

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS QUÍMICAS Y AMBIENTALES**

**PROYECTO DE TITULACIÓN**

**PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**MAGISTER EN GESTIÓN INTEGRAL DE LABORATORIOS DE  
QUÍMICA**

**TEMA:**

Optimización de cultivos a partir de parámetros fisicoquímicos en  
muestra de agua para riego y suelo agrícola.

**AUTORA:**

TAMARA TATIANA MACÍAS VÉLEZ

**TUTOR:**

M.Sc. MICHAEL RENDÓN MORÁN

**Guayaquil – Ecuador**

**2024**

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar los parámetros fisicoquímicos existentes del suelo y agua para el cultivo de hortalizas y árboles frutales en la granja experimental de la ESPOL para la idoneidad de rendimiento productivo. La metodología fue de tipo experimental, exploratoria y documental y con enfoque cuantitativo. Se realizaron 10 muestras de 500 g de suelo agrícola libre de impurezas, las cuales se conservaron a temperatura ambiente hasta el momento de análisis en laboratorio. También se tomó una muestra de agua de riego de la misma zona de la granja experimental. Los resultados mostraron que un pH básico en donde el valor más alto corresponde a 8,01 para agua superficial y 8,0 para agua profunda de los puntos 3 y 4 de muestreo, estos datos se encuentran dentro del rango permisible planteado por el criterio de calidad de aguas para uso agrícola en riego. Los valores de micronutrientes precedentes de los 10 puntos de muestreo de suelo agrícola, en donde destaca la presencia de Fe, Mn, Zn, B y Cu con 17899,2; 268,1; 104,9; 61,7 y 32,9 mg/kg de forma respectiva. Estos elementos trazas están presentes en los suelos en valores inferiores a 1000 mg/kg, lo que comparado con los resultados obtenidos demuestra estar dentro de los rangos favorables para un buen desarrollo de cultivos agrícolas, no obstante, la cantidad de B presente en el suelo sobrepasa el límite permisible de 1 mg/kg según el Ministerio del Ambiente del Ecuador. De esta forma, se describió un plan de intervención del suelo con métodos químicos y biológicos, para que de esta forma exista un parámetro base teórico del tratamiento adecuado del suelo para un cultivo de hortalizas y frutas.

**Palabras clave:** Análisis de suelo, análisis de agua, cultivos, riego

## ABSTRACT

The objective of the research was to determine the existing physicochemical parameters of the soil and water for the cultivation of vegetables and fruit trees in the ESPOL experimental farm for the suitability of productive performance. The methodology was experimental, exploratory and documentary and with a quantitative approach. Ten samples of 500g of agricultural soil, free of impurities, were preserved. At room temperature until analysis in the laboratory. Additionally, a sample of irrigation water from the same area as the experimental farm was collected. The results revealed a basic pH, with the highest value being 8.01 for surface water and 8.0 for deep water at sampling points 3 and 4. These data are within the permissible range established by the criterion of Quality of water for agricultural use in irrigation. Micronutrient values of the 10 agricultural soil sampling points, where the presence of Fe, Mn, Zn, B and Cu stands out with 17899.2; 268.1; 104.9; 61.7 and 32.9 pp mg/kg m respectively. These trace elements are present in the soils at values lower than 1000 mg/kg, indicating suitability for good agricultural crop development. However, the amount of B in the soil exceeds the permissible limit of 1 mg/kg according to the Ministry of the Environment of Ecuador. Consequently, a soil intervention plan was described, incorporating chemical and biological methods. This plan provides a theoretical foundation for appropriate soil treatment in vegetable and fruit crop cultivation.

**Keywords:** Soil analysis, water analysis, crops, irrigation.

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto de maestría a mi madre, Astromelia Vélez Saltos quien con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar hasta donde yo no creía que sería posible, gracias por inculcar en mí el ejemplo de trabajo, esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades porque Dios y la Virgen del Cisne nunca nos ha abandonado.

A mi hermana Josselyn Geovanna por su apoyo incondicional, durante todo este proceso. A ellas, siempre mi agradecimiento y amor incondicional.

*Tamara Macías*

## **AGRADECIMIENTO**

Todos los honores se los lleva mi querida madre que con su esfuerzo y dedicación me ha ayudado a seguir adelante.

De manera especial a mi enamorado el M.Sc. Ronald Vincés Bravo, quien me ha brindado apoyo y paciencia en cada uno de mis proyectos.

Agradezco al Dr. Ramón Espinel L. PhD. (director del CIR - Centro Investigación Rural) por permitirme ser parte del inicio del estudio agrícola de la Granja experimental ESPOL ubicada en Chongón.

Por ellos y para ellos siempre mis triunfos.

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Titulación, me corresponde exclusivamente y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. El patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

---

Tamara Tatiana Macías Vélez

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Joel Vielma Puente, Ph.D

PRESIDENTE

---

M.Sc. Michael Rendón Morán

TUTOR

---

Cesar Augusto Araque Molina, Ph.D

EVALUADOR

## **ABREVIATURAS O SIGLAS**

ICP: Plasma Acoplado Inductivamente (por sus siglas en inglés).

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización

ha: Hectáreas.

Kg: Kilogramos.

mm: Milímetros.

MCSB: cáscara de coco modificada.

pH: Potencial de hidrógeno.

SPSS: Paquete Estadístico para Ciencias Sociales (por sus siglas en inglés).

TDS: Sólidos Disueltos Totales



## ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
RESUMEN .....	ii
ABSTRACT.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DECLARACIÓN EXPRESA .....	vi
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN.....	vii
ABREVIATURAS O SIGLAS.....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Descripción del problema .....	2
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Justificación.....	4
1.5. Hipótesis.....	6
1.6. Alcance .....	6
CAPÍTULO 2.....	7
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes.....	7

2.2.	Marco teórico .....	9
2.2.1.	Parámetros fisicoquímicos en agricultura .....	9
2.2.1.1.	<i>pH del Suelo</i> .....	9
2.2.1.2.	<i>Conductividad Eléctrica del Suelo</i> .....	9
2.2.1.3.	<i>Concentración de Nutrientes</i> .....	10
2.2.1.4.	<i>Textura del Suelo</i> .....	10
2.2.1.5.	<i>Salinidad del Agua de Riego</i> .....	10
2.2.1.6.	<i>Contenido de Materia Orgánica</i> .....	10
2.2.1.7.	<i>Temperatura del Suelo y del Agua</i> .....	10
2.2.1.8.	<i>Capacidad de Retención de Agua</i> .....	11
2.2.2.	Importancia del agua de riego.....	11
2.2.2.1.	<i>Suministro Hídrico Esencial</i> .....	11
2.2.2.2.	<i>Calidad del Agua y Salinidad</i> .....	12
2.2.2.3.	<i>Impacto en la Disponibilidad de Nutrientes</i> .....	12
2.2.2.4.	<i>pH del Agua y Absorción de Nutrientes</i> .....	12
2.2.2.5.	<i>Contaminantes en el Agua</i> .....	12
2.2.2.6.	<i>Eficiencia en el Uso del Agua</i> .....	12
2.2.3.	Parámetros de análisis de agua de riego.....	13
2.2.3.1.	<i>Ventajas de contar con parámetros de análisis de agua de riego para cultivos agrícolas</i> .....	16
2.2.3.2.	<i>DBO<sub>5</sub></i> .....	17
2.2.3.3.	<i>Alcalinidad y acidez</i> .....	18
2.2.3.4.	<i>Método Kjeldahl para determinar el nitrógeno total en el agua</i> .....	21
2.2.4.	Nutrición del suelo.....	21
2.2.4.1.	<i>Ventajas de un análisis de suelo agrícola y su nutrición</i> .....	24
2.2.5.	Monitoreo y evaluación de parámetros fisicoquímicos en el suelo y el agua de riego.....	25

