientos eran los siguientes de 50 gramos de cal agrícola, 50g de cal agrícola + 100 ml de sangre de res y 50 g de cal agrícola + 200 ml de sangre de res. Teniendo como resultado el primer tratamiento de 7.08 ds/m a 2.38 ds/m, 8.15 pH a 7.53 y 1.66 a 4.33 meq/100 gr de CIC, tratamiento 2, de 7.08 a 2,79 ds/m, pH de 8.15 a 7,77 y de CIC en 1.66 a 6,33 meq/100g, y tratamiento 3, de 7.08 a 2,42 ds/m, pH 7.96, y 4,33 meq/100 de CIC, se concluyó que se obtuvo un mejor resultado en el tratamiento 1 de 50 g de cal agrícola.

Quispe (2018), incrementó la producción de *Zea mays* con el uso de la cáscara de huevo en la ciudad de Raimondi, para evaluar la eficiencia que tiene en el mejoramiento de la calidad del suelo ácido, se utilizó 8 concentraciones las cuales

fueron de cáscara de huevo con una granulometría menor a 0.125 mm, cada una con su respectiva repetición. La incubación fue durante 40 días, donde se obtuvo un mejor resultado fue el de 40 g.kg<sup>-1</sup> teniendo un pH de 4.29 a 7.65 y el sembrado del maíz fue en el día 25, donde se observó un buen desarrollo. Esto refleja que la cáscara es buen estabilizador de pH para el suelo.

Caballero, Álvarez y Lima (2017), determinaron el efecto que causa la aplicación de la cal agrícola en los suelos ácidos en Montería - Córdoba, la mezcla de carbonato de magnesio y calcio conforman la cal agrícola para las dosis que se aplicaron al suelo, para esto se utilizó 14 ecuaciones para los diferentes parámetros como la materia orgánica, pH, saturación de bases. Finalmente, se estimó 40% de la materia seca para los tratamientos con la cal agrícola y se obtuvieron 5.5 de pH, 0.139 de Al<sup>3+</sup> intercambiable, los cuales estas cantidades son aptas para un buen desarrollo de los cultivos. También, se estimó que la dosis de cal agrícola son 7,03 y 156 t ha<sup>-1</sup>, esto llegó a reducir el problema del suelo en un 90%.

Álvarez *et al.* (2010), evaluó el estado del suelo donde se encuentran los cultivos de agave azul, para proponer un fertilizante que ayude a la calidad del suelo, el suelo presenta un pH menor a 5.5, concentración de materia orgánica de 37%, esto quiere decir que presenta problemas de acidez por el exceso de manganeso y hierro, la consecuencia a causa de esto son problemas de crecimiento y desarrollo del cultivo. Por tal motivo de reducir los niveles de acidez se ve la necesidad de estimar el requerimiento de la cal y aplicarlo, esto dará un cambio que mejore las condiciones en los nutrientes del suelo.

Aimentta *et al.* (2018), evaluó los efectos que produce el suelo salino – sódico en los cultivos de soja, donde propone alternativas de solución como aumentar la infiltración, utilizar especies vegetales, especies químicas como la cal para mejorar la estructura y disminuir el porcentaje de conductividad, pH y porcentaje de sodio intercambiable. El cálculo de la dosis de cal varía por el valor que presenta el PSI, lo cual al aplicar libera cationes de calcio que remplazaría al sodio, como resultado se obtuvo un rendimiento de 5000 kg de producto por hectárea y antes era solo de 500 kg/hect. Por consecuencia, los cambios que se dan son significativos en las propiedades del suelo utilizando cal y realizando movimientos a la tierra.

Hanco (2017), aplico la betarraga asociada al vermicompost y cal agrícola en la provincia de Cañete, para desalinizar el suelo se realizó el análisis inicial del suelo donde la conductividad era de 12.86 ds/m, es por eso que ejecuto tres tratamientos y un testigo los cuales fueron el vermicompost, cal agrícola y una combinación de ambos, donde la eficiencia del tratamiento 1 obtuvo 40%, tratamiento 2 29.30% y el tratamiento 3 52.22%, se concluye que el tratamiento 3 es el más eficiente, ya que reduce las sales presentes en el suelo.

Simanca y Cuervo (2018), evaluó la aplicación de enmiendas orgánicas en el distrito de Barranquilla, Colombia para mejorar la productividad del suelo, aplicando un abono de *prosopis juliflora*, vermicompost de residuos de palma y azufre mineral, los tratamientos fueron una aplicación única de 3 toneladas por hectárea de tierra, donde resultó que las enmiendas con azufre tienen más efecto en la reducción del sodio en el suelo a comparación de las otras enmiendas. Se concluye que el azufre tiene una gran influencia sobre los suelos con presencia de sodio.

Milán y Bonadeo (2017), evaluó el efecto de la cal sobre el suelo sódico en la ciudad de Córdoba, realizó 3 aplicaciones de cal al suelo en diferentes tiempos, donde en el 2005 fue 6000 kg por hectárea de suelo, en el 2008 y 2010 fue 2000 kg por hectárea de suelo. El tratamiento fue aplicado en la superficie y al voleo hacia la tierra y se obtuvo 7,48 de pH, 1,14 en conductividad y 19.49 de RAS, como resultado un buen rendimiento en los cultivos y propiedades del suelo. La dosis de cal ayudó a reducir el pH significativamente en los diferentes años aplicados,

Mendieta y León (2022), determinaron el nivel de remediación de suelo agrícola contaminado con arsénico, aplicando la cáscara de huevo, realizó 9 muestras con tres repeticiones, con dosis de cáscara de huevo de 100 g, 200 g y 300 g, con una granulometría menor igual a 0.355 mm, las cuales se evaluaron en tres periodos de tiempo de 15 días, 30 días y 45 días. Teniendo como resultado la reducción de la concentración del arsénico inicial de 105 mg/kg a 71.36 mg/kg con el tratamiento de dosis de 300 g en un tiempo de 45 días. Se concluye, que el tratamiento del suelo contaminado con arsénico, aplicando cáscara de huevo tuvo como mejor resultado a los 45 días con una reducción de 61.16% de arsénico.

Delgado *et al.*, (2022), analizaron la aplicación de *Bacillus subtilis* como promotor de crecimiento del café (*Coffea arabica*). Por lo que, implementaron un diseño de dos parcelas, T0: parcela testigo y T1: se aplicó 0,18gr de *Bacillus subtilis*, se realizaron mediciones del tallo y conteo de hojas antes y después de la aplicación del tratamiento. Teniendo como resultado el incremento en la altura y el número de hojas a un 19,76% y 24,27% comparado con T0. Se concluyó, que las plantas de café con la aplicación de *Bacillus subtilis* como promotor de crecimiento registraron un



mayor número de hojas y altura comparado con el T0, siendo la diferencia entre los promedios de altura de planta de T0 y T1 3,7 cm y número de hojas de 2,5 cm, diferencias que fueron significativas.

Moscol (2018), buscó determinar la eficacia del *Bacillus subtilis* para reducir la salinidad de suelos, para la cual tomó una muestra de 29 Kg de suelo y las dividió en siete macetas, una maceta para la unidad de control, tres de ellos fueron para el tratamiento N° 1 (3gr *Bacillus subtilis*) y tres más para el tratamiento N° 2 (6gr *Bacillus subtilis*), donde estos fueron diluidos en un litro de agua, aplicándolo una vez por semana durante tres meses, teniendo como parámetro inicial 11,26 dS/m de conductividad eléctrica, 3,96 % de porcentaje de sodio intercambiable. Teniendo como resultado para el tratamiento N° 1: 1,23 dS/m de conductividad eléctrica y 1,08% de porcentaje de sodio intercambiable, para el tratamiento N° 2: 1,35 dS/m de conductividad eléctrica y 1,06% de porcentaje de sodio intercambiable, por lo que se concluye que el tratamiento N° 2 el más eficaz en la reducción de sales del suelo.

Jara y Labán (2019), evaluaron la eficiencia entre la biotransformación utilizando *Bacillus subtilis* y la fitoacumulación utilizando girasol (*Helianthus annuus*) en suelos contaminados por cadmio. Se realizó el armado de 06 parcelas de tierra, donde cada parcela contenía por 15 kg. de tierra contaminada por cadmio. Obtuvieron como análisis inicial 2,48 ppm de cadmio. Para los tratamientos T01, T02 y T03 con diferentes dosis de *Bacillus subtilis*, la parcela T02 con dosis de 4 ml/L, obtuvo la mayor reducción de 1.13 ppm de cadmio, mientras que las parcelas T04, T05 y T06 con diferentes dosis de girasol, donde la parcela T05 tuvo el mejor resultado de reducción con 1.21 ppm de cadmio. Se concluyó que la eficiencia de

biotransformación para el cadmio con la bacteria fue de 54.44%, mientras que la eficiencia de la fitoacumulación para el cadmio con el girasol fue de 51.21%.

Para el desarrollo del trabajo se revisó conceptos relacionadas a los tratamientos aplicados para el suelo sódico utilizando: *Bacillus subtilis*, cal y cascará de huevo para el mejoramiento de los suelos agrícola.

### 1.1.1 Suelo

El suelo es el recurso más importante para las plantas al momento de la nutrición, ya que contiene gran parte de los minerales necesarios para desarrollar las actividades fisiológicas y metabólicas, que junto con los microorganismos actúan en correlación y en muchos casos en coevolución para satisfacer las necesidades uno del otro. (García et al, 2018)

Según Gisbert, Ibáñez y Moreno (2010), indica que las clases de texturas en el suelo se agrupan en 4 grupos que se caracterizan de la siguiente manera (Figura1):

**Textura arcillosa:** Son suelo difíciles de trabajar y retienen gran cantidad de agua.

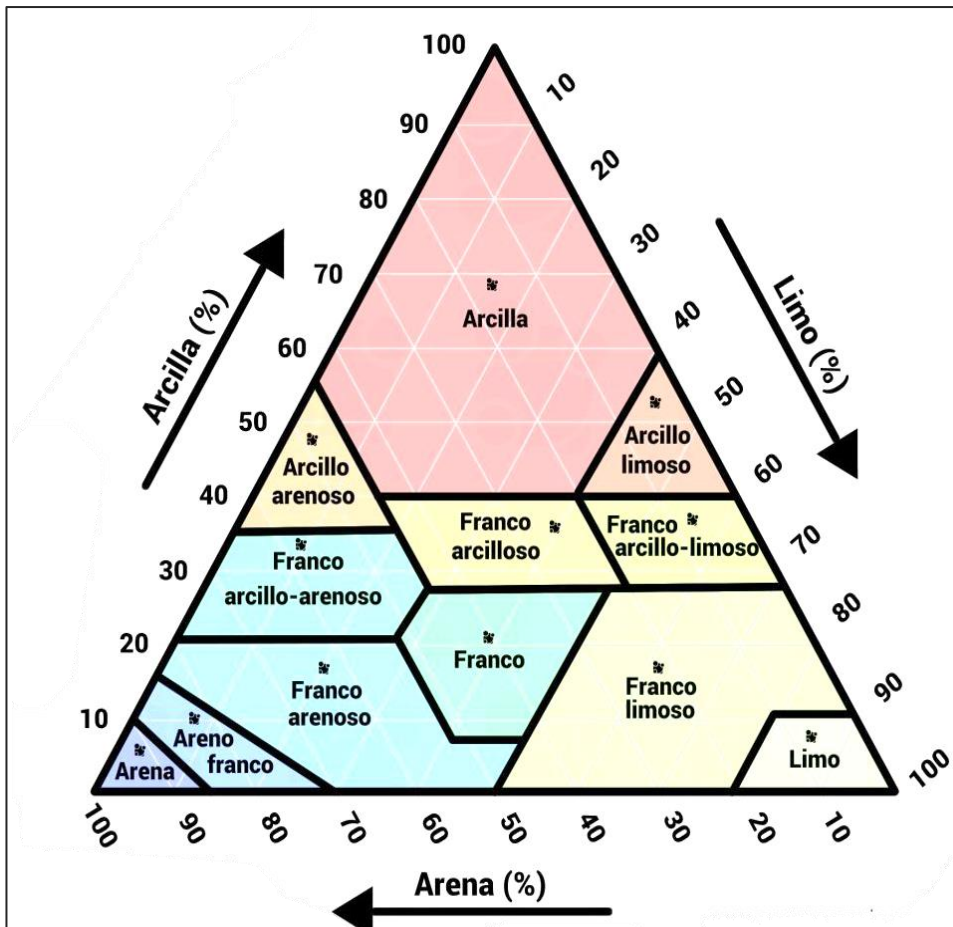
**Textura arenosa:** Son suelos ligeros y con facilidad para trabajar, presenta una gran aireación.

**Textura limosa:** Es un suelo con dificultad en la circulación del agua y carece de propiedades estructurales.

**Textura franca o equilibrada:** Es un suelo muy favorable y tiene el mayor equilibrio.

**Figura 1**

*Triángulo textural*



Fuente: Laboratorios CSR.

En la figura 1. se visualiza las diferentes texturas de suelo, donde se clasificarán según los límites porcentuales de cada componente que son representadas por las líneas trazadas dentro del triángulo.

### A. Clasificación del suelo salino

Quintanilla (2019), indica que:

- **Suelo salino**

Los suelos salinos son aquellos que poseen en el extracto de pasta de saturación una conductividad eléctrica mayor a  $4 \text{ dSm}^{-1}$ , el porcentaje de sodio intercambiable es menor a 15 % y por lo general el pH es inferior a 8,5.

- **Suelo salino-sódico**

Los suelos salinos sódicos contienen grandes cantidades de sales solubles neutras y suficiente sodio para afectar seriamente a las plantas; la conductividad eléctrica en el extracto de pasta de saturación de estos suelos es mayor a  $4 \text{ dSm}^{-1}$  y el porcentaje de sodio intercambiable es mayor a 15%. El pH es comúnmente 8,5 o menos debido a la presencia de sales solubles neutras.