2.2.5.1.	<i>Importancia de la Toma de Muestras Representativas</i> .....	27
2.2.6.	Granja experimental.....	28
2.2.6.1.	<i>Aplicabilidad de la granja experimental a la Agricultura en General</i>	
	29	
2.2.7.	NTE INEN 2176:2013.....	30
	CAPÍTULO 3.....	32
3.	MARCO METODOLÓGICO.....	32
3.1.	Enfoque de la investigación .....	32
3.1.1.	Tipo de investigación .....	32
3.1.2.	Diseño de investigación .....	32
3.2.	Metodología .....	32
3.2.1.	Variables .....	32
3.2.2.	Recolección de datos .....	33
3.3.	Métodos y técnicas .....	34
3.4.	Recursos.....	42
3.5.	Análisis estadístico .....	43
	CAPÍTULO 4.....	44
4.	RESULTADOS.....	44
4.1.	Diseño de plan de muestreo acorde a la NTE INEN 2176:2013.....	44
4.2.	Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos para las muestras de agua y suelo acorde al plan de muestreo mediante técnicas espectroscópicas, gravimétricas y electroquímicas .....	45
4.2.1.	Resultados de parámetros fisicoquímicos en muestras de agua.....	45
4.2.2.	pH y Oxígeno Disuelto.....	46
4.2.3.	TDS y Conductividad .....	48
4.2.5.	Temperatura.....	50
4.2.6.	Análisis microbiológico de las muestras de agua de riego y sedimento de orilla de cada punto de muestreo .....	51

4.2.7.	Análisis Carbono/Nitrógeno de las muestras de suelo agrícola.....	54
4.2.8.	Concentraciones de metales pesados, macro y micronutrientes de las muestras de suelo agrícola .....	55
4.3.	Plan de intervención en el suelo en función de los parámetros fisicoquímicos analizados.....	62
4.3.1.	Objetivo General.....	63
4.3.2.	Objetivos específicos.....	63
4.3.3.	Descripción del plan de intervención del suelo .....	63
4.3.3.1.	<i>Recursos Necesarios para intervenir el suelo según los requerimientos encontrados en evaluación.....</i>	65
4.3.3.2.	<i>Acciones del plan de intervención en el suelo agrícola.....</i>	68
4.3.3.3.	<i>Cronograma Tentativo .....</i>	70
4.3.3.4.	<i>Consideraciones Éticas y Ambientales.....</i>	70
4.3.3.5.	<i>Presupuesto del plan de intervención .....</i>	70
CAPÍTULO 5.....		72
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
5.1.	Conclusiones .....	72
5.2.	Recomendaciones .....	73
BIBLIOGRAFÍA .....		74
ANEXOS.....		82

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Parámetros de estudio de agua para riego.....	15
Tabla II. Datos validación para la determinación de alcalinidad .....	18
Tabla III. Preparación de estándares de control de alcalinidad .....	19
Tabla IV. Resultado de alcalinidad de agua .....	20
Tabla V. Operacionalización de variables .....	33
Tabla VI. Ubicaciones de los puntos de muestreo de suelo .....	35
Tabla VII. Ubicaciones de las muestras de agua.....	36
Tabla VIII. Parámetros de reacción de la norma epa 3051 para digestión ácida de suelos .....	39
Tabla IX. Promedio del recuento de unidades formadoras de colonias (ufc) en las muestras de agua de riego y sedimento de orilla. ....	52
Tabla X. Propiedades fisicoquímicas y características de las enmiendas agrícolas propuestas para mejorar la calidad del suelo.....	65
Tabla XI. Modelo de plan de intervención en suelo agrícola.....	68
Tabla XII. Presupuesto del plan de intervención .....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Zonas de muestreo del terreno agrícola.....	34
Fig. 2. Valoración de pH y Oxígeno Disuelto en muestras de agua superficial.	47
Fig. 3. Valoración de pH y Oxígeno Disuelto en muestras de agua profunda. .	47
Fig. 4. Representación de niveles de TDS y Conductividad en muestras de agua superficial.....	49
Fig. 5. Representación de niveles de TDS y Conductividad en muestras de agua profunda.....	49
Fig. 6. Valores de salinidad correspondientes a las muestras de agua superficial y profunda.....	50
Fig. 7. Valores de temperatura correspondientes a las muestras de agua superficial y profunda.....	51
Fig. 8. (a) (b) y (c) Colonias obtenidas del cultivo in vitro de muestras de agua de riego agrícola en medio EMB y SDA.....	53
Fig. 9. Contenido de macronutrientes en muestras de suelo agrícola.....	56
Fig. 10. Contenido de micronutrientes en muestras de suelo agrícola.....	57
Fig. 11. Análisis de Componentes Principales (ACP) de los metales pesados analizados en muestras de suelo agrícola.....	59
Fig. 12. Diagrama del Factor 1 y 2 de ACP en muestra de suelo agrícola.....	60
Fig. 13. Diagrama del Factor 3 y 4 de ACP en muestra de suelo agrícola.....	60
Fig. 14. Estadística descriptiva de las concentraciones de minerales.....	61
Fig. 15. Estadística descriptiva de las concentraciones de minerales en los 10 puntos de muestreo de suelo agrícola.....	62

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

La calidad del agua es el término que describe las características químicas, físicas y biológicas del agua dependiendo del uso que se le va a dar. Para determinarla, se miden y analizan estos elementos, como, por ejemplo, la temperatura, el contenido mineral disuelto en ella y la cantidad de bacterias que tiene [1].

Los sistemas acuáticos presentan diversos servicios ecosistémicos, destacándose el abastecimiento de agua potable, riego, consumo animal, recreación y purificación de las aguas. La mala gestión de los sistemas hídricos puede afectar su calidad del agua, generar procesos de eutrofización (aumento de fósforo y nitrógeno que son los nutrientes limitantes de producción primaria), desequilibrios tróficos, inundación, erosión e impactos sobre aguas subterráneas, entre otros [2].

Se considera a la soberanía alimentaria como un medio por el cual se pueda cumplir la seguridad alimentaria [3], pero la soberanía también se enfoca en la naturaleza de los alimentos más no solo en cubrir el hambre.

Se dice que los sistemas alimentarios y agrícolas modernos han sido eficientes en cuanto al abastecimiento de alimentos a escala mundial. No obstante, los sistemas agrícolas se han visto afectados debido al uso exagerado de recursos externos, causando una deforestación masiva, escasez de agua, pérdida de biodiversidad, altos niveles de GEI (gases de efecto invernadero) y agotamiento del suelo. Pese a los avances de los últimos años, la pobreza y el hambre continúan siendo un reto a nivel mundial, pero la agroecología es un mecanismo esencial para responder a esta necesidad y garantizar también la protección del medio ambiente [4].

En algunos países como Brasil, Chile, Ecuador, El Salvador, Estados Unidos, Cuba, entre otros, están promoviendo acciones que faciliten el desarrollo de la

agroecología que esté relacionada estrechamente con prácticas locales de agricultura tradicional [5].

Un buen suelo es esencial para una buena cosecha. El suelo debe tener todos los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, y una estructura que las mantenga firmes y derechas. La estructura del suelo debe asegurar suficiente aire y agua para las raíces de la planta, pero debe evitar el exceso de agua mediante un buen drenaje. El humus se pierde rápidamente si al suelo se lo deja expuesto [6].

Los elementos más importantes para el crecimiento de las plantas son los macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) y deberían ser suministrados a las plantas a través de fertilizantes, mesonutrientes (calcio, magnesio y azufre) y micronutrientes u oligoelementos (hierro, manganeso, boro, zinc, cobre y molibdeno) que están generalmente presentes en el suelo en cantidades suficientes y las plantas los necesitan en dosis menores [7].

## **1.2. Descripción del problema**

Ecuador es un país alto en densidad de cobertura de tierra para producción agrícola, conociendo que al 2020 esta fue de 2'248.093 hectáreas con una producción de cultivos por 25'184.640 toneladas [8]. Esto demuestra que es un país que tiene entre sus principales actividades a la agricultura.

La variabilidad en parámetros como el pH del suelo y la salinidad del agua puede afectar significativamente la disponibilidad de nutrientes esenciales para los cultivos. Esto puede resultar en deficiencias nutricionales o en la acumulación de sales, afectando negativamente el crecimiento y desarrollo de las plantas. Mientras que, la gestión inadecuada de los parámetros fisicoquímicos puede tener consecuencias ambientales, como la contaminación del agua y la degradación del suelo. Esto afecta la sostenibilidad a largo plazo de las prácticas agrícolas.

El Ecuador al ser país miembro de las Organización de las Naciones Unidas actualmente forma parte de las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible



[9] entre los que se encuentran los objetivos 3, 6 y 12 que vinculan al manejo responsable y de su cuidado de los recursos naturales de agua y suelo.

Por esta razón, desde el 2016 existe la Estrategia Nacional de Calidad del Agua dirigida principalmente por el Medio Ambiente “con el fin de mejorar y proteger la calidad de los recursos hídricos, sus ecosistemas, la calidad de vida de la población, la seguridad alimentaria, así como el control y vigilancia de los agentes contaminantes de las fuentes naturales a nivel nacional” [10].

El problema radica que los estudios no tienen aún el alcance deseado sobre la calidad del agua y su relación con el valor nutricional del suelo para que se mejore la producción agrícola en los campos del país. Se aplica la normativa porque la realización de muestreos sobre la calidad son parte de los procesos, pero estos aún no manifiestan una oportunidad de valor sobre la riqueza de los recursos naturales y su aplicación en la matriz productiva como es el sector agrícola.

Para esto es necesario iniciar un mecanismo de análisis y evaluación de ambos recursos y así ofrecer un aporte informativo y práctico como apoyo a los ODS y al país en general. Además, que, a nivel académico, presenta características de actualización de conocimientos sobre el análisis en laboratorios. De igual forma, al comprender y gestionar estos parámetros, se busca lograr un equilibrio que maximice la producción de cultivos, garantice la disponibilidad de nutrientes esenciales y reduzca el impacto ambiental, contribuyendo así a la viabilidad a largo plazo de la agricultura en esta área específica.

Ante lo anteriormente expuesto se plantea la siguiente interrogante: ¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos actuales del suelo y agua en la granja experimental de la ESPOL, y cómo afectan la idoneidad del rendimiento productivo para el cultivo de hortalizas y árboles frutales?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar los parámetros fisicoquímicos existentes del suelo y agua para el cultivo de hortalizas y árboles frutales en la granja experimental de la ESPOC para la idoneidad de rendimiento productivo.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Diseñar el plan de muestreo acorde a la NTE INEN 2176:2013 para obtener representatividad en la zona intervenida.
- Analizar las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos establecidos para las muestras de agua y suelo acorde al plan de muestreo mediante técnicas espectroscópicas, gravimétricas y electroquímicas.
- Diseñar un plan de intervención en el suelo en función de los parámetros fisicoquímicos analizados.

### **1.4. Justificación**

En la actualidad, la sostenibilidad agrícola es un objetivo clave para garantizar la producción de alimentos a largo plazo [11]. Optimizar los cultivos en la granja experimental de la ESPOC contribuirá a prácticas agrícolas más sostenibles, promoviendo la eficiencia en el uso de recursos y reduciendo el impacto ambiental.

Es así, que se ve necesario el estudio de la calidad del agua y del valor nutricional del suelo, porque es una forma de encaminar a contar con mayores cultivos sanos y viables para el consumo humano, determinando cuantitativamente las condiciones de ambos recursos naturales, estimando los parámetros de manera individual y en conjunto para el alcance de la optimización de los cultivos en el país.

La optimización de los cultivos implica utilizar de manera más eficiente los recursos disponibles, como agua y suelo [12]. Esto es fundamental para

maximizar la producción sin agotar los recursos naturales, lo que puede tener beneficios económicos y medioambientales a largo plazo.

Los estudios de estas características demuestran la idoneidad de los recursos con los que cuenta el país para producir materia prima en los campos, ya que la agricultura depende de ambos para contar alimentos de calidad y que no solo sean aptos para el consumo local, sino que también guarde la aceptación del mercado internacional. La calidad de los cultivos está directamente relacionada con la salud del suelo y del agua [13]. Al analizar los parámetros fisicoquímicos en muestras de agua y suelo, se pueden identificar posibles deficiencias nutricionales o problemas de contaminación que podrían afectar la calidad de los cultivos.

La investigación en este tema puede generar conocimientos valiosos para la comunidad científica y agrícola. Los resultados obtenidos pueden servir como base para el desarrollo de nuevas técnicas agrícolas, estrategias de gestión de recursos y enfoques innovadores para la producción de alimentos. Otro punto importante es que los resultados de la optimización de cultivos basada en parámetros fisicoquímicos pueden aplicarse directamente en la granja experimental de la ESPOL, mejorando la eficiencia de la producción agrícola y sirviendo como modelo para otras instalaciones similares.

Finalmente, la investigación en este tema proporciona oportunidades educativas para estudiantes y profesionales en agricultura, biología, y disciplinas relacionadas. La implementación de prácticas optimizadas en la granja experimental puede servir como un caso de estudio valioso y una experiencia práctica para la formación de futuros expertos en agricultura. Mejorar la productividad agrícola puede tener un impacto positivo en la seguridad alimentaria a nivel local y regional. Al garantizar una producción más eficiente, se contribuye a la disponibilidad de alimentos y al desarrollo sostenible de la comunidad.