- **Suelo sódico**

Los suelos sódicos son aquellos que contienen más de 15 % de sodio intercambiable, las sales neutras solubles no son abundantes, pero sí contienen importantes cantidades de sales de reacción alcalina como el carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). La conductividad eléctrica del extracto de pasta de saturación es menor a  $4 \text{ dSm}^{-1}$ , el pH es mayor a 8,2 y en casos extremos podría llegar a valores de hasta 10,5.

## **B. Efecto de la salinidad - sodicidad**

Según Fernández *et al.* (2014), sostiene que la salinidad al igual que la sodicidad son conceptos que están sujetos al incremento de sales en el suelo; ya que, ambos conceptos restringen la actividad agrícola, generando una capacidad productiva del suelo muy baja al igual que en los cultivos. Asimismo, indica que el

efecto ocasionado por las sales puede afectar en la capacidad de retención del agua y en los efectos iónicos que provocan la retención del crecimiento de las plantas.

### 1.1.2 Cáscara de huevo

Alvarado (2019), indica que la cáscara del huevo es la más importante de toda la estructura del huevo, la cáscara está conformado por diferentes minerales como zinc, manganeso, sodio, cobre, hierro, aluminio, boro, magnesio y mayor parte está conformado por calcio; la cáscara se encuentra atravesada por multitudes poros que se enlazan y forman túneles produciendo intercambios gaseosos entre el interior y el exterior.

#### A. Estructura de la cáscara

Soler y Bueso (2017), sostiene que la cáscara presenta un 98,4 % de materia seca, de la que únicamente un 3,3 % es orgánica (colágeno). El contenido mineral está predominantemente compuesto por 98 % de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), 1 % de carbonato de magnesio ( $\text{MgCO}_3$ ) y 1 % de fosfato dicálcico ( $\text{CaHPO}_4$ ).

- **Capa más interna o mamilar**

Unida a la membrana testácea externa por puentes de queratina (compuesta únicamente por  $\text{CaCO}_3$ ), y que representa un tercio del espesor total, con una estructura de conos sobre los que se realiza la calcificación.

- **Capa intermedia o esponjosa**

Formada por cristales de  $\text{CaCO}_3$  y Mg, y de  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , dispuestos en forma de columnas y se encuentran unidas por fibras colágenas elásticas, siendo importante destacar que estas columnas dejan unos espacios o poros, en número de 7.000 a 15.000, imprescindibles para el intercambio gaseoso.

- **Capa más externa o cutícula**

Formada por una membrana orgánica compuesta por glicoproteínas, con función de barrera protectora antimicrobiana, que pierde la humedad y desaparece entre los dos y cuatro días después de la ovoposición.

### 1.1.3 *Bacillus subtilis*

Ñacato y Valencia (2016), sostienen que la bacteria *Bacillus subtilis* tiene como característica principal ser una bacteria gram positiva, mesófila, productora de esporas de pared delgada, de forma oval o cilíndrica, es fermentativa y usualmente hidroliza caseína y almidón; tiene la capacidad de controlar enfermedades en cultivos vegetales.

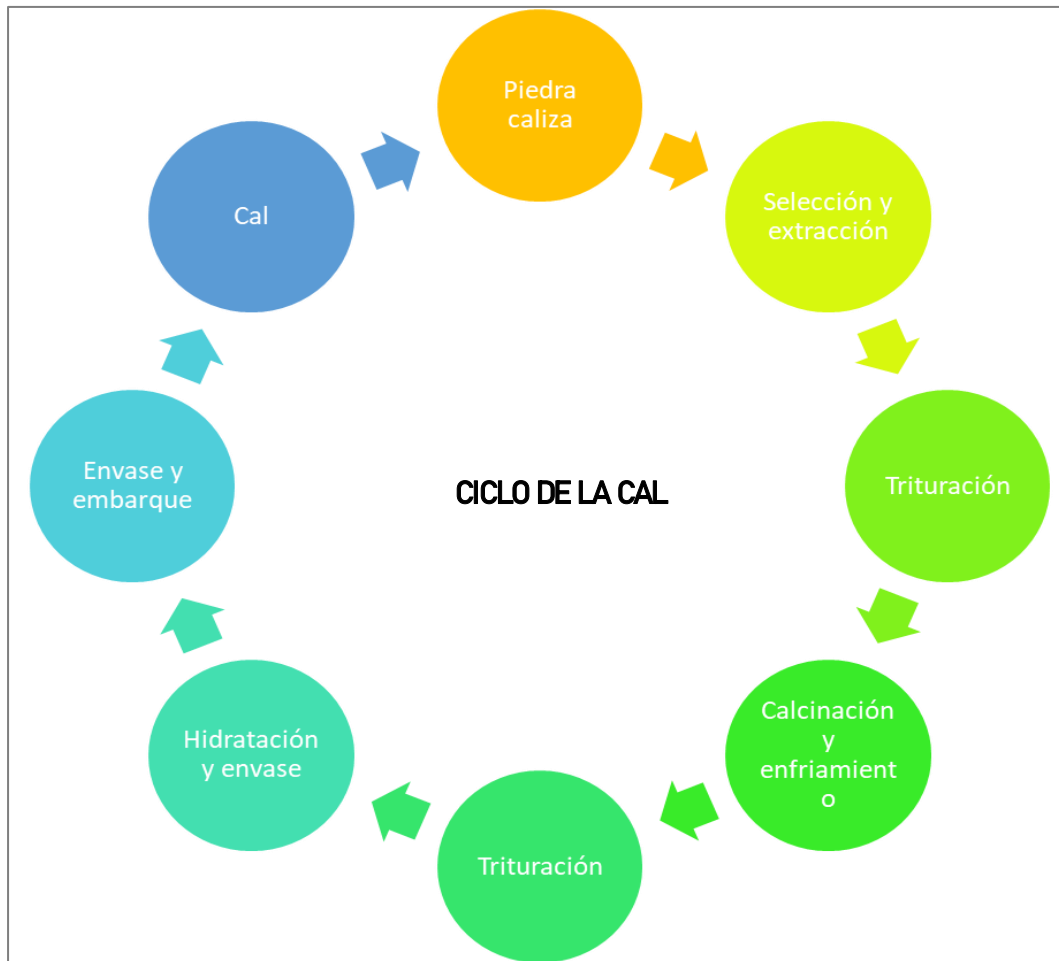
### 1.1.4 Cal

Peralta y Ramos (2017), afirman que “la cal se extrae mediante la piedra caliza, por lo que son sometidas a un horno en altas temperaturas de 900 y 1000 °C, llegándose a descomponer para que finalmente logre sedimentarse”.

Vera (2019), sostiene que la cal viva se obtiene mediante la calcinación de piedras calizas y su principal componente es el óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), mientras que la cal hidratada su componente principal es el hidróxido de calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), es obtenida por la hidratación o apagado de la cal viva (óxido de calcio).

**Figura 2**

*Proceso en la obtención de cal*



Fuente: Elaboración propia.

## 1.2 Formulación del problema

### 1.2.1 Problema General

- ¿Cuál es la capacidad de *Bacillus subtilis*, cal y harina de cáscara de huevo en la reducción del sodio en el suelo del distrito de Aucallama?

### 1.2.2 Problemas Específicos

- ¿Cuáles son los parámetros iniciales y finales de sodio en el suelo del distrito de Aucallama?
- ¿Qué tan eficaz será el *Bacillus subtilis*, cal y cáscara de huevo para la reducción del sodio en el suelo del distrito de Aucallama?
- ¿Cómo se elaborará el programa de tratamiento para el suelo sódico en el distrito de Aucallama?

### 1.3 Objetivo

#### 1.3.1 Objetivo General

- Evaluar la capacidad de *Bacillus subtilis*, cal y harina de cáscara de huevo en la reducción del sodio en el suelo del distrito de Aucallama.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros iniciales y finales de sodio en el suelo del distrito de Aucallama.
- Determinar la eficacia de *Bacillus subtilis*, cal y harina de la cáscara de huevo en la reducción del sodio en el suelo del distrito de Aucallama.
- Elaborar un programa de tratamiento para suelos sódico en el distrito de Aucallama.

### 1.4 Hipótesis

- La capacidad de *Bacillus subtilis*, cal y harina de cáscara de huevo es significativa en la reducción del sodio en el suelo del distrito de Aucallama.



#### 1.4.1 Hipótesis Específicos

- Se identificó altas concentraciones de sodio en el suelo del distrito de Aucallama.
- El *Bacillus subtilis*, cal y cáscara de huevo serán eficaces para la reducción del sodio en el suelo del distrito de Aucallama.
- Se elaboró un programa de tratamiento para suelos sódico en el distrito de Aucallama.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### 2.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación de este proyecto fue cuantitativa, ya que se realizaron datos estadísticos para la determinación de los resultados de la eficacia de los tratamientos aplicados a la reducción del sodio en el suelo; “el diseño de esta investigación fue de tipo experimental, por lo que se manipuló diversas variables en los análisis del presente estudio” (Rengifo, 2018). Asimismo, esta investigación se consideró de “tipo preexperimental debido a que se buscó establecer la evidencia a favor o en contra del presente estudio para luego medir una o más variables y poder observar sus cambios” (Chávez et al., 2019).

### 2.2 Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

#### 2.2.1 Población

Para el presente proyecto la población en estudio fue el suelo que se encuentra ubicado en el distrito de Aucallama, provincia de Huaral y departamento de Lima. La ubicación geográfica se visualiza en el siguiente cuadro y figura.

**Tabla 1**

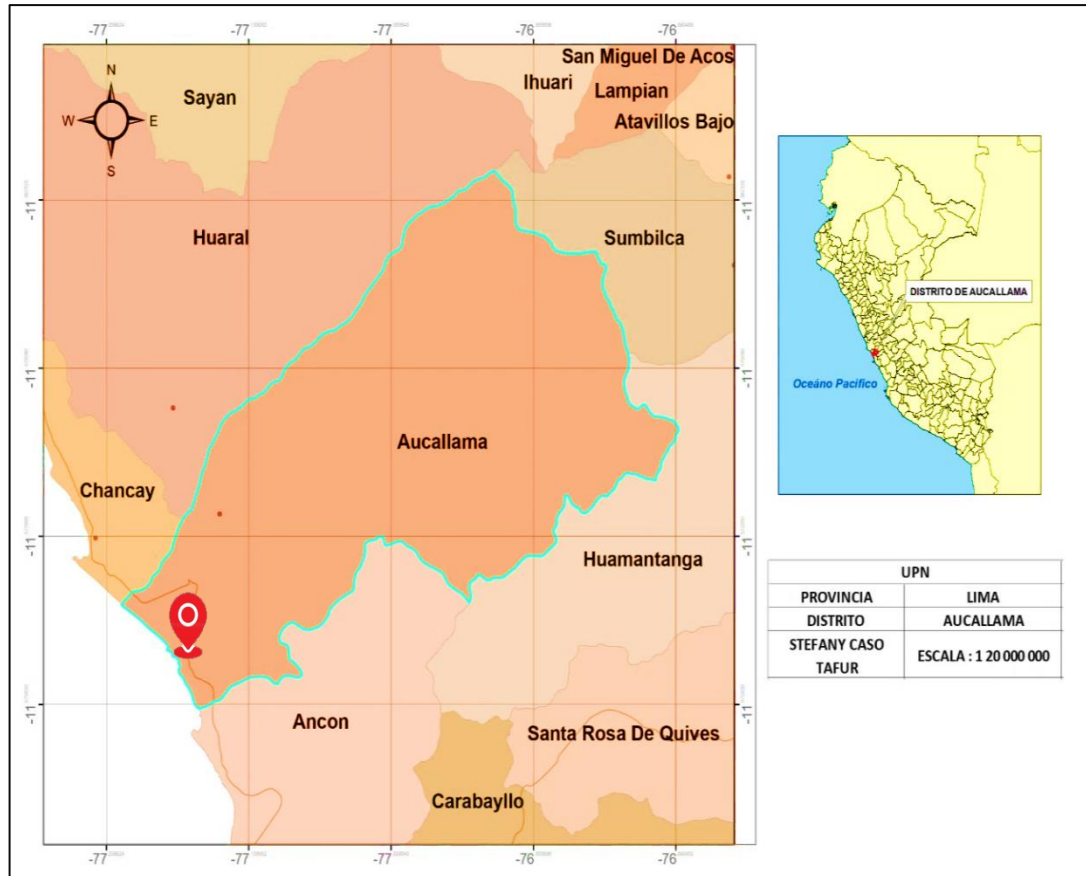
*Ubicación geográfica del área de estudio*

<b>Punto de referencia</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Altitud</b>
<b>Punto 1: zona alta</b>	11°38'18"S	77°12'56"O	412 msnm

Esta tabla muestra la coordenada de la ubicación de la zona en estudio, ubicado en el distrito de Huaral, Aucallama.

**Figura 3**

*Ubicación del área de estudio en el distrito de Aucallama*



En la Figura 3, se observa el mapa del distrito de Aucallama, Huaral, donde se realizó la toma de muestras de suelo para su evaluación inicial.

### 2.2.2 Muestra

La muestra de este trabajo de investigación fueron 15 kg de suelo sódico ubicados en el distrito de Aucallama, provincia de Huaral y departamento de Lima, los cuales fueron analizados para su respectivo tratamiento, colocándolo en 15 macetas con 1kg de suelo cada una.