Es decir que, la optimización de cultivos en la granja experimental de la ESPOL a partir de los resultados de parámetros fisicoquímicos en muestras de agua y suelo no solo tiene implicaciones prácticas inmediatas, sino que también

contribuye a objetivos más amplios de sostenibilidad, investigación científica y desarrollo comunitario.

### **1.5. Hipótesis**

H1: Los resultados de los ensayos fisicoquímicos y microbiológicos en muestras de agua y suelo, aporta al desarrollo de la optimización del rendimiento productivo de los cultivos de hortalizas y árboles frutales.

H0: Los resultados de los ensayos fisicoquímicos y microbiológicos en muestras de agua y suelo, no aporta al desarrollo de la optimización del rendimiento productivo de los cultivos de hortalizas y árboles frutales.

### **1.6. Alcance**

Este proyecto se llevará a cabo en la granja experimental de la Escuela Politécnica del Litoral, donde se hará la extracción de las muestras de agua y suelo; mientras que el análisis de la calidad y evaluación nutricional será ejecutado en el laboratorio instrumental de la Universidad Politécnica Salesiana en el campus de Vía a la Costa en la ciudad de Guayaquil, donde se buscará conocer la idoneidad de ambos para la optimización del suelo para los cultivos.

## CAPÍTULO 2

### 2. MARCO TEÓRICO

A través de la investigación teórica se puede conocer las características que involucra el proceso de optimización del suelo, teniendo en cuenta no solo sus componentes, sino también el aporte del recurso del agua en el desarrollo de cultivos adecuados.

#### 2.1. Antecedentes

En la investigación de Carvajal [14] con el título “Evaluación de calidad de agua con fines agrícola en los acuíferos de cuatro zonas del Cantón Milagro” refirió que la explotación de los acuíferos en zonas rurales, es una actividad muy recurrente, pero no se realizan las respectivas evaluaciones. En este sentido la calidad del agua es uno de los factores más importantes en la producción agrícola en las 4 zonas del Cantón Milagro, como los Rcto. El Progreso, Los Ceibos, 10 de Agosto y Barcelona. Por este motivo mediante pruebas de laboratorio se planteó el objetivo de evaluar la calidad del agua con fines agrícola en los acuíferos de las zonas del cantón Milagro, dando como resultados agua de buena calidad según normas de Riverside indica que son en su gran mayoría C2S1, tienen una CE que van desde los 50 hasta 87  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , el catión sodio es muy bajo su valor máximo fue de 104 mg/L, y su pH con valores entre medianamente neutros a medianamente alcalinos, según las normas LWILCOX Y HGREEN, indican que esta aguas son sin restricciones para su uso agrícola y pecuaria, la cual se llega a la conclusión que son aptas para fines agrícolas y que se recomienda el constante monitoreo y estudios más enfocados hacia los problemas de elementos pesados por infiltración de agua subterráneas.

El trabajo de investigación realizado por Quispe [15] denominada “Evaluación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua de riego de la Estación Experimental de Cota Cota”, tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua para riego de los cultivos agrícolas de esta Estación experimental. Sus puntos de muestreo fueron manantial, tanque y río durante la época húmeda y época seca en la gestión agrícola 2013 -2014, y de acuerdo a los resultados obtenidos concluyó que el potencial de hidrógeno, pH de las muestras tanto en época

húmeda como seca presentan valores dentro del rango de 7,5 y 8,3. La conductividad eléctrica del manantial y del tanque alcanzo un valor de 904,33  $\mu\text{S}/\text{cm}$  que, de acuerdo con la Norma NCh 1333, se clasifica como agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles ( $750 < 1500 \mu\text{S}/\text{cm}$ ), mientras que la conductividad eléctrica (C.E.) del río alcanzo un valor de 691,75  $\mu\text{S}/\text{cm}$  clasificándose como agua apta para riego. Las concentraciones de cationes de Na, K, Ca, Mg, Fe y Al en todas las aguas analizadas están por debajo del límite de peligro. Los aniones:  $\text{Cl}^{-1}$ ,  $\text{NO}_3^{-1}$ ,  $\text{PO}_4^{-2}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  presentan un comportamiento variado, sus concentraciones están por debajo de los límites permisibles. La dureza de las aguas estudiadas está clasificada como aguas medianamente duras, por lo que no presenta mayor peligro en el uso de estas aguas para riego así se tenga un pH superior a 7. Las muestras de aguas estudiadas tienen un Porcentaje de Sodio Intercambiable (P.S.I.), bajo lo que libra de peligros de inestabilidad, permeabilidad y pobre aireamiento al suelo. Ninguno de los elementos considerados tóxicos (B, Cl y Na) presenta concentraciones que podrían afectar a las plantas o al suelo. Los coliformes totales en el río presenta una severa contaminación por lo que deberán recibir tratamiento, mientras que el agua del tanque durante las dos épocas presenta valores que se encuentran dentro de los límites permitidos y por último el manantial en época húmeda no cumple los límites de las normas. En cuanto a los coliformes fecales las aguas del manantial y del tanque durante las dos épocas se encuentran dentro del límite permitido y el agua del río; en época seca presenta una severa contaminación. Los contenidos de elementos pesados, definidos como elementos dañinos para la salud, como el Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Sb, Se, Fe, Co, Ni, Mg, Zn y Sn indican niveles bajos, respecto a los valores máximos permitidos de acuerdo con las normas ambientales nacionales e internacionales existentes. En la clasificación de aguas para riego; las aguas estudiadas en su totalidad clasifican según la Norma Riverside como aguas que deben utilizarse con alguna precaución. Según la Norma Wilcox, clasifica como aguas de excelente a buena para el uso de riego y la Norma H. Greene (FAO), clasifica como aguas de buena calidad para el riego.

Por otro lado, en la investigación de Rodríguez et al. [16] titulada “Caracterización fisicoquímica de suelos salinos agrícolas, en la localidad de Chicavasco, estado

de Hidalgo, México” plantearon que los suelos agrícolas salinos tienen altas concentraciones de sales solubles (cloruro de sodio), que afectan el crecimiento de cultivos, al disminuir la asimilación de nutrientes y la actividad microbiana. Las plantas pueden ser tolerantes a la salinidad del suelo, pero dependen de algunas propiedades como textura, conductividad eléctrica, pH, entre otros. Este trabajo evaluó un suelo agrícola erosionado por salinidad, mediante parámetros físicos y químicos, para proponer un proceso biológico de recuperación. Los resultados mostraron alto contenido de sodio (2750 mg/kg), pH de 8.2, conductividad eléctrica de 8.5 dS/m y 19.89 de sodio intercambiable (ESP). Por esta razón, se puede clasificar como un suelo salino-sódico, además los altos valores de pH y conductividad eléctrica infieren baja disponibilidad de algunos micronutrientes, dificultando la absorción de estos a los cultivos. Las características fisicoquímicas del suelo refieren un suelo con baja fertilidad y poca probabilidad para el desarrollo vegetal.

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Parámetros fisicoquímicos en agricultura**

Los parámetros fisicoquímicos son medidas que describen las propiedades físicas y químicas de un sistema. En el contexto de la agricultura, estos parámetros son esenciales para evaluar la salud del suelo y del agua, y para entender cómo afectan al crecimiento y desarrollo de los cultivos [17]. Aquí se exploran algunos parámetros fisicoquímicos clave y su impacto en la agricultura:

#### **2.2.1.1. *pH del Suelo***

El pH del suelo indica la acidez o alcalinidad del mismo. Los cultivos tienen rangos de pH óptimos para un crecimiento saludable [18]. Un pH inadecuado puede afectar la disponibilidad de nutrientes en el suelo, ya que algunos nutrientes son más accesibles en ciertos rangos de pH.

#### **2.2.1.2. *Conductividad Eléctrica del Suelo***

La conductividad eléctrica mide la capacidad del suelo para conducir electricidad, lo cual está relacionado con la concentración de sales disueltas [19]. Altos

niveles de conductividad pueden indicar salinidad, lo que puede ser perjudicial para muchos cultivos, ya que dificulta la absorción de agua por parte de las raíces.

#### **2.2.1.3. Concentración de Nutrientes**

La disponibilidad de nutrientes es crucial para el crecimiento de los cultivos. Parámetros como la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio [20] en el suelo son fundamentales, ya que estos elementos son esenciales para procesos metabólicos y el desarrollo de tejidos vegetales.

#### **2.2.1.4. Textura del Suelo**

La textura del suelo se refiere a la proporción de arena, limo y arcilla [21]. Esta composición afecta la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes. La textura influye en la aireación del suelo y en la facilidad con la que las raíces pueden expandirse.

#### **2.2.1.5. Salinidad del Agua de Riego**

La salinidad del agua de riego es un factor crítico, ya que puede afectar directamente la calidad del suelo [22]. El uso de agua con altos niveles de salinidad puede incrementar la concentración de sales en el suelo con el tiempo, afectando la capacidad de los cultivos para absorber agua.

#### **2.2.1.6. Contenido de Materia Orgánica**

La materia orgánica en el suelo es vital para la retención de agua, la mejora de la estructura del suelo y la provisión de nutrientes esenciales [23]. Un contenido adecuado de materia orgánica promueve la actividad microbiana beneficiosa en el suelo.

#### **2.2.1.7. Temperatura del Suelo y del Agua**

La temperatura afecta los procesos biológicos y químicos en el suelo y en las plantas [24]. Las semillas germinan y las plantas crecen mejor dentro de ciertos



rangos de temperatura. Además, la temperatura del agua de riego puede influir en la absorción de nutrientes por parte de las raíces.

#### **2.2.1.8. Capacidad de Retención de Agua**

La capacidad del suelo para retener agua es esencial para mantener la disponibilidad de agua para los cultivos [1]. Suelos con baja capacidad de retención pueden requerir riegos más frecuentes.

El monitoreo y la gestión de estos parámetros fisicoquímicos son fundamentales para mantener un ambiente adecuado para el crecimiento de los cultivos. La comprensión de cómo estos factores interactúan proporciona la base para prácticas agrícolas más efectivas y sostenibles.

#### **2.2.2. Importancia del agua de riego**

El agua de riego es un componente crítico en la agricultura, ya que tiene un impacto directo en el crecimiento y desarrollo de los cultivos. La calidad del agua de riego es esencial, ya que puede afectar la salud de los cultivos de varias maneras [25]. Su función principal es suministrar agua a las plantas cuando la cantidad de precipitación natural no es suficiente para satisfacer sus necesidades hídricas.

Como factores de importancia del agua de riego y cómo los parámetros fisicoquímicos, se pueden destacar aquellos que pueden influir en la absorción de nutrientes por las plantas como lo es el un suministro hídrico esencial, que su salinidad cumpla con los parámetros de calidad, que tenga los nutrientes necesarios que aporten al suelo agrícola, la eliminación de contaminantes del agua que este en el perímetro de esta y de deba ser usado de forma eficiente para los resultados en la producción [2].

##### **2.2.2.1. Suministro Hídrico Esencial**

El agua de riego es esencial para suplir la demanda hídrica de los cultivos, especialmente en regiones donde las precipitaciones no son suficientes para satisfacer las necesidades de las plantas [25]. Un suministro adecuado de agua

asegura el desarrollo óptimo de las plantas y contribuye a altos rendimientos en la agricultura.

#### **2.2.2.2. *Calidad del Agua y Salinidad***

La calidad del agua de riego es crucial. Altos niveles de salinidad en el agua pueden resultar en la acumulación de sales en el suelo, afectando negativamente la absorción de agua por las raíces [26]. Esto puede llevar a un estrés hídrico en las plantas, inhibiendo su crecimiento y disminuyendo la producción.

#### **2.2.2.3. *Impacto en la Disponibilidad de Nutrientes***

Los parámetros fisicoquímicos del agua de riego, como la conductividad eléctrica y la concentración de sales, pueden influir directamente en la disponibilidad de nutrientes en el suelo [20]. Aguas con altos niveles de sales pueden competir con los nutrientes esenciales, afectando la capacidad de las plantas para absorberlos.

#### **2.2.2.4. *pH del Agua y Absorción de Nutrientes***

El pH del agua de riego también es crucial. Aguas con un pH extremadamente ácido o alcalino pueden afectar la solubilidad de los nutrientes en el suelo, alterando su disponibilidad para las plantas [2]. Un pH inadecuado puede conducir a deficiencias nutricionales o toxicidades.

#### **2.2.2.5. *Contaminantes en el Agua***

La presencia de contaminantes como metales pesados, pesticidas u otros compuestos químicos en el agua de riego puede tener efectos perjudiciales en la salud de los cultivos [18]. Estos contaminantes pueden afectar la absorción de nutrientes y comprometer la calidad de los productos cosechados.

#### **2.2.2.6. *Eficiencia en el Uso del Agua***

La eficiencia en el uso del agua es un aspecto clave de la gestión agrícola sostenible [26]. La optimización de la calidad del agua de riego contribuye a una

utilización más eficiente de los recursos hídricos y reduce el riesgo de impactos negativos en el suelo y los cultivos.

A través de estos puntos se puede determinar que, la calidad del agua de riego es fundamental para el éxito de la agricultura. Los agricultores deben monitorear y gestionar los parámetros fisicoquímicos del agua de riego para garantizar un suministro de agua saludable que promueva el crecimiento de los cultivos y optimice la absorción de nutrientes. La comprensión de estos factores contribuye a prácticas agrícolas más sostenibles y a la producción de alimentos de alta calidad.

### **2.2.3. Parámetros de análisis de agua de riego**

El análisis del agua de riego es esencial para garantizar que el agua utilizada en la agricultura sea adecuada para el crecimiento de los cultivos y no cause problemas en el suelo o en las plantas [27]. Los parámetros de análisis del agua para riego varían según las necesidades específicas de los cultivos y la calidad del agua en la región, pero los parámetros más comunes que se evalúan en un análisis de agua para riego agrícola incluyen:

- pH: El pH del agua de riego debe estar en un rango adecuado para los cultivos. En general, un pH ligeramente ácido o neutro (alrededor de 6.5 a 7.5) es óptimo para la mayoría de los cultivos.
- Conductividad eléctrica (CE): La CE mide la concentración de sales disueltas en el agua. Un valor alto de CE puede indicar la presencia de sales solubles, lo que puede aumentar el riesgo de salinidad en el suelo. Los valores de CE deseables varían según el tipo de cultivo y las condiciones del suelo.
- Sodio intercambiable (Na<sup>+</sup>): Un alto contenido de sodio en el agua de riego puede causar problemas de sodicidad en el suelo, lo que afecta la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas.
- Alcalinidad: La alcalinidad mide la capacidad del agua para resistir cambios en el pH. Valores altos de alcalinidad pueden requerir ajustes de pH antes de la aplicación.