### **2.2.3 Materiales**

#### **A. Materiales de escritorio**

- Laptop
- Libreta de notas
- Lápiz
- Impresora
- Hojas bond

#### **B. Materiales digitales**

- Plataforma de búsqueda
- Plataforma de revistas científica

#### **C. Materiales para el muestreo del suelo**

- 01 lampa
- Bolsas ziplack
- Balanza electrónica
- Guantes, guardapolvo
- Cooler
- Cadena de custodia
- Cinta

#### **D. Materiales para el tratamiento**

- 15 macetas
- Cuchara
- 1 jarra de 500 ml

- Fertilizante con *Bacillus subtilis*
  - Cal
  - Harina de cáscara de huevo

## **2.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **2.3.1 Técnicas de recolección de datos**

Las técnicas de recolección de datos fueron experimentales porque se realizaron muestreos de acuerdo con la “Guía para Muestreo de Suelo” del Ministerio del Ambiente, esta técnica nos sirvió como guía para la toma de muestra que se realizó al suelo sódico, donde nos brindó información sobre las cantidades de muestras y como debe ser la muestra. Asimismo, nos ayudó identificar cuantos puntos se obtendrán y donde tomarlas por m<sup>2</sup> en el terreno a tratar. Además, se revisó fuentes secundarias a través de revistas, artículos, trabajos de investigación nacional e internacional y sitio web.

### **2.3.2 Instrumento de recolección de datos**

Con la finalidad de una correcta recolección de datos en esta investigación se realizó una cadena de custodia (ANEXO 8), ficha de descripción del lugar (ANEXO 9), registro de datos de la concentración de los parámetros iniciales y finales (ANEXO 10).

### **2.3.3 Método Estadístico**

Para el análisis de las variables en esta investigación se utilizó los programas estadísticos del Microsoft Excel, en la cual se elaboró tablas y gráficos obtenidos de los resultados del análisis de datos sobre la aplicación de *Bacillus subtilis*, cal y harina

de la cáscara de huevo. También, se utilizó el programa estadístico SPSS Statistics versión 25.0, que nos ayudó con la comprobación de la hipótesis nula y alterna mediante el análisis de varianza (ANOVA). Asimismo, se empleó la prueba de Tukey, que nos ayudó con la identificación del tratamiento más significativo.

## 2.4 Procedimiento

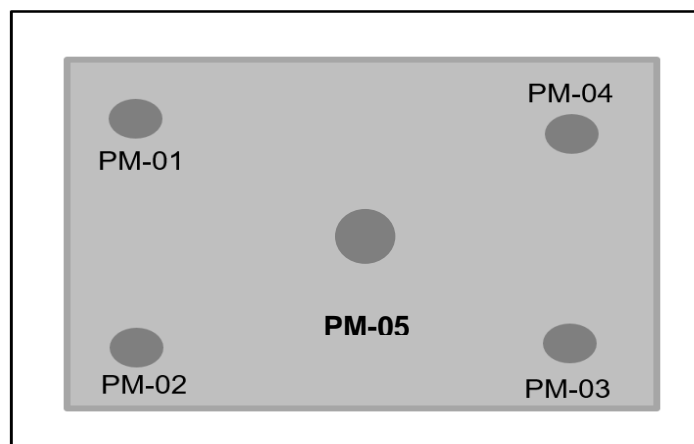
### 2.4.1 Ubicación de los puntos de muestreo del suelo

Para la ubicación de los puntos de muestro se tomó en cuenta la “Guía para Muestro de Suelo” del Ministerio del Ambiente. Esta guía nos indicó que para el tipo de muestro de comprobación de la remediación, si el área es menor a 1000 m<sup>2</sup>, será tomada una muestra en cada pared y una de fondo, obteniendo un total de 5 puntos de muestreo y la técnica que se utilizó es para muestras superficiales, donde se cuartea la muestra mezclada y se repite el proceso hasta llegar a la cantidad de material necesario a una profundidad de 0 a 30 cm.

El monitoreo se realizó en el distrito de Aucallama, ubicada en la Provincia de Huaral, en dicho lugar se tomó muestreo de 5 puntos diferentes.

#### Figura 4

*Localización de puntos de muestreo de forma de rectángulo.*



En la Figura 4, se muestran las distribuciones de los puntos de muestreo que se realizó en la toma de muestra de suelo, donde se extrajeron 5 submuestras.

#### **2.4.2 Traslado de muestras**

Para el traslado de muestras se manejó ciertas consideraciones de las muestras lo cuales fueron establecidos por el laboratorio respecto a la conservación. Donde la característica del recipiente para la muestra fue una bolsa de polietileno denso, etiquetado con la información necesaria para evitar pérdida, luego fue trasladado en un cooler para su conservación y evitar su posible contaminación, fueron llevadas directamente al laboratorio y entregadas con la hoja de custodia correspondiente.

#### **2.4.3 Análisis del suelo**

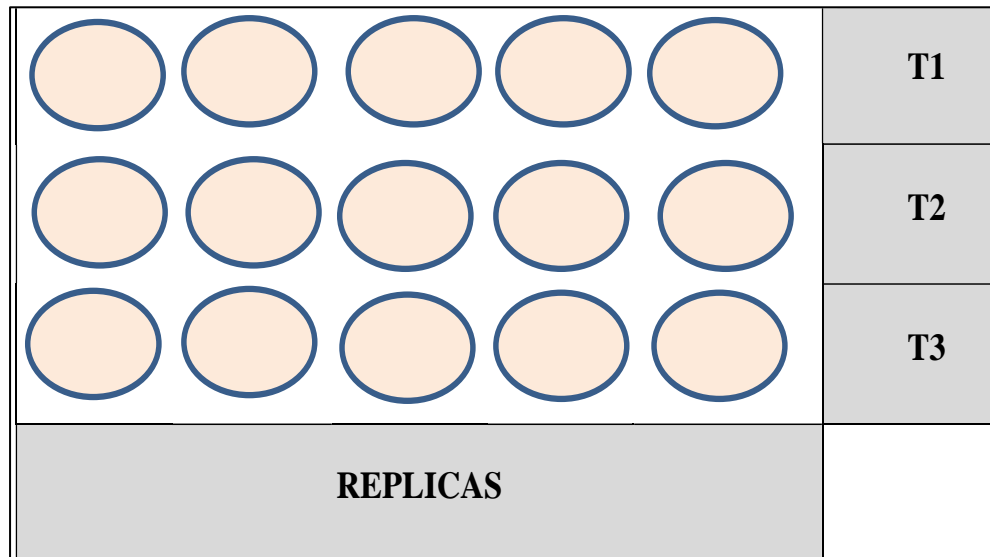
Después de la toma de muestra del suelo, se analizó una representación de suelo por el laboratorio Environmental Quality Analytical Services (EQUAS), para obtener los valores iniciales de la conductividad y porcentaje de sodio intercambiable, así estableciendo el tipo de suelo que corresponde según las concentraciones de los parámetros. (ANEXO 5)

#### **2.4.4 Diseño del tratamiento**

El diseño del tratamiento se escogió al azar, es por ese motivo que se realizó 3 tratamiento con 3 tipos de concentraciones diferentes las cuales contenían *Bacillus subtilis*, cal y harina de cáscara de huevo, estas concentraciones tuvieron 5 repeticiones.

**Figura 5**

*Diseño del tratamiento*



En la Figura 5, se muestra el diseño del tratamiento, lo cual representa los 3 tratamientos con sus respectivas repeticiones.

**Tabla 2**

*Representación del tratamiento*

<b>N° tratamientos</b>	3
<b>Repetición</b>	5
<b>Total de muestras</b>	15

En la tabla 2, se contempla el diseño del tratamiento, lo cual representa los 3 tratamientos con sus respectivas repeticiones.

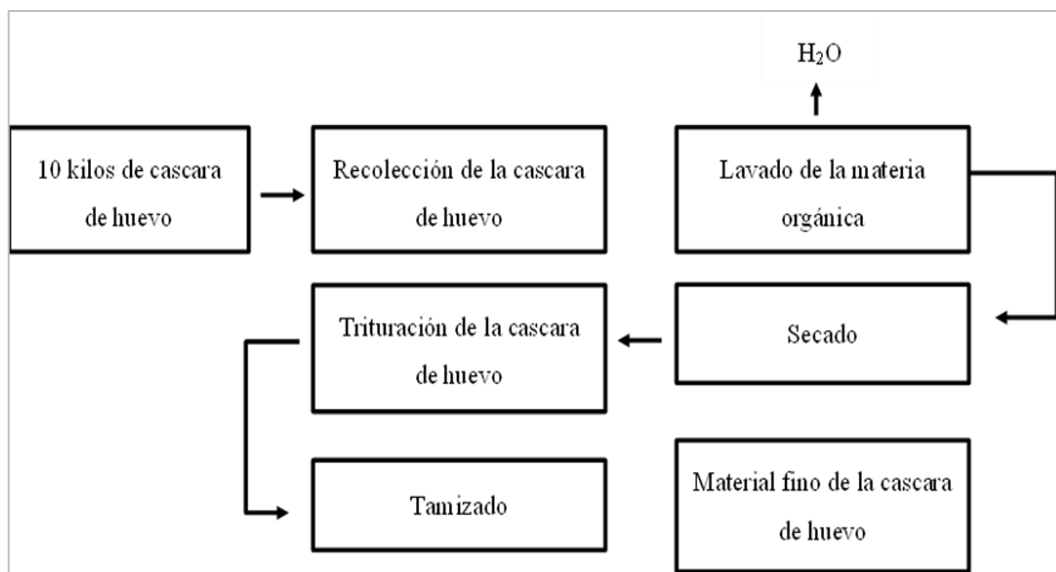


### 2.4.5 Obtención de la harina cáscara de huevo

Se realizó el recojo de 10 kg de cáscara de huevo, para realizar su lavado respectivo y limpiar la materia orgánica que presenta el huevo, luego se secó por un par de días a temperatura ambiente. Después, se realizó el molido de las cáscaras utilizando un molino manual, así finalmente pasar por el proceso del tamizado con un tamizador n°120 de malla, obteniendo los tamaños de las partículas deseadas. (Quispe, 2018); (Sánchez y Huanio, 2017).

**Figura 6**

*Proceso de la obtención de la harina de la cáscara de huevo.*



En la Figura 6, se muestra el proceso para la obtención de la harina de la cascara de huevo desde la materia prima hasta el producto final.

### 2.4.6 Dosis del *Bacillus subtilis*

Para la dosis de *Bacillus subtilis* se calculó mediante el método de la regla de tres simples, donde primero se hizo la compra del fertilizante para poder obtener los datos que se hará referencia a la cantidad de gramos que este contiene en un kilo de fertilizante. Teniendo en cuenta que el fertilizante tenía 70.42 gr de *Bacillus subtilis*.

**Tabla 3**

*Dosis de Bacillus subtilis para los tratamientos*

<b>Tratamientos</b>	<b>Dosis de <i>Bacillus subtilis</i> (gr.)</b>	<b>Cantidad de fertilizante (gr.)</b>
<b>T1</b>	0,5 gr de <i>Bacillus subtilis</i>	7,1 gr para el tratamiento
<b>T2</b>	0,75 gr de <i>Bacillus subtilis</i>	10,7 gr para el tratamiento
<b>T3</b>	1 gr de <i>Bacillus subtilis</i>	14,3 gr para el tratamiento

En la tabla 3, se muestra la dosis de los diferentes tratamientos aplicados al suelo sódico.

### 2.4.7 Pesaje de la dosis de cal

Para la dosis de cal en el tratamiento se basó en las medidas de 30 gr., 40 gr. y 50 gr.; ya que Cuero, Peña, Osorio, y Zúñiga (2011), establecieron que estas cantidades de dosis nos ayudarían a disminuir los niveles de sales del suelo.

### 2.4.8 Proceso del tratamiento

Para la aplicación de los tratamientos de *Bacillus subtilis*, cal y cáscara de huevo, se recolectó 15 kg de suelo de los cuales fueron divididos en 15 macetas con 1 kg cada una. Se trabajó con 3 dosis diferentes con 5 repeticiones cada una. Las dosis de la harina de la cáscara de huevo, cal y *Bacillus Subtilis* se diluyeron en 500 ml de agua, la cual se aplicó todos los días en un periodo de 30 días.

**Tabla 4**

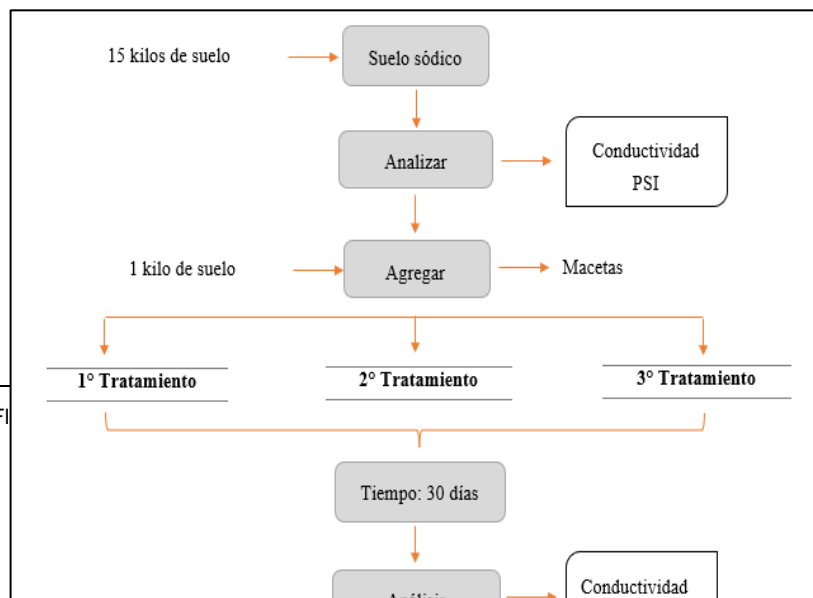
*Dosis del tratamiento*

TRATAMIENTOS		DOSIS	
<b>T1</b>	0.5 gr. <i>Bacillus subtilis</i>	30 gr. Cal	20 gr. Harina de cáscara de huevo
<b>T2</b>	0.75 gr. <i>Bacillus subtilis</i>	40 gr. Cal	40 gr. Harina de cáscara de huevo
<b>T3</b>	1 gr. <i>Bacillus subtilis</i>	50 gr. Cal	60 gr. Harina de cáscara de huevo

En la Tabla 4, se muestra las diferentes dosis *Bacillus Subtilis*, cal y harina de cascara de huevo, que se aplicaron al tratamiento.