- Dureza del agua: La dureza del agua se refiere a la concentración de iones de calcio (Ca) y magnesio (Mg) en el agua. Puede afectar la formación de incrustaciones en los sistemas de riego.
- Contenido de nutrientes: Se evalúa la concentración de nutrientes esenciales como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en el agua de riego. Esto puede ayudar a determinar si el agua de riego proporciona nutrientes adicionales o si es necesario complementar con fertilizantes.
- Contaminantes: Se analiza la presencia de contaminantes como metales pesados, pesticidas y otros químicos que podrían ser perjudiciales para los cultivos o la salud humana.
- Microorganismos patógenos: Se verifica la presencia de microorganismos patógenos en el agua, que pueden causar enfermedades en las plantas o la contaminación de los cultivos.
- Microorganismos beneficiosos: También se puede evaluar la presencia de microorganismos benéficos, como bacterias fijadoras de nitrógeno, que pueden ser beneficiosos para el suelo y los cultivos.
- Turbidez: La turbidez mide la claridad del agua y puede indicar la presencia de partículas suspendidas que pueden obstruir los sistemas de riego.

**TABLA I.**  
**PARÁMETROS DE ESTUDIO DE AGUA PARA RIEGO**

Parámetros	Tipo de recipiente P = plástico V = vidrio VB = vidrio borosilicatado	Técnicas de Conservación	Lugar del Análisis	Tiempo máximo de conservación recomendado antes del análisis. (Si no se especifica el período, es que no es importante. "1 mes" indica que se conserva sin dificultad)	Recomendaciones
DBO (demanda bioquímica de oxígeno)	P o V (es preferible para concentraciones bajas de DBO)	Refrigerar entre 2°C y 5°C, guardar en la oscuridad	Laboratorio	24 h	
Acidez y alcalinidad	P o V	Refrigerar entre 2°C y 5°C	Laboratorio	24 h	De preferencia analizar en el punto de muestreo (especialmente para muestras con altos contenidos de gases disueltos)
Amonio, libre e ionizado	P o V	Acidificar a pH <2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , refrigerar entre 2°C y 5°C  Refrigerar entre 2°C y 5°C	Laboratorio  Laboratorio	24 h  6 h	

Nota. Se ubican los parámetros de estudio de agua de riego y su manejo de análisis [28].

Los resultados del análisis del agua de riego permiten a los agricultores tomar decisiones informadas sobre la gestión del agua y tomar medidas correctivas si es necesario, como la corrección del pH o la selección de métodos de riego adecuados [25]. El análisis del agua de riego es especialmente importante en áreas con agua de calidad variable o en regiones propensas a problemas de salinidad o sodicidad en el suelo.

### **2.2.3.1. Ventajas de contar con parámetros de análisis de agua de riego para cultivos agrícolas**

Contar con parámetros de análisis de agua para riego en la agricultura ofrece diversas ventajas que pueden ser críticas para el éxito de la producción agrícola [29]. Algunas de las ventajas pueden ser:

- Mejora de la calidad del agua: Los análisis de agua permiten identificar problemas de calidad, como altos niveles de salinidad, sodio, pH inadecuado o contaminantes, lo que permite tomar medidas para corregirlos y mejorar la calidad del agua utilizada para el riego.
- Optimización del crecimiento de los cultivos: Al conocer la calidad del agua, los agricultores pueden adaptar las prácticas de riego y ajustar los parámetros según las necesidades específicas de los cultivos, como el pH y la concentración de nutrientes, para promover un crecimiento saludable.
- Reducción del riesgo de salinidad y sodicidad: Los análisis de agua pueden ayudar a prevenir problemas de acumulación de sales en el suelo, lo que puede afectar negativamente la absorción de agua y nutrientes por las plantas.
- Ahorro de costos: Al utilizar agua de riego de mejor calidad, los agricultores pueden evitar problemas de salinidad o sodicidad que requieran la aplicación de enmiendas costosas o la implementación de prácticas de gestión más intensivas.
- Mayor eficiencia en el uso del agua: Conocer la calidad del agua de riego permite ajustar la cantidad y la frecuencia de riego, lo que puede aumentar la eficiencia del uso del agua y reducir el desperdicio.
- Protección del medio ambiente: Al evitar la aplicación de agua de baja calidad que podría llevar contaminantes al suelo y las aguas subterráneas, se contribuye a la protección del medio ambiente.
- Incremento de la rentabilidad: La mejora de la calidad del agua de riego y la adaptación de las prácticas de riego pueden conducir a un aumento en la productividad y calidad de los cultivos, lo que se traduce en una mayor rentabilidad para los agricultores.

- Cumplimiento de regulaciones y estándares: En algunas áreas, existen regulaciones sobre la calidad del agua de riego. El análisis de agua permite a los agricultores cumplir con estas regulaciones y evitar posibles sanciones.
- Manejo sostenible del recurso hídrico: El análisis del agua de riego es fundamental para la gestión sostenible del recurso hídrico, lo que es esencial para mantener la disponibilidad de agua en el futuro.
- Adaptación a condiciones cambiantes: Los análisis de agua proporcionan información que ayuda a los agricultores a adaptarse a cambios en la calidad del agua, como la salinidad que puede aumentar debido a la irrigación repetida.

Es decir que, contar con parámetros de análisis de agua para riego en la agricultura es esencial para garantizar la calidad del agua, mejorar la productividad de los cultivos, reducir costos y promover prácticas agrícolas más sostenibles. El conocimiento de la calidad del agua permite a los agricultores tomar decisiones informadas y gestionar eficazmente uno de los recursos más críticos en la agricultura.

#### **2.2.3.2. $DBO_5$**

El método  $DBO_5$  es una prueba de laboratorio que determina la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en el agua. La  $DBO_5$  es una estimación de la cantidad de oxígeno que necesitan las bacterias y otros microorganismos para degradar la materia orgánica en el agua durante un periodo de 5 días.

##### **CÁLCULOS:**

Los cálculos se realizan mediante la ecuación general de volumetría, teniendo presente que, lo que se mide en la titulación con tiosulfato, es realmente la Concentración de yodo en la mezcla [30]. Sin embargo, en los pasos previos a la titulación el oxígeno disuelto contenido en la muestra ha sido transformado en una cantidad equivalente de yodo.

$$(V_{MUESTRA})(C_{MUESTRA}) = (V_{AGENTE TITULANTE})(C_{AGENTE TITULANTE}) \text{ De donde:}$$

$$\text{Concentración normal de oxígeno en la muestra, CNOM} = \frac{(\text{ml tiosulfato})(0,025 N)}{100 \text{ ml muestra}}$$

$$\text{mg O}_2 / 1 \text{ Muestra} = \text{CNOM} (8000)$$

V= Volumen

C= Cantidad

### 2.2.3.3. Alcalinidad y acidez

#### Preparación estándares de control

Los estándares de control se preparan a partir del estándar primario de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  [30], como se muestra en la Tabla II y III. (Se debe secar 150 mg durante 4 horas y dejar enfriar en un desecador).

**TABLA II.**

#### **DATOS VALIDACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD**

Atributos	Valor	Unidades	Observación
Límite de detección	5,0	mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$	Corresponde al límite de cuantificación
Precisión en términos de %CV	1,8	%	Nivel de concentración bajo
	0,5	%	Nivel de concentración alto
Exactitud expresado como % de error relativo	-	-	-
Rango de trabajo (Lectura Directa)	5,0 - 700	mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$	Sin dilución de la muestra
Intervalo de aplicación del método	601 - 6000	mg $\text{Ca}/\text{L}$	Para una dilución de 10 veces
Recuperación expresado como %	-	-	-
	-	-	-

Nota. Se muestran los datos para analizar la alcalinidad del agua dentro del laboratorio sobre agua potable, agua superficial y agua residual doméstica e industrial [31].



**TABLA III.**

**PREPARACIÓN DE ESTÁNDARES DE CONTROL DE ALCALINIDAD**

Concentración estándar (mg/L)	Mg estándar primario de Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Volumen final (mL)
20	20	1000
100	100	1000

Nota. Se muestra la concentración estándar y el control de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> [31].

**CÁLCULOS Y RESULTADOS**

Para la valoración del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:

$$\text{Normalidad, } N = \frac{A \times B}{53,00 \times C}$$

Donde:

A = g de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> en 1000 mL = g de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> pesados \* 4.

B = mL de solución de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> tomados para la titulación.

C = mL de ácido empleados.

Valoración potenciométrica al pH del punto final:

$$\text{Alcalinidad } mgCaCO_3 = \frac{A \times B \times 5000}{mL \text{ MUESTRA}}$$

A= mL de titulante por muestras

B= Normalidad del ácido estándar.

$$\text{Alcalinidad } d, mgCaCO_3 / L = \frac{A \times t \times 1000}{mL \text{ MUESTRA}}$$

B= título del ácido estándar, mg de CaCO<sub>3</sub> / ml.

Valoración potenciométrica de baja alcalinidad:

$$\text{Alcalinidad total, mg de CaCO}_3/\text{L} = \frac{(2B - C) \times N \times 5000}{\text{mL MUESTRA}}$$

Dónde:

B = ml de valorante al primer pH registrado,

C = total de titulante de mL para alcanzar un pH de 0,3 unidades más bajo

N = Normalidad del ácido.

- Cálculo de las relaciones de alcalinidad.

Los resultados obtenidos a partir de las determinaciones a pH 8,3 y alcalinidad total (pH 4,5) ofrecen un medio de clasificación estequiométrica de las tres formas principales de alcalinidad presentes en muchas aguas.

1-. La alcalinidad de carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) se presenta cuando el volumen de ácido a pH 8,3 no es 0, sino menor que la total.

2-. La alcalinidad de hidróxido ( $\text{OH}^-$ ) se presenta si el volumen de ácido a pH 8.3 supera la mitad de la total.

3-. La alcalinidad de bicarbonato se presenta si el volumen de ácido a pH 8,3 es menor de la mitad de la total.

Estas relaciones pueden calcularse mediante el siguiente esquema, donde P es el volumen gastado a pH 8,3 y T es el volumen gastado a pH 4,5.

**TABLA IV.**

**RESULTADO DE ALCALINIDAD DE AGUA**

Resultado de la titulación	Alcalinidad de hidróxidos como $\text{CaCO}_3$	Alcalinidad de Carbonatos como $\text{CaCO}_3$	Alcalinidad de Bicarbonatos como $\text{CaCO}_3$
P = 0	0	0	T
P < ½ T	0	2P	T - 2P
P = ½ T	0	2P	0
P > ½ T	2P - T	2 ( T-P)	0
P = T	T	0	0

Nota. Se ubican los resultados esperados por alcalinidad del agua [31].

Clave P = alcalinidad de fenolftaleína o a pH 8,3, T = alcalinidad al metil naranja o a pH 4,5.

#### **2.2.3.4. Método Kjeldahl para determinar el nitrógeno total en el agua**

El método Kjeldahl para determinar el nitrógeno total en el agua se basa en la destrucción de la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado [32]. El valor obtenido por este método corresponde a la suma del nitrógeno orgánico (proteínas, ácidos nucleicos, urea, químicos orgánicos sintéticos) y el nitrógeno amoniacal [30]. La medición de este parámetro es exigida por las leyes italianas 319/76 y 650/79 para el vertido de aguas residuales en lagos, directas o indirectas, comprendidas en una franja de 101 km desde la línea de costa (orgánicas + amoniaco + nitroso + nítrico). = 10 mg N/l máximo)- El método Kjeldahl no mide o mide en parte, algunos compuestos nitrogenados: azidas, azocompuestos, hidrazonas, hidracina e hidroxilamina, nitrito y nitrato.

Un suelo de buena fertilidad contiene entre un 2 y un 3% de materia orgánica, principalmente humus, compuesto por entre un 4 y un 6% de nitrógeno [30]. También hay algo de nitrógeno amoniacal (algunas ppm) que debe determinarse por separado y restarse del valor del nitrógeno Kjeldahl obtenido, si se necesita nitrógeno orgánico.

#### **2.2.4. Nutrición del suelo**

El análisis de suelo agrícola es una herramienta fundamental para evaluar la calidad y la capacidad productiva del suelo, así como para determinar los nutrientes y las correcciones necesarias para el crecimiento de cultivos [20]. Los parámetros fisicoquímicos son medidas que describen las propiedades físicas y químicas de un sistema, y en agricultura son fundamentales para entender y gestionar el ambiente en el que crecen los cultivos.

Los parámetros clave que se evalúan en un análisis de suelo agrícola [20] comúnmente son:

- **Textura del suelo:** La textura del suelo se refiere a la proporción de arena, limo y arcilla en el suelo. Esta información es importante para determinar la capacidad de retención de agua y nutrientes del suelo.

- pH del suelo: El pH del suelo mide la acidez o alcalinidad del mismo. Los valores de pH influyen en la disponibilidad de nutrientes para las plantas. La mayoría de los cultivos prosperan en suelos ligeramente ácidos a neutros.
- Materia orgánica: La materia orgánica en el suelo es importante para mejorar la estructura del suelo, retener la humedad y proporcionar nutrientes a las plantas.
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC): La CIC mide la capacidad del suelo para retener y liberar nutrientes a las plantas. Suelos con alta CIC pueden retener más nutrientes, lo que es beneficioso para el crecimiento de los cultivos.
- Macronutrientes: Se analizan los niveles de nutrientes esenciales como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Estos son fundamentales para el crecimiento de las plantas.
- Micronutrientes: Se evalúan los niveles de nutrientes como hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu) y otros micronutrientes, que son necesarios en cantidades más pequeñas, pero igualmente importantes.
- Conductividad eléctrica (CE): La CE se mide para evaluar la salinidad del suelo, lo que puede afectar negativamente a las plantas.
- Contaminantes y metales pesados: Se analizan la presencia de contaminantes como plomo, cadmio y otros metales pesados que pueden ser perjudiciales para la salud de las plantas y la seguridad alimentaria.
- Análisis de suelo a diferentes profundidades: Es importante tomar muestras a diferentes profundidades para comprender las características del suelo en toda la zona de raíces de las plantas.
- Recomendaciones de fertilización: Con base en los resultados del análisis de suelo, se pueden proporcionar recomendaciones específicas de fertilización para corregir deficiencias de nutrientes y optimizar el crecimiento de los cultivos.