**Figura 7**

*Proceso del tratamiento.*



### 2.4.9 Cálculo de la eficacia del tratamiento

Para la obtención del cálculo de la eficacia del tratamiento se necesitó los datos iniciales y finales de los parámetros, para que estos sean reemplazados en la ecuación donde saldrán los datos en porcentaje.

#### Ecuación 1

*Cálculo de la eficacia*

$$E (\%) = \frac{S - S_o}{S} * 100$$

#### Dónde:

E: Eficacia %

S: Valor inicial de los parámetros antes del tratamiento

So: Valor final de los parámetros después del tratamiento

## 2.5 Aspecto ético

El presente proyecto se realizará bajo los criterios éticos y todas las características que se requieren para la toma de información, artículos científicos de fuentes confiables, proyecto de tesis de distintas universidades, sitios web, etc. Asimismo, no se cometerá ningún tipo de plagio y se respetará los derechos de los autores empleados en el proyecto.

De tal manera, los análisis que se realizaran por parámetros están acreditados por el INACAL, por lo que cuentan con los instrumentos de calidad y a la vez calibrados.

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

Los resultados que se obtuvieron al evaluar la capacidad del *Bacillus subtilis*, cal y cáscara de huevos para la reducción del sodio en el suelo del distrito de Aucallama, se pueden observar en las siguientes tablas y gráficos:

### 3.1 Determinación de los parámetros iniciales y finales

#### 3.1.1. Determinación del parámetro inicial de la conductividad eléctrica y porcentaje de sodio intercambiable

Los resultados obtenidos antes de aplicar el tratamiento con *Bacillus subtilis*, cal y cáscara de huevos fueron emitidos por el laboratorio Environmental Quality Analytical Services (EQUAS), los cuales fueron los siguientes:

**Tabla 5**

*Resultados iniciales de los parámetros del suelo sódico.*

MUESTRA INICIAL DEL SUELO SÓDICO			
PARÁMETROS	UNIDAD	VALORES INICIALES	CLASIFICACIÓN DEL SUELO
<b>Conductividad Eléctrica</b>	(dS/m)	1.15	SUELO SÓDICO
<b>Porcentaje de sodio intercambiable</b>	(%)	22.11	

En la Tabla 5, los resultados iniciales de la toma de muestra de suelo se obtuvo una conductividad inicial de 1.15 ds/m y PSI de 22.11%, esto ayuda a la clasificación del tipo de suelo y comparar la eficacia del tratamiento.

### 3.1.2. Determinación del parámetro final de la conductividad eléctrica

Como resultados de los tratamientos T1, T2, T3 con *bacillus subtilis*, cal, harina de cáscara de huevo, que se aplicó al suelo sódico se obtuvo los siguientes datos.

**Tabla 6**

*Resultados de la conductividad eléctrica*

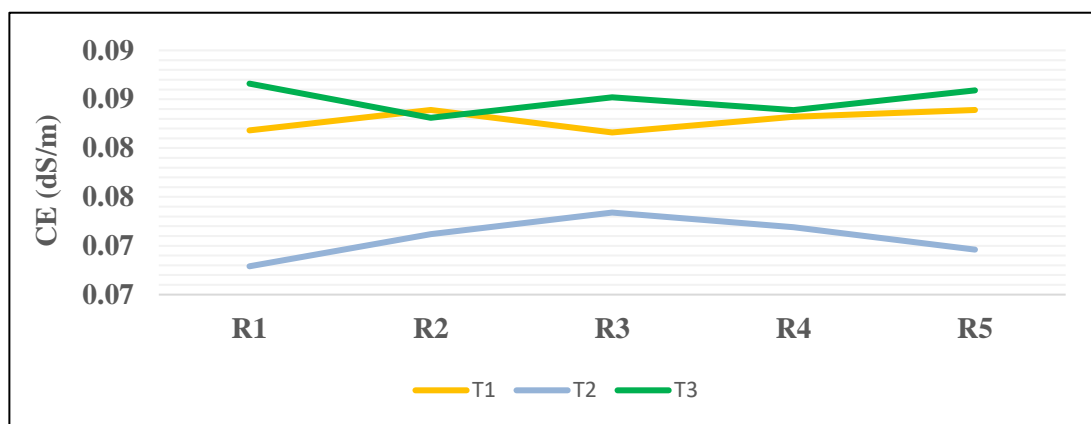
Tratamientos	Repeticiones	Conductividad eléctrica (dS/m)				
		R1	R2	R3	R4	R5
T1		0.082	0.084	0.082	0.083	0.084
T2		0.068	0.071	0.073	0.072	0.070
T3		0.087	0.083	0.085	0.084	0.086

En la Tabla 6, se muestra los resultados del tratamiento 1, con la dosis de 0.5 gr *Bacillus subtilis*, 30 gr cal y 20 gr harina de cáscara de huevo, donde obtuvo un promedio de 0.083 ds/m, para el tratamiento 2, con la dosis de 0.75 gr *Bacillus subtilis*, 40 gr cal y 40 gr harina de cáscara de huevo, obtuvo un promedio de 0.071 ds/m y el

tratamiento 3 con una dosis de 1 gr *Bacillus subtilis*, 50 gr cal y 60 gr harina de cáscara de huevo, tuvo un promedio de 0.085 ds/m.

**Figura 8**

*Comparación de la conductividad eléctrica de los resultados.*



En la Figura 8, refleja que el tratamiento T2 con 0.75 gr *Bacillus subtilis*, 40 gr Cal, 40 gr Harina de cáscara de huevo tiene la mejor remoción en comparación del tratamiento 1 y 3.

### 3.1.3. Determinación de los parámetros final del porcentaje de sodio intercambiable

Los tratamientos T1, T2, T3 con *Bacillus subtilis*, cal, harina de cáscara de huevo, que se aplicó al suelo sódico se obtuvo los siguientes datos en PSI.

**Tabla 7**

*Resultados del PSI*

PSI (%)
---------

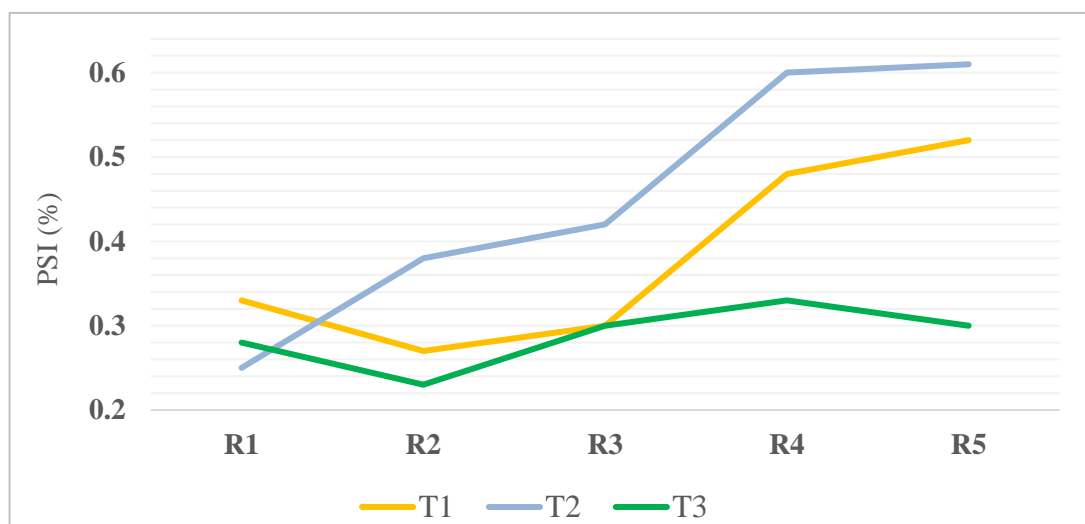


Tratamientos	Repeticiones				
	R1	R2	R3	R4	R5
T1	0.33	0.27	0.3	0.48	0.52
T2	0.25	0.38	0.42	0.60	0.61
T3	0.28	0.23	0.30	0.33	0.30

En la Tabla 7, se muestra los resultados del tratamiento 1, con la dosis de 0.5 gr *Bacillus subtilis*, 30 gr cal y 20 gr harina de cáscara de huevo, donde obtuvo un promedio de 0.38%, para el tratamiento 2, con la dosis de 0.75 gr *Bacillus subtilis*, 40 gr cal y 40 gr harina de cáscara de huevo, obtuvo un promedio de 0.45% y el tratamiento 3 con una dosis de 1 gr *Bacillus subtilis*, 50 gr cal y 60 gr harina de cáscara de huevo, tuvo un promedio de 0.29%.

### Figura 9

*Comparación de los PSI de los resultados.*



En la Figura 9, refleja que el tratamiento T3 de 1 gr *Bacillus subtilis*, 50 gr Cal, 60 gr Harina de cáscara de huevo tiene la mejor remoción en comparación del tratamiento 1 y 2.

### 3.2. Determinación de la eficacia

Se determinó la eficacia de los resultados obtenidos después de la aplicación de los

Parámetros	Promedio de Eficacia (%)		
	T1	T2	T3
<b>Conductividad Eléctrica</b>	92.77	93.83	92.59

tratamientos en cuanto a los parámetros de Conductividad Eléctrica y Porcentaje de Sodio Intercambiable, donde se comprueba la reducción de sodio en el suelo con una eficacia de más del 90%.

#### 3.2.1. Determinación de la eficacia para la conductividad

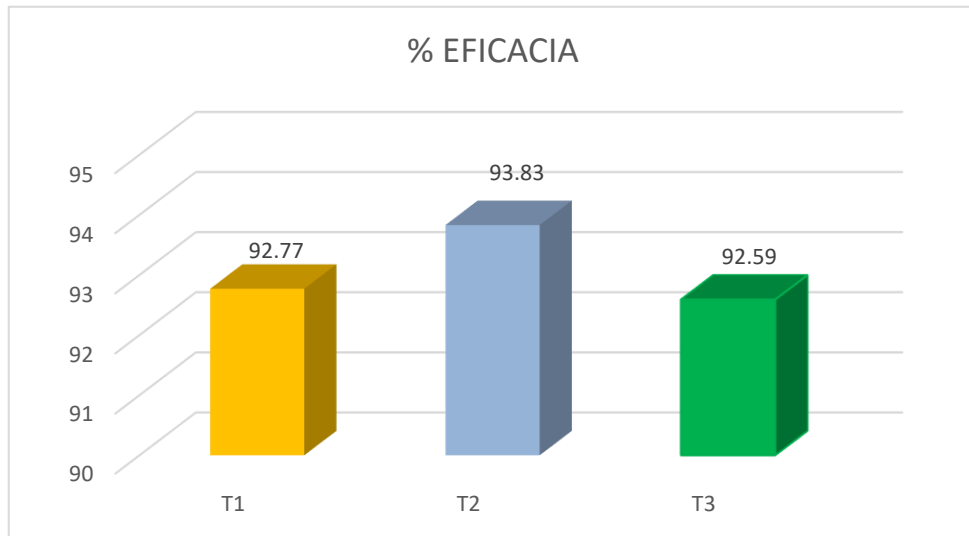
##### Tabla 8

*Resultados de la eficacia para la Conductividad Eléctrica*

En la Tabla 8, refleja que el tratamiento T2 de 0.75 gr *Bacillus subtilis*, 40 gr Cal, 40 gr Harina de cáscara de huevo tiene la mejor eficacia en comparación del tratamiento 1 y 3.

##### Figura 10

*Comparación de eficacia para la Conductividad Eléctrica*



En la

Figura 10 refleja que el tratamiento T2 de 0.75 gr *Bacillus subtilis*, 40 gr Cal, 40 gr Harina de cáscara de huevo tiene la mejor eficacia en comparación del tratamiento 1 y 3.

**3.2.2. Determinación de la eficacia para el Porcentaje de sodio intercambiable**

**Tabla 9**

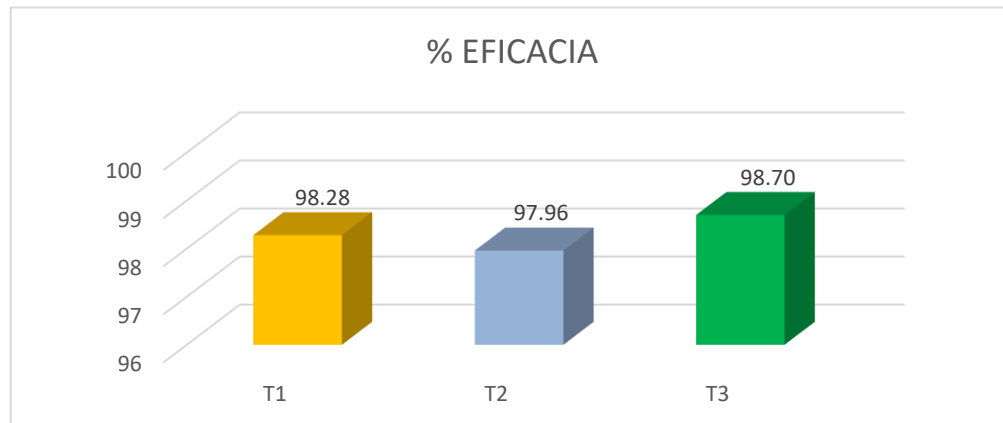
*Resultados de la eficacia para el Porcentaje de Sodio Intercambiable*

Parámetros	Promedio de Eficacia (%)		
	T1	T2	T3
<b>PSI (%)</b>	98.28	97.96	98.70

En la Tabla 9, refleja que el tratamiento T3 de 1 gr *Bacillus subtilis*, 50 gr Cal, 60 gr Harina de cáscara de huevo tiene la mejor eficacia en comparación del tratamiento 2 y 1.

**Figura 11**

*Comparación de eficacia para para el Porcentaje de Sodio Intercambiable*



En la Figura 11, refleja que el tratamiento T3 de 1 gr *Bacillus subtilis*, 50 gr Cal, 60 gr Harina de cáscara de huevo tiene la mejor eficacia en comparación del tratamiento 1 y 2.

### 3.2.3. Análisis de varianza

Se analizó para todos los tratamientos si existían diferencias significativas entre estos, a través de una prueba de varianza con un valor de  $P = 0,05$ . Para su aceptabilidad se consideró lo siguiente:

#### a) Prueba de hipótesis

$H_0$ : El efecto del factor tratamiento no es significativo

$H_1$ : El efecto del factor tratamiento es significativo

#### b) Regla de decisión

Si la Sig.  $< 0,05$ , se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ )

Si la Sig.  $> 0,05$  se acepta la hipótesis alterna ( $H_1$ )

Para abordar la existencia de diferencias entre los tratamientos se consideró dos parámetros:

La conductividad eléctrica y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI), para lo cual se aplicó la prueba de ANOVA considerándose los valores que se tienen para ambos parámetros.

### c) Resultado / Decisión

**Tabla 10**

*ANOVA para la conductividad eléctrica*

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Entre grupos</b>	,001	3	,000	28,66	,000
<b>Dentro de grupos</b>	,000	16	,000		
<b>Total</b>	,001	19			

En la Tabla 10 refleja que los resultados de la conductividad eléctrica aplicados en el análisis de varianza es menor al 0.05.

**Tabla 11**

*ANOVA para el PSI*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Entre grupos</b>	4,545	3	1,515	28,514	,000
<b>Dentro de grupos</b>	,850	16	,053		
<b>Total</b>	5,395	19			

En la tabla 11 se observa que el resultado del análisis de varianza tiene una Sig menor a 0.05, donde se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1).

#### d) Conclusión

Se afirma que en ambos parámetros existen diferencias significativas para el factor tratamiento.

#### 3.2.4. Prueba de Tukey

Para evaluar las diferencias intergrupales se aplicó la prueba de Tukey con el fin de comparar las medias individuales que fueron determinadas mediante un análisis de varianza de las muestras tratadas con las diferentes dosis aplicadas de *Bacillus subtilis*, cal y harina de cáscara de huevo. Para la obtención de los datos estadísticos, se trabajó con un alfa de 0,05; identificándose únicamente los subconjuntos que se formarían para determinar las diferencias entre los tratamientos aplicados.

#### Tabla 12

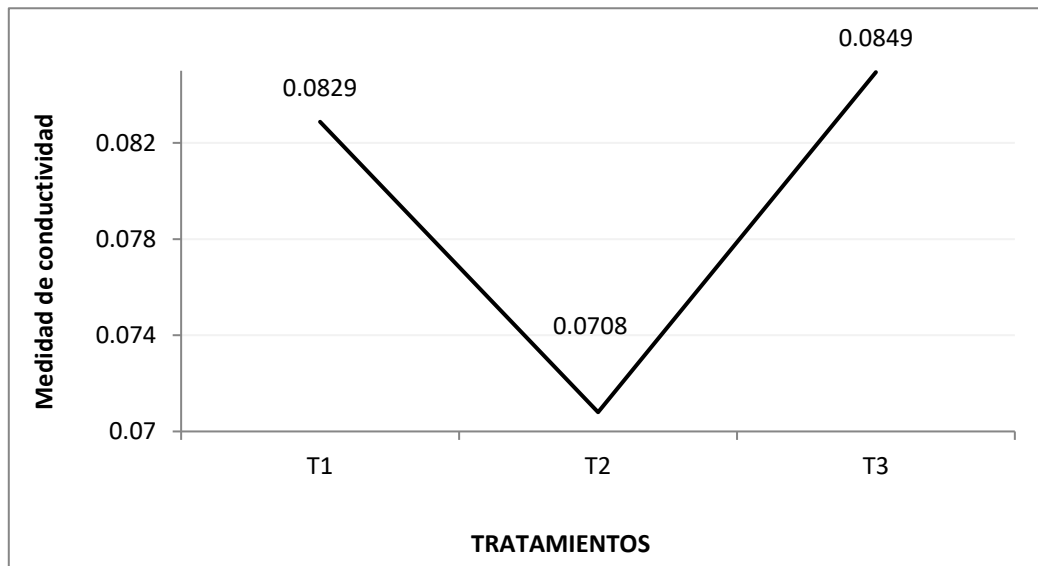
*Prueba de Tukey para la conductividad eléctrica*

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T2	5	,0708		
T1	5		,0829	,0829
T3	5			,0849
<b>Sig.</b>		1,000	,268	,613

En la tabla 12, según el estadístico de Tukey los tratamientos evaluados se encuentran diferenciados entre 3 grupos homogéneos, donde T2 conforma el subconjunto 1, T1 conforman el subconjunto 2 y T3 conforman el subconjunto 3. T1 en comparación de otros subconjuntos se halla tanto en el grupo 2 y en el 3, presentando un valor medio para ambos subconjuntos.

**Figura 12**

*Varianza entre medias para la conductividad eléctrica*



En la figura 12, la media entre los tratamientos difiere significativamente en el tratamiento 2 que es el menor valor hallado para los grupos y que por ello se encuentra apartado en el subconjunto 1.

**Tabla 13**

*Prueba de Tukey para el PSI*

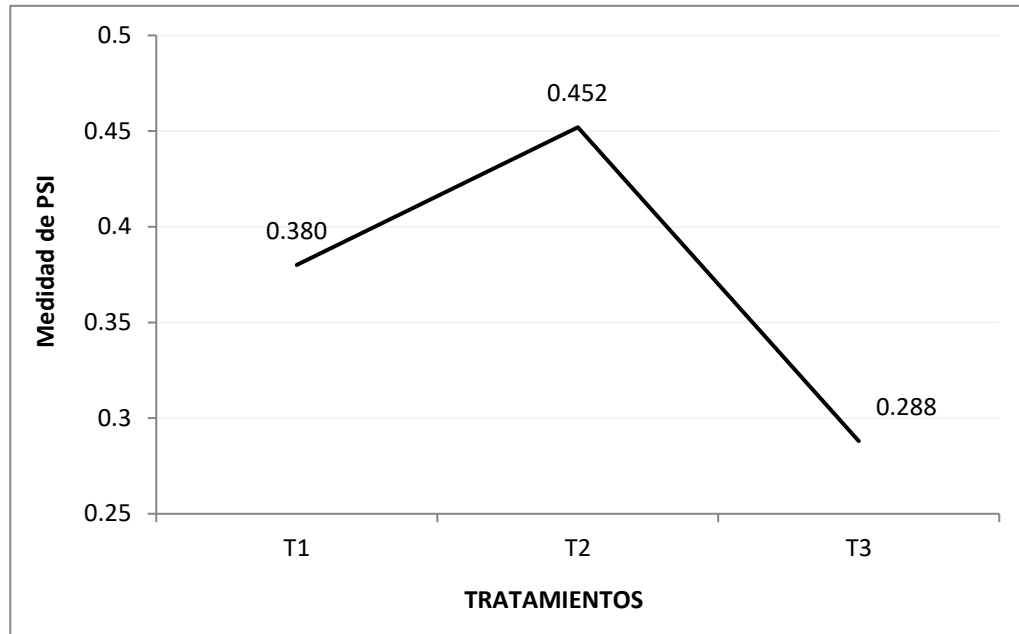
TRATAMIENTOS	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T3	5	,288	
T1	5	,380	
T2	5	,452	
<b>Sig.</b>		,680	1,000

Según la Tabla 13, los tratamientos evaluados se diferencian en dos subconjuntos; para la T1, T2 y T3, se encuentran en el subconjunto 1.

**Figura 13**

*Varianza entre las medias para el PSI.*





En la figura 13, la media entre los tratamientos difiere significativamente en el tratamiento 3 que es el menor valor hallado para los grupos.

### 3.3. Elaboración del programa de tratamiento de suelo salino – sódico

#### 3.1.1 Fase de identificación

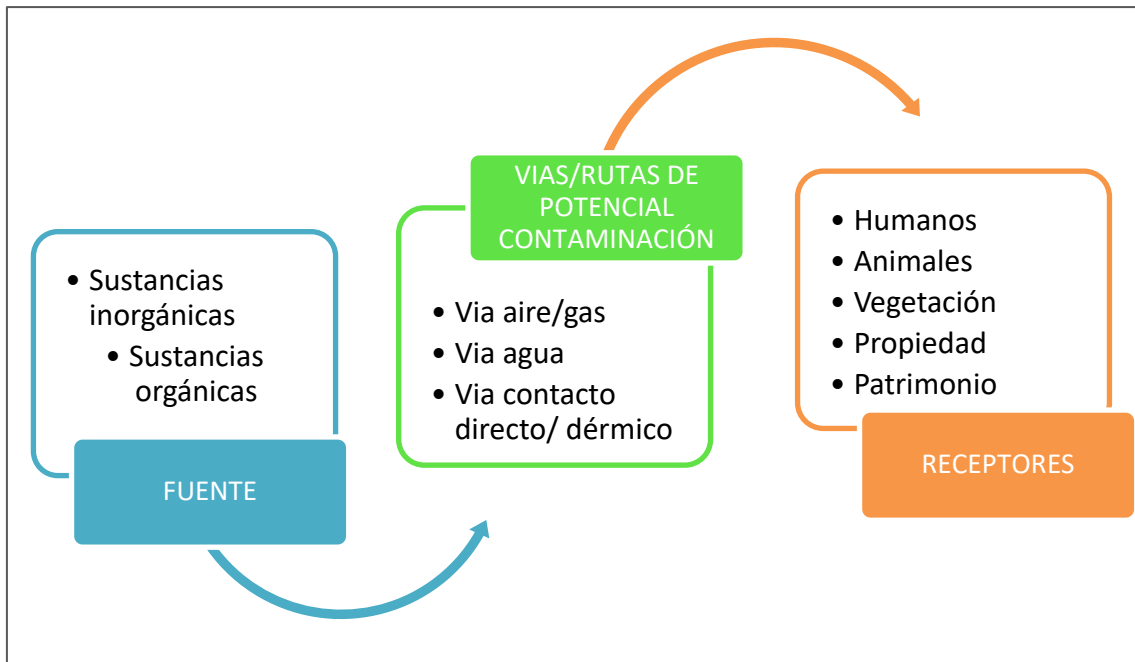
El objetivo es determinar si la zona de la problemática supera las concentraciones a evaluar. Para el desarrollo del tratamiento se realiza un levantamiento de información preliminar a base de un muestreo para caracterizar el suelo con los parámetros de interés y de información histórica para la evaluación.

#### A. Evaluación preliminar

Se realiza la determinación de la fuente de contaminación, identificando las causas y los receptores afectados por esta problemática.

#### Figura 14

### Secuencia de la evaluación preliminar



En la figura 14, se presenta la secuencia para la evaluación preliminar de una zona a tratar empezando por la identificación de la zona, rutas potenciales de contaminación y los receptores.

#### **B. Muestreo de identificación**

El muestreo de identificación queda definido por las conclusiones realizadas en la evaluación preliminar y se investiga la contaminación presente en el suelo con muestras simbólicas. Para la toma de muestra existe una “Guía para Muestreo de Suelo” del Ministerio del Ambiente, lo cual detalla la técnica y la correcta toma.

### **3.1.2 Fase de descontaminación de suelos**

#### **A. Caracterización de la zona a tratar**

Se debe planificar la caracterización del suelo en base a las concentraciones de sales obtenidas en la primera intervención que se realizó en la fase de identificación, se

identifica la ubicación del sitio y la extensión de contaminación para eso se tiene que realizar más muestreos de la zona.

## B. Muestreo al detalle

Para realizar una propuesta de remediación de la zona salino – sódico se determina los niveles de sales presente, para esto se debe realizar a más detalle los parámetros de pH, conductividad y PSI, los cuales aportaran en identificar el nivel de contaminación y clasificación del suelo. (ANEXO 6)

## C. Propuestas de remediación

Las acciones de remediación se basan en los resultados de las diversas muestras realizadas para su caracterización. Por ese motivo, se presentan las 3 propuestas de tratamiento con la dosis de 0.75 gr *Bacillus subtilis*, 40 gr Cal y 40 gr Harina de cáscara de huevo, con sus respectivos tiempos de 10, 20 y 30 días con una frecuencia diaria.

**Tabla 14**

PROPUESTAS							
Propuestas	Repeticiones	Dosis			Frecuencia	Tiempo	Eficacia
	1	Muestra en blanco			-	-	-
1	5	0.75 gr. <i>Bacillus subtilis</i>	40 gr. Cal	40 gr. Harina de cascara de huevo	Diaria	10 días	32%
2						20 días	63%

---

**3****30 días****96%**

---

*Propuestas de tratamiento*

En la Tabla 14, se observa las 3 propuestas con la dosificación de *Bacillus subtilis*, cal y harina de cáscara de huevo. Por lo que, se obtendrá una eficacia hasta el 96%.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### Discusión

En la presente investigación el análisis inicial del suelo ubicado en el distrito de Aucallama, presentó una conductividad de 1.15 ds/m y un porcentaje de sodio intercambiable de 22.11% (Tabla 4), lo cual al comparar con Ibáñez (2008), indica que “la clasificación para un suelo sódico debe tener una conductividad  $< 4$  ds/m y un PSI  $> 15\%$ ”, por lo que, este análisis que se realizó ayudó a la categorización del tipo de suelo.