Los parámetros de análisis de suelo agrícola pueden variar según la ubicación geográfica y los cultivos específicos que se deseen cultivar [23]. Realizar un análisis de suelo regularmente es esencial para tomar decisiones informadas sobre la gestión de la tierra y la fertilización, lo que puede mejorar la productividad agrícola y minimizar el impacto ambiental.

Los resultados de estos análisis permiten a los agricultores y especialistas en suelos tomar decisiones informadas sobre la gestión del suelo, incluyendo la aplicación de fertilizantes, la corrección del pH, la mejora de la estructura del suelo y otras prácticas agrícolas [30]. Es importante destacar que los requisitos específicos de análisis de suelo pueden variar según la región y el tipo de cultivo, por lo que es recomendable consultar a expertos locales en agronomía o agricultura.

Por su parte, la nutrición del suelo es un componente crítico para el crecimiento saludable de los cultivos. Los nutrientes en el suelo son esenciales para diversas funciones biológicas y metabólicas en las plantas. Estos nutrientes se clasifican en macronutrientes y micronutrientes [24], y cada uno cumple roles específicos en el desarrollo de las plantas.

Los macronutrientes principales que comúnmente se encuentran en el suelo y que según sus cantidades pueden ser absorbidas por las plantas para producir [24] son:

- Nitrógeno (N): Es esencial para la formación de proteínas, ácidos nucleicos y clorofila.
- Fósforo (P): Contribuye al desarrollo de raíces, flores, frutos y semillas, además de participar en la transferencia de energía.
- Potasio (K): Favorece la resistencia a enfermedades, el desarrollo de tejidos y la regulación hídrica.
- Calcio (Ca): Importante para la estructura celular y la formación de paredes celulares.

Por otro lado, están los micronutrientes, aquellos que son mucho más específicos y que dependerá de la zona en la que se encuentre el suelo [24], en la que pueden estar proporcionalmente:

- Hierro (Fe): Esencial para la formación de clorofila y la transferencia de electrones en la fotosíntesis.
- Zinc (Zn): Participa en la síntesis de proteínas y en el desarrollo de las hormonas de crecimiento.
- Manganeso (Mn): Contribuye a la fotosíntesis y al metabolismo del nitrógeno.
- Cobre (Cu): Es necesario para la formación de clorofila y la síntesis de enzimas.

#### **2.2.4.1. Ventajas de un análisis de suelo agrícola y su nutrición**

Realizar un análisis de suelo agrícola tiene numerosas ventajas para los agricultores y productores, ya que proporciona información valiosa que puede mejorar la eficiencia y la rentabilidad de la producción agrícola [24]. Algunas de las principales ventajas de llevar a cabo un análisis de suelo agrícola incluyen:

- Optimización de la fertilización: El análisis de suelo ayuda a determinar la cantidad y el tipo de fertilizantes necesarios para satisfacer las necesidades nutricionales de los cultivos. Esto evita la aplicación excesiva o insuficiente de nutrientes, lo que puede ahorrar dinero y reducir el impacto ambiental.
- Mejora de la calidad de los cultivos: Al garantizar que los nutrientes esenciales estén disponibles en la cantidad adecuada, se pueden obtener cultivos de mayor calidad en términos de tamaño, sabor, textura y valor nutricional.
- Ahorro de costos: Al evitar la aplicación innecesaria de fertilizantes y otros insumos, los agricultores pueden reducir los costos de producción y aumentar la rentabilidad.
- Manejo sostenible del suelo: Los análisis de suelo pueden ayudar a identificar problemas como la erosión, la salinidad o la acidez excesiva, lo que permite implementar prácticas de manejo sostenible del suelo para preservar la salud a largo plazo del suelo.

- Aumento de la eficiencia de riego: Al conocer la capacidad de retención de agua del suelo, los agricultores pueden ajustar sus prácticas de riego para optimizar el uso del agua.
- Reducción del riesgo de contaminación: Los análisis de suelo pueden identificar la presencia de contaminantes, como pesticidas o metales pesados, lo que permite tomar medidas para reducir el riesgo de contaminación de alimentos y aguas subterráneas.
- Toma de decisiones informadas: La información obtenida a partir del análisis de suelo proporciona una base sólida para la toma de decisiones agrícolas, lo que permite a los agricultores planificar estrategias de cultivo más efectivas y sostenibles.
- Adaptación a diferentes cultivos: Los análisis de suelo permiten determinar qué cultivos son más adecuados para una parcela específica, lo que puede ayudar a diversificar la producción y aumentar la rentabilidad.
- Cumplimiento de regulaciones ambientales: En algunas regiones, los análisis de suelo son requeridos por regulaciones ambientales para garantizar la gestión responsable de los recursos naturales.
- Monitoreo a largo plazo: Realizar análisis de suelo de manera regular a lo largo del tiempo permite a los agricultores rastrear cambios en la calidad del suelo y ajustar sus prácticas de manejo en consecuencia.

En resumen, los análisis de suelo agrícola son una herramienta esencial para optimizar la producción agrícola, mejorar la calidad de los cultivos y promover prácticas sostenibles de manejo del suelo. Estas ventajas ayudan a los agricultores a maximizar su rentabilidad y a contribuir a la sostenibilidad de la agricultura a largo plazo.

#### **2.2.5. Monitoreo y evaluación de parámetros fisicoquímicos en el suelo y el agua de riego**

El monitoreo y evaluación de los parámetros fisicoquímicos en el suelo y el agua de riego son esenciales para comprender y gestionar la salud del sistema

agrícola [26]. Algunas técnicas y métodos comunes utilizados para este propósito pueden ser en el monitoreo de parámetros fisicoquímicos en el suelo:

3. Toma de Muestras: La toma de muestras es crucial y debe ser representativa de la zona que se está evaluando. Se extraen muestras de suelo de diferentes profundidades y ubicaciones para obtener una imagen completa de la variabilidad del suelo.
4. Análisis de pH: Se realiza utilizando tiras reactivas o equipos de laboratorio. La medición del pH proporciona información sobre la acidez o alcalinidad del suelo, lo que afecta la disponibilidad de nutrientes.
5. Análisis de Textura del Suelo: Se determina mediante la prueba del frasco, utilizando una combinación de agua y detergente para separar las partículas de suelo. La proporción de arena, limo y arcilla se evalúa para comprender la textura del suelo.
6. Análisis de Nutrientes: Se