Según Flores, Flores y Tórrez (2017), en su investigación clasificó el suelo sódico mediante el parámetro del porcentaje de sodio intercambiable (PSI), donde si es  $< 7\%$  se considera como suelo sódico; si se encuentra entre 7% a 15% es considerado un suelo ligeramente sódico, donde el efecto sobre las planta tendría una reducción de la producción hasta el 40%; si este se encontrara entre el 15% a 20% se contemplará como un suelo medianamente sódico y su reducción en la producción sería hasta el 60%; si esta entre el 20% al 30% será fuertemente sódico y su producción en las plantas tendría una reducción hasta el 80%, sin embargo, si su valor es superior al 30% en PSI se clasifica como extremadamente sódico, por lo que la reducción en su productividad del desarrollo de las plantas será más del 80%, es por ese motivo que el suelo es clasificado fuertemente sódico y esto afectaría al crecimiento de las plantas presentes en la zona de estudio.

Por otro lado, se evaluaron los resultados finales de los tratamientos aplicados al suelo sódico del distrito de Aucallama, durante el proceso, se definió el valor más bajo del

parámetro de la conductividad que fue de 0.0708 ds/m y el mayor de 0.849 ds/m (Tabla 5); en el PSI se obtuvo 0.29% como el resultado más bajo y 0.45% el más alto (Tabla 6). En relación con las dosis se usó para el T1 0.5 gr *Bacillus subtilis*, 30 gr de cal y 20 gr de harina de cáscara de huevo; T2 0.75 gr *Bacillus subtilis*, 40 gr de cal y 40 gr de harina de cáscara de huevo; T3 1 gr *Bacillus subtilis*, 50 gr de cal y 60 gr de harina de cáscara de huevo, obteniendo los mejores resultados de reducción de sodio en el suelo con el tratamiento 2 (Tabla3). Teniendo en cuenta que este tipo de suelo sódico tiene consecuencias negativas tales como “la reducción de la actividad microbiológica, nutrientes, cambios en su estructura; provocando la desertificación, degradación del suelo y limitando el desarrollo de las plantas” (Zúñiga *et al.*, 2011). Es por eso, que la sinergia de los insumos utilizados reduce las sales; ya que, la cal hace menos compacta al suelo, lo que permite que el agua se infiltre mejor contribuyendo a que la harina de cáscara de huevo fertilice el suelo aportando calcio y el *Bacillus subtilis* actúa en la reducción del sodio en el suelo.

La aplicación con el tratamiento más significativo en el parámetro de conductividad fue T2 con una concentración de *Bacillus subtilis* 0.75 gr, cal 40 gr y 40 gr de harina de cáscara de huevo con una eficacia de 93.83%, por otro lado, T1 tuvo una eficacia de 92.77% con la concentración de 0.5 gr de *Bacillus subtilis*, 30 gr cal y 20 gr de cáscara de harina y para el T3 tuvo una eficacia de 92.59% con la concentración de 1 gr de *Bacillus subtilis*, 50 gr cal y 60 gr de cáscara de harina de huevo. En base a esto se puede afirmar que este tratamiento puede ser una mejor alternativa para la problemática de los suelos sódicos, ya que Moscol (2018), obtuvo “una eficacia de 70% en la reducción de las sales del suelo”; de la misma forma cabe resaltar que “al

aplicar este tratamiento tendría un mejor resultado que las enmiendas orgánicas aplicadas por otros investigadores” (Hurtado, 2019).

Por otro lado, Hanco (2017), indica que “usó 70 gramos de cal agrícola para la reducción de sales en el suelo, donde tuvo una eficacia del 52.22% lo cual indica que este insumo favorece en la disminución de sodio en el suelo”, así evitando que los suelos sean salinos o sódicos. También, Huanio y Sánchez (2017), obtuvo resultados que reflejan que “la harina de cáscara de huevo presenta una remoción de acidez al suelo hasta el 60%”, aumentando sus características fisicoquímicas en el suelo dentro los parámetros de nitrógeno, fósforo y potasio”, los cuales son muy importantes para el desarrollo de las plantas. Por consecuencia, este trabajo de investigación evaluó la reducción del sodio en el suelo mediante la aplicación de *Bacillus subtilis*, cal y harina de cáscara de huevo, donde obtuvo efectos favorables de eficacia con más de 90%, por lo que logra dar iniciativas de mejoras hacia la problemática de estos tipos de suelos salinos – sódicos, permitiendo orientar a más investigadores para la mejora del suelo en el distrito de Aucallama y demás zonas costeras, ya que como limitación hay una escases de obtener información sobre el suelo sódico y este estudio nos permitió integrar información de diversos autores, analizar el efectos de los tratamientos y validar de forma preexperimental.

El programa de tratamiento de suelo salino – sódico indicó la metodología para realizar cada etapa para la evaluación y remediación del suelo, con la identificación y toma de muestra inicial de la zona, también se propuso tres tratamientos con la dosis de 0.75 gr *Bacillus subtilis*, 40 gr Cal, 40 gr Harina de cáscara lo cual varia los días de aplicación, con 10 días se estima una eficacia del 32%, 20 días con una eficacia del 63% y 30 días

una eficacia del 96%, lo cual dependerá mucho el nivel de concentración de sales para elegir los días de aplicación.

De forma similar, MINAM (2021) evalúa la descontaminación de suelo comenzando con la identificación de suelo, luego aplica la caracterización de la zona a tratar para pronosticar el nivel de concentración del contaminante; asimismo, elabora un plan para implementar un tratamiento y finalmente asegura la comprobación de remediación realizando los análisis correspondientes al suelo. Para realizar este tipo de tratamiento a suelos salino o sódico se requiere el levantamiento de información preliminar de la zona y en base a esto un muestreo puntual para caracterizar el suelo con los parámetros de interés y de información histórica para la evaluación, luego de comprobar el tipo de suelo y el nivel de concentración, se indica elegir el tiempo requerido de 10, 20 o 30 según nivel de eficacia comprobada.

Por consiguiente, este proyecto evaluó el *Bacillus subtilis*, cal y harina de cáscara de huevo para la reducción del sodio en el suelo ubicado en el distrito de Aucallama, donde las implicancias del presente trabajo fue realizar la integración de las distintas investigaciones obtenidas, además de analizar el efecto de los tratamientos aplicados con las diferentes dosis, donde tienen efectos favorables para tratar este tipo de problemática con más del 90% de eficacia comprobada. También, brinda un aporte de información sobre un tratamiento para la reducción de un suelo sódico y aportar, desde un punto de vista teórico y práctico, un panorama de posibilidad de mejoramiento de calidad de suelo.

Como uno de los limitantes en esta investigación fue la escases de información en el Perú sobre la clasificación por parte de autoridades nacionales, causas, tratamientos



para un suelo sódico, por ese motivo para la realización de este trabajo se conllevó a utilizar información internacional de distintos investigadores. Asimismo, el tratamiento propuesto será netamente para la aplicación de un suelo sódico, ya que los insumos utilizados en el presente proyecto ayudan a reducir este tipo de sales presentes en el suelo. Por otro lado, este proyecto fue realizado en pandemia del COVID-19, lo cual dificultó la investigación al requerir los insumos para la aplicación de los tratamientos y el acceso a la zona de estudio.

### **Conclusión**

Se evaluó la capacidad de *Bacillus subtilis* 0.75 gr, cal 40 gr y 40 gr de harina de cáscara huevo, obteniendo que el tratamiento más significativo fue T2 con un promedio de eficacia del 95.90%

Los resultados de los parámetros iniciales para la conductividad fueron de 1.15 ds/m y el PSI un 22.11%, por lo tanto, se caracterizó el tipo de suelo como sódico, por lo cual los parámetros finales después del tratamiento para T1: conductividad de 0.0829 ds/m y PSI de 0.38%; para T2: conductividad de 0.0708 ds/m y PSI de 0.45% y para T3: conductividad de 0.0849 ds/m y PSI de 0.29%.

La eficacia en la conductividad del T1 fue 92.77%, T2 93.83% y T3 92.59%; la eficacia para el PSI fue: T1 98.28%, T2 97.96% y T3 98.70%.

Se presentó un programa con 3 propuestas de tratamiento para un suelo salino-sódico, mediante una dosis de 0.75 gr *Bacillus subtilis*, 40 gr cal y 40 gr de harina de cáscara huevo con una frecuencia diaria, pero con un tiempo de 10, 20 y 30 días.

## REFERENCIAS

- Aimetta, B., Bustos, D., Salvagiotti, F., Cazorla, C., Pietrantonio, J., Muñoz, S. y Galarza, C. (2018). *Problemática actual de suelos salino-sódicos: efectos sobre el cultivo de soja y alternativas de manejo*. México.
- Alvarado, E. (2019). *Análisis del estado plástico y endurecido del concreto usando aditivo superplastificante y la cascara de huevo molido en concretos con hormigón*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Álvarez, M., Velázquez, J., Maldonado, R., Almaguer, G., y Solano, L. (2010). *Diagnóstico de la fertilidad y requerimiento de cal de suelos cultivados con agave azul*. México.
- Amaya, M. (2017). *Estabilización de suelos superficiales del naicm con óxido de calcio (cao)*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bonadeo, E. y Milán, C. (2017), *Efecto de la aplicación de yeso sobre la capacidad productiva de un suelo sódico de alta variabilidad espacial*. Argentina.
- Caballero, E., Álvarez, V., y Lima, J. (2017). *Estimación y alteraciones químicas de suelos tiomórficos con la aplicación de cal en invernadero*. Colombia. *Idesia (Arica)*, 35(4), 7-16.
- <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292017000400007>
- Chavez, S., Esparza, O. y Riosvelasco, L. (2019). *Diseños preexperimentales y cuasiexperimentales aplicados a las ciencias sociales y la educación*. *Enseñanza e Investigación en Psicología* 2(2), 167-178.

- CSRLaboratorios (2019). *La textura en los suelos agrícolas*.  
<https://www.universidadderiego.com/la-textura-en-los-suelos-agricolas/>
- Courel, G. (2019). *Suelos salinos y sódicos*. Universidad nacional de Tucumán, Argentina.
- Corcuera, C. (2012). *Análisis de la fertilidad de los suelos agrícolas destinados al cultivo de arroz en la cuenca baja del río jequetepeque*. Perú.
- Cuero, R., Peña, J., Osorio, J, y Zúñiga, O., (2011). *Evaluation of technologies for the recovery of soils degraded by salinity*. Revista facultad nacional de agronomía. Colombia
- Cuervo, C. y Simanca, J. (2018), *Efecto de enmiendas orgánicas y azufre en propiedades químicas y biológicas de un suelo sódico*. Colombia.
- Delgado, N., Chumacero, J., Rodríguez, L., Tuesta, A. y Alvarez, Y. (2022). *Bacillus subtilis como promotor de crecimiento en el cultivo de café (Coffea arabica)*. Perú.
- Fernandez, M., Rodriguez, M., Lopez, J. y Vela, G. (2014). *Dinámica de la salinidad en los suelos*. E-BIOS 1(5) 26-35.
- Fertilab. (2016). “*Condiciones de salinidad y recuperación de los suelos de la cancha pública de golf - san bartolo, lima*”. Lima.
- Flores, E., Flores, J. y Tórrez, J. (2017), *Recuperación de suelos salinos con la incorporación de sulfato de calcio hemidrato (Ca(SO<sub>4</sub>)<sub>1/2</sub>H<sub>2</sub>O) en la comunidad de Yotala*. Mexico.
- García, M., Plazas, N., Carbajal, D., Ferreira, S. y Parra, D. (2018). *Descripción de las saponinas en quinua (Chenopodium quinoa willd) en relación con el suelo y el clima*. Informador Tecnico - Colombia, 82(2), 241-249.  
<http://doi.org/10.23850/22565035.1451>

- Hanco, C. (2017). *Desalinización con Beterraga (Beta vulgaris L.) asociada al vermicompost y cal agrícola para el mejoramiento de la calidad del suelo, Cañete, 2017*. Lima.
- Harsha, N. (2015). *Egg shell and bio waste manure*. International Journal of Scientific & Engineering Research. 6(6), 1680-1685.
- Huanca, A. (2019). *Uso de cáscara de huevo molida como material encalante en un suelo ácido del Perú*. Perú.  
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019000300115>
- Hurtado, D. (2019). *Eficiencia de biorrecuperación mediante enmienda orgánica incorporada en el suelo salino de la ladera del Establo "Agropecuaria Villa Asís S.R.L" comunidad autogestionaria Huaycán – Ate Vitarte*. Perú.
- Ibañez, J. (2008). *Degradación de suelos: salinización y acidificación*. España
- Jara, H. y Labán, T. (2019). *Eficiencia entre la biotransformación utilizando Bacillus subtilis y la fitoacumulación utilizando girasol (Helianthus annuus) en suelos contaminados por cadmio (Cd), Comas, 2019*. Perú.
- León, R. y Mendieta, L. (2022). *Remediación de suelo agrícola contaminado con arsénico, aplicando cáscara de huevo en la provincia de Canta-Lima 2022*. Perú.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2021). *Guía para la evaluación de sitios contaminados y la elaboración de planes dirigidos a la remediación*. Perú.
- Ministerio nacional de agricultura. (2017). *Areas afectadas con mal drenaje y salinidad*.
- Moscol, A. (2018). *Eficacia del bacillus subtilis para reducir la salinidad de los suelos del centro poblado de quepepampa, huaral - 2018*. Peru.

- Ñacato, C. y Valencia, M. (2016). *Aislamiento, identificación y pruebas in vitro de cepas autóctonas de bacillus subtilis como agente de biocontrol de alternaria spp en brassica oleracea var.italica*. Universidad Politecnica Salesiana, Quito.
- Peralta, P. y Ramos, C. (2017). *Caracterización fisicoquímica y térmica de residuos sólidos generados en el proceso de obtención de cal a partir de piedra caliza*. Corporación universitaria del Caribe.
- Pérez, C. y Rodrigo, J. (2016), *Determinación de la necesidad de cal en los suelos agrícolas de Zamorano*. Honduras.
- Quintanilla, J. (2019). *Aplicación de residuos de la industria azucarera para la remediación de un suelo salino-sódico de costa central*. Lima.
- Quispe, Y. (2018). *Aplicación de cascara de huevo en un suelo ácido de atalaya para incrementar la producción de Zea mays, 2018*. Universidad Cesar Vallejo, Perú.
- Ramirez, P. (2016). *Condiciones de salinidad y recuperación de los suelos de la cancha pública de golf - san bartolo, Lima*.
- Rengifo, R. (2018). *Proceso de capacitación y el desempeño laboral del personal administrativo del organismo de evaluación y fiscalización ambiental, Lima 2017*. Peru.
- Rivera, N. (2018). *Tratamiento del suelo salino en el distrito de Chilca, usando cal agrícola y sangre de res – Lima, 2018*
- Sanchez, E., y Huanio, L. (2017). *“Determinación de la granulometría óptima del carbonato de calcio obtenido de la cascara de huevo para el mejoramiento de suelos ácidos del valle del santa”*. Chimbote.

- Soler, R. y Bueso, J. (2017). *Análisis de las alteraciones de la cáscara del huevo de gallina*. Nereis. Revista Iberoamericana Interdisciplinar de Métodos, Modelización y Simulación (10), 137-147.
- Vera, C. (2019). *Morteros de sílice y cal: análisis del material para futuras aplicaciones en la construcción*. Universidad Católica de Cuenca, Ecuador.

## ANEXOS

ANEXO N° 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

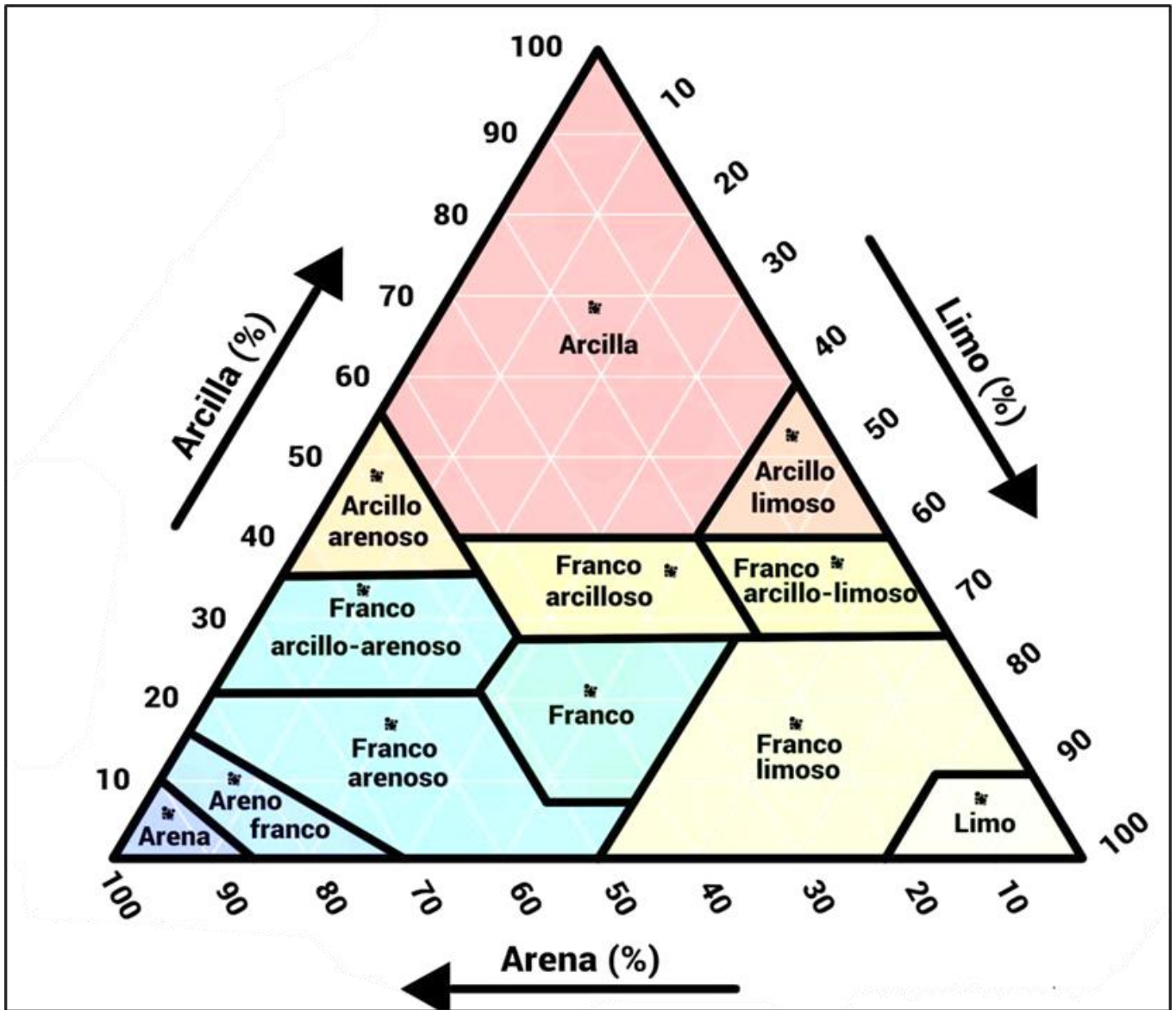
“EVALUACION DE *BACILLUS SUBTILIS*, CAL Y HARINA DE CASCARA DE HUEVO PARA LA REDUCCIÓN DE SODIO EN EL SUELO”

PROBLEMA	HIPOTESIS GENERAL	OBJETIVO GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	METODOLOGIA
¿Cuál es la capacidad del <i>Bacillus subtilis</i> , cal y harina de cáscara de huevo en la reducción de sodio en el suelo del distrito de Aucallama?	La capacidad de <i>Bacillus subtilis</i> , cal y harina de cáscara de huevo es significativa en la reducción del sodio en el suelo del distrito de Aucallama.	Evaluar la capacidad de <i>Bacillus subtilis</i> , cal y harina de cáscara de huevo en la reducción de sodio en el suelo del distrito de Aucallama.	Suelo sódico	<b>DISEÑO</b> Experimental – Pre experimental
PROBLEMAS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICO	OBJETIVOS ESPECIFICOS	VARIABLE INDEPENDIENTE	POBLACIÓN
¿Cuáles son los parámetros iniciales y finales de sodio del suelo del distrito de Aucallama?	Se determinó los parámetros iniciales y finales de sodio en el suelo del distrito de Aucallama.	Determinar los parámetros iniciales y finales de sodio del suelo del distrito de Aucallama.	<i>Bacillus subtilis</i> en el suelo sódico	Suelo ubicado en el distrito de Aucallama, provincia de Huaral y departamento de Lima. <b>MUESTRA</b>
¿Qué tan eficaz será el <i>Bacillus subtilis</i> , cal y cáscara de huevo para la reducción del sodio en el suelo del distrito de Aucallama?	El <i>Bacillus subtilis</i> , cal y cáscara de huevo serán eficaces para la reducción del sodio en el suelo del distrito de Aucallama.	Determinar la eficacia de <i>Bacillus subtilis</i> , cal y harina de la cáscara de huevo en la reducción del sodio en el suelo del distrito de Aucallama.	Cal en el suelo sódico.	15 kilos de suelo sódico
¿Cómo se elaborará el programa de tratamiento para el suelo salino-sódico en el distrito de Aucallama?	Se elaboró un programa de tratamiento para suelos salino-sódico en el distrito de Aucallama.	Elaborar un programa de tratamiento para suelos salino-sódico en el distrito de Aucallama.	Harina de cáscara de huevo en el suelo sódico.	



VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL		INDICADORES	ÍNDICE
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	Suelo sódico	Los suelos sódicos son aquellos que contienen más de 15 % de sodio intercambiable, conductividad eléctrica menor a 4 dSm <sup>-1</sup> . (Quintanilla, 2019)	Se tomarán muestras de suelo para determinar la concentración de la conductividad y porcentaje de sodio intercambiable.	Conductividad	dS/m
				PSI	%
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus subtilis</i> tiene como característica principal ser una bacteria Gram positiva, mesófila, productora de esporas de pared delgada, de forma oval o cilíndrica, es fermentativa y usualmente hidroliza caseína y almidón; tiene la capacidad de controlar enfermedades en cultivos vegetales. (Acuario, 2016)	El <i>Bacillus subtilis</i> se aplicará en dosis de 0.5, 0.75, 1 gramo en 15 muestras de suelo sódicos, las cuales serán evaluadas en un periodo de 30 días.	Dosis	Gramos
				Tiempo	Días
	Cal	Es un sólido blanco conformada por hidróxidos de calcio magnesio obtenida del apagado de las cales vivas, que es soluble con el agua y cuando se convierte en pasta tiende a endurecer lento. (Usedo, 2015)	La cal se aplicará en dosis de 30, 40, 50 gramos en 15 muestras de suelo sódicos, las cuales serán evaluadas en un periodo de 30 días.	Dosis	Gramos
				Tiempo	Días
Harina de cáscara de huevo	La cáscara del huevo está conformada por diferentes minerales como zinc, manganeso, sodio, cobre, hierro, aluminio, boro, magnesio y mayor parte está conformado por calcio. (Alvarado, 2019)	La cáscara de huevo será convertida en harina, para luego aplicar en dosis de 20, 40, 60 gramos en 15 muestras de suelo sódico, las cuales serán evaluadas en un periodo de 30 días.	Dosis	Gramos	
			Tiempo	Días	

ANEXO N° 2. CLASIFICACIÓN DEL SUELO







### ANEXO N° 3. TRATAMIENTOS APLICADOS EN MASETAS



#### ANEXO N° 4. MUESTRAS DEL SUELO TRATADO



## ANEXO N° 5. INFORME DE LABORATORIO – ANÁLISIS INICIAL

 <b>Environmental Quality Analytical Services S.Á.</b> <small>Tecnología al Servicio de la Protección y Saneamiento Ambiental</small>		LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 030			
<b>INFORME DE ENSAYO N° SA0651/21</b>					
<b>Solicitante</b>	: <b>STEFANY CASO TAFUR</b>				
<b>Dirección</b>	: <b>Avenida Manuel Prado Este 199, El Progreso</b> <b>Distrito: Carabayllo - Provincia: lima - Departamento: Lima</b>				
<b>Procedencia</b>	: <b>HUARAL</b> <b>Distrito: Huaral - Provincia: Huaral - Departamento: Lima</b>				
<b>Matriz de la Muestra</b>	: <b>Suelo</b>				
Fecha de Muestreo	: 18 - Mayo - 2021				
Responsable del Muestreo	: Personal Técnico - Empresa Solicitante				
Fecha y Hora de Recepción	: 19 - Mayo - 2021 / 07:06 h				
Fecha de Ejecución del Ensayo	: 19 al 24 - Mayo - 2021				
Código Interno: L0651/21					
PARÁMETROS	0651 – 1 <sup>(a)</sup>	0651 – 2 <sup>(a)</sup>	Expresado En:	MÉTODO DE ENSAYO	
	VAR - 01 <sup>(b)</sup> (14:53 h)	VAR - 02 <sup>(b)</sup> (15:30 h)			
Conductividad Eléctrica	1,146	0,758	dS/m	ISO 11265	
Porcentaje de sodio Intercambiable	22,11	32,35	%	NOM-021-AS-21 (*)	
<small>(<sup>a</sup>) Código de Laboratorio</small>		<small>(<sup>b</sup>) Código del Solicitante y hora de muestreo</small>			
<b>REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. -</b>					
<input type="checkbox"/> Soil Quality: Determination of the Specific Electrical Conductivity. 1994 <input type="checkbox"/> NOM-021-SEMARNT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis (2003) <input type="checkbox"/> (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA					
<b>ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. -</b>					
<input type="checkbox"/> Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.					
Lima, 24 de Mayo de 2021.					
 <p><b>Ing. Eusebio Victor Cóndor Evaristo</b> Gerente General</p>					
<p><i>Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.</i>  <i>Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.</i>  <i>Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.</i></p>					
<small>Código: F01-P.DIR.04    Dirección de Laboratorio: M.E. Lote 74, Urb. Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km.28,5 de la Pan. Norte</small>		<small>Revisión: 00    Teléfonos: 548-4976 / 349-4050    e_mail: info@equas.com.pe</small>		<small>Fecha: 17-10-2019</small>	
<small>Página 1 de 1</small>					

## ANEXO N° 6. INFORME DE LABORATORIO – ANÁLISIS FINAL



**Environmental Quality Analytical Services S.A.**  
Tecnología al Servicio de la Protección y Saneamiento Ambiental

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO  
POR EL ORGANISMO PERUANO DE  
ACREDITACIÓN INACAL - DA CON  
REGISTRO N° LE - 030



INACAL  
DA - Perú  
Organismo de Acreditación

**INFORME DE ENSAYO N° SA0953/21**

**Solicitante** : STEFANY CASO TAFUR  
**Dirección** : Av. Manuel Prado Este, 199 – El Progreso - Carabayllo

**Procedencia** : HUARAL  
**Distrito:** Huaral - **Provincia:** Huaral - **Departamento:** Lima

**Matriz de la Muestra** : Suelo

Fecha de Muestreo : 19 - Julio - 2021  
 Responsable del Muestreo : Personal Técnico - Empresa Solicitante  
 Fecha y Hora de Recepción : 19 - Julio - 2021 / 11:45 h  
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 19 al 23 - Julio - 2021

Código Interno: L0953/21

PARÁMETROS	0953 - 1 <sup>(a)</sup>	0953 - 2 <sup>(a)</sup>	0953 - 3 <sup>(a)</sup>	0953 - 4 <sup>(a)</sup>	Expresado En:	MÉTODO DE ENSAYO
	T1 R1 <sup>(b)</sup> (08:00 h)	T1 R2 <sup>(b)</sup> (08:00 h)	T1 R3 <sup>(b)</sup> (08:00 h)	T1 R4 <sup>(b)</sup> (08:00 h)		
Conductividad Eléctrica	0,0818	0,0839	0,0816	0,0832	dS/m	ISO 11265
Porcentaje de sodio Intercambiable	0,33	0,27	0,30	0,48	%	NOM-021-AS-21 (*)

(<sup>a</sup>) Código de Laboratorio      (<sup>b</sup>) Código del Solicitante y hora de muestreo

**REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. -**  
 Soil Quality: Determination of the Specific Electrical Conductivity. 1994  
 NOM-021-SEMARNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis (2003)  
 (\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

**ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. -**  
 Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

Lima, 23 de Julio de 2021.



**Ing. Eusebio Victor Cóndor Evaristo**  
Gerente General



**Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.**  
 Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.  
 Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

---

Código: F01-P.DIR.04    Revisión: 00    Fecha: 17-10-2019

Dirección de Laboratorio: Mz.I Lote 74, Urb. Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km.28,5 de la Pan. Norte  
 Teléfonos: 548-4976 / 349-4050    e\_mail: info@equas.com.pe

Página 1 de 4



**Environmental Quality  
Analytical Services S.A.**  
Tecnología al Servicio de la Protección y Saneamiento Ambiental

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO  
POR EL ORGANISMO PERUANO DE  
ACREDITACION INACAL - DA CON  
REGISTRO N° LE - 030



### INFORME DE ENSAYO N° SA0953/21

**Solicitante** : STEFANY CASO TAFUR  
**Dirección** : Av. Manuel Prado Este, 199 – El Progreso - Carabayllo

**Procedencia** : HUARAL  
**Distrito:** Huaral - **Provincia:** Huaral - **Departamento:** Lima

**Matriz de la Muestra** : Suelo

Fecha de Muestreo : 19 - Julio - 2021  
Responsable del Muestreo : Personal Técnico - Empresa Solicitante

Fecha y Hora de Recepción : 19 - Julio - 2021 / 11:45 h  
Fecha de Ejecución del Ensayo: 19 al 23 - Julio - 2021

Código Interno: L0953/21

PARÁMETROS	0953 - 5 <sup>(a)</sup>	0953 - 6 <sup>(a)</sup>	0953 - 7 <sup>(a)</sup>	0953 - 8 <sup>(a)</sup>	Expresado En:	MÉTODO DE ENSAYO
	T1 R5 <sup>(b)</sup> (08:00 h)	T2 R1 <sup>(b)</sup> (08:00 h)	T2 R2 <sup>(b)</sup> (08:00 h)	T2 R3 <sup>(b)</sup> (08:00 h)		
Conductividad Eléctrica	0,0839	0,0679	0,0712	0,0734	dS/m	ISO 11265
Porcentaje de sodio Intercambiable	0,52	0,25	0,38	0,42	%	NOM-021-AS-21 (*)

<sup>(a)</sup> Código de Laboratorio

<sup>(b)</sup> Código del Solicitante y hora de muestreo

**REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. -**

- Soil Quality: Determination of the Specific Electrical Conductivity. 1994
- NOM-021-SEMARNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis (2003)
- (\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

**ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. -**

- Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

Lima, 23 de Julio de 2021.

**EQUAS S.A.**  
  
**Ing. Eusebio Victor Córdor Evaristo**  
Gerente General



**Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.**

Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.

Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Código: F01-P.DIR.04 Dirección de Laboratorio: Mz. I Lote 74, Urb. Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km.28,5 de la Pan. Norte  
Revisión: 00 Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e\_mail: info@equas.com.pe  
Fecha: 17-10-2019

Página 2 de 4



**Environmental Quality Analytical Services S.A.**  
Tecnología al Servicio de la Protección y Saneamiento Ambiental

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO  
POR EL ORGANISMO PERUANO DE  
ACREDITACIÓN INACAL - DA CON  
REGISTRO N° LE - 030



### INFORME DE ENSAYO N° SA0953/21

**Solicitante** : STEFANY CASO TAFUR  
**Dirección** : Av. Manuel Prado Este, 199 – El Progreso - Carabayllo

**Procedencia** : HUARAL  
Distrito: Huaral - Provincia: Huaral - Departamento: Lima

**Matriz de la Muestra** : Suelo

Fecha de Muestreo : 19 - Julio - 2021  
Responsable del Muestreo : Personal Técnico - Empresa Solicitante  
Fecha y Hora de Recepción : 19 - Julio - 2021 / 11:45 h  
Fecha de Ejecución del Ensayo: 19 al 23 - Julio - 2021

Código Interno: L0953/21

PARÁMETROS	0953 - 9 <sup>(a)</sup>	0953 - 10 <sup>(a)</sup>	0953 - 11 <sup>(a)</sup>	0953 - 12 <sup>(a)</sup>	Expresado En:	MÉTODO DE ENSAYO
	T2 R4 <sup>(b)</sup> (08:00 h)	T2 R5 <sup>(b)</sup> (08:00 h)	T3 R1 <sup>(b)</sup> (08:00 h)	T3 R2 <sup>(b)</sup> (08:00 h)		
Conductividad Eléctrica	0,0719	0,0696	0,0866	0,0831	dS/m	ISO 11265
Porcentaje de sodio Intercambiable	0,60	0,61	0,28	0,23	%	NOM-021-AS-21 (*)

(<sup>a</sup>) Código de Laboratorio

(<sup>b</sup>) Código del Solicitante y hora de muestreo

**REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS -**

- Soil Quality: Determination of the Specific Electrical Conductivity. 1994
- NOM-021-SEMARNA T-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis (2003)
- (\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

**ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. -**

- Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

Lima, 23 de Julio de 2021.

**EQUAS S.A.**

Ing. Eusebio Victor Cóndor Evaristo  
Gerente General



**Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.**

Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.

Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Código: F01-P.DIR.04

Dirección de Laboratorio: Mz. I Lote 74, Urb. Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km.28,5 de la Pan. Norte

Revisión: 00

Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e\_mail: info@equas.com.pe

Fecha: 17-10-2019

Página 3 de 4





LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO  
POR EL ORGANISMO PERUANO DE  
ACREDITACIÓN INACAL - DA CON  
REGISTRO N° LE - 030



## INFORME DE ENSAYO N° SA0953/21

**Solicitante** : STEFANY CASO TAFUR  
**Dirección** : Av. Manuel Prado Este, 199 – El Progreso - Carabayllo

**Procedencia** : HUARAL  
**Distrito:** Huaral - **Provincia:** Huaral - **Departamento:** Lima

**Matriz de la Muestra** : Suelo

**Fecha de Muestreo** : 19 - Julio - 2021  
**Responsable del Muestreo** : Personal Técnico - Empresa Solicitante

**Fecha y Hora de Recepción** : 19 - Julio - 2021 / 11:45 h  
**Fecha de Ejecución del Ensayo** : 19 al 23 - Julio - 2021

Código Interno: L0953/21

PARÁMETROS	0953 - 13 <sup>(a)</sup>	0953 - 14 <sup>(a)</sup>	0953 - 15 <sup>(a)</sup>	Expresado En:	MÉTODO DE ENSAYO
	T3 R3 <sup>(b)</sup> (08:00 h)	T3 R4 <sup>(b)</sup> (08:00 h)	T3 R5 <sup>(b)</sup> (08:00 h)		
Conductividad Eléctrica	0,0852	0,0839	0,0859	dS/m	ISO 11265
Porcentaje de sodio Intercambiable	0,30	0,33	0,30	%	NOM-021-AS-21 (*)

(<sup>a</sup>) Código de Laboratorio

(<sup>b</sup>) Código del Solicitante y hora de muestreo

**REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS.** -

- Soil Quality: Determination of the Specific Electrical Conductivity. 1994
- NOM-021-SEMARNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis (2003)
- (\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

**ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA.** -

- Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

Lima, 23 de Julio de 2021.

**EQUAS S.A.**  
  
**Ing. Eusebio Victor Córdor Evaristo**  
 Gerente General



**Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.**

Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.

Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Código: F01-P.DIR.04 Dirección de Laboratorio: Mz. I Lote 74, Urb. Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km.28,5 de la Pan. Norte  
 Revisión: 00 Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e\_mail: info@equas.com.pe  
 Fecha: 17-10-2019

Página 4 de 4

ANEXO N° 7. CLASIFICACIÓN DE PARÁMETROS PARA UN SUELO  
SÓDICO

PARAMETROS		
CLASIFICACIÓN	CE	PSI
NORMAL	< 4 ds/m	< 15 %
SALINO	> 4 ds/m	< 15 %
SODICO	< 4 ds/m	> 15 %
SALINO - SODICO	> 4 ds/m	> 15 %

Fuente: Quintanilla (2019)

ANEXO N° 8. CADENA DE CUSTODIA

**Laboratorio (Lima):** Ma. J. Loz. 74, Urb. Naranjos - Puente Piedra  
**Oficina (Piura):** Jr. Bernal 154, Urb. Bancaria - Piura  
**Información:** atencioncliente@equas.com.pe  
**Tel.:** (01) 349-4050

**PT.E. N°:** 229121  
**ORDEN DE TRABAJO N°:** 1065121  
**CÓDIGO INTERNO N°:** 1065121

**Departamento:** Lima  
**Provincia:** Huaral  
**Distrito:** Huaral  
**Coordenadas UTM:** 922332848  
**Correo:** stefany.casid@equas.com.pe

**Cliente:** Stefany Casid TAFUR  
**Procedencia:** Huaral  
**Contacto:** Huaral

\*. Adesivo (si aplica) la Dirección, lugar de muestreo y/o el nombre del proyecto.

**LABORATORIO**

Parámetros	Resultado
pH	
Textura	
Humedad	
Benceno	
Tolueno	
Etilbenceno	
Xileno	
Natano	
Fracción de hidrocarburos <10-C10	
Fracción de hidrocarburos >10-C25	
Fracción de hidrocarburos >25-C40	
Bifenilos policlorados - PCB	
Tetracloroetileno	
Tricloroetileno	
Arsénico	
Bario Total	
Cadmio	
Cromo VI	
Mercurio	
Piombo	
Cianuro Libre	
Conductividad	
Materia Orgánica	

**EQUAS S.A. S.C.**  
**CONFORME**

**Procedimiento de Muestreo: I.MOT.12**  
 PIE: Propuesta Técnica Económica  
 E: Envase Adecuado  
 C: Cantidad mínima requerida  
 I: Rotulado e identificación legible

**Control de Calidad (Duplicado):**

DS-01

**Observaciones:**

**Muestreo:**  Cliente  Laboratorio

**Cliente / Campo:** Universidad Espinosa C.

**Recepción en Laboratorio:** 19/05/21 07:06h

**Fecha / hora:** 19/05/21 07:06h

**Verificación de Recepción de Muestras:**

E:  I:  C:

Page: ... de ...

**Código:** I02-I.MOT.12  
**Versión N°:** 00  
**Fecha:** 29/11/2018

**www.equas.com.pe**

ARG/EA/NHC

## ANEXO N° 9. FICHA DE DESCRIPCION DEL LUGAR

Registro de campo										
Tipo de suelo:		Responsable:								
Arenoso		Rayssa N. Flores Calderon								
Punto de monitoreo	Descripción origen / ubicación	Localidad	Distrito	Provincia	Departamento	Cordenadas		Altura m.s.n.m.	Fecha	Hora
						Latitud	Longitud			
VAR - 01	Se encuentra Pasando la Villa Ecologica Ecotully Park, es una zona con presencia de neblina y con una buena accesibilidad		Aucallama	Huancá	Lima	11° 38' 18" S	77° 12' 56" O	412	18/05/2021	14:53 hr.



Firma del responsable del monitoreo

**ANEXO N° 10. REGISTRO DE DATOS DE LA CONCENTRACIÓN INICIAL Y FINAL DE SODIO EN EL SUELO.**

Resultados iniciales y finales del tratamiento aplicado al suelo sódico con <i>Bacillus subtilis</i> , cal y harina de la cáscara de huevo			
Muestras	Código	Conductividad (dS/m)	PSI (%)
Inicial	VAR - 01	1,146	22,11
Final	T1R1		
	T1R2		
	T1R3		
	T1R4		
	T1R5		
	T2R1		
	T2R2		
	T2R3		
	T2R4		
	T2R5		
	T3R1		
	T3R2		
	T3R3		
	T3R4		
	T3R5		

\_\_\_\_\_  
 Nombre y Apellidos :  
 DNI:

\_\_\_\_\_  
 Nombre y Apellidos :  
 DNI:

## ANEXO N° 11. PROGRAMA DE TRATAMIENTO

<b>PROGRAMA DE TRATAMIENTO</b>	
<b>1</b>	<b>Fases de identificación</b>
<b>1.1</b>	<b>Evaluación preliminar</b>
<b>1.1.1</b>	Información documental
<b>1.1.2</b>	Fuentes potenciales
<b>1.1.3</b>	Puntos de exposición
<b>1.1.4</b>	Muestreo de identificación
<b>1.1.5</b>	Resultado de muestreo
<b>2</b>	<b>Fase de descontaminación de suelos</b>
<b>2.1</b>	<b>Caracterización de la zona a tratar</b>
<b>2.2</b>	<b>Muestreo al detalle</b>
<b>2.3</b>	<b>Propuestas de remediación</b>
<b>2.4</b>	<b>Análisis de los resultados</b>

Fuente: Elaboración propia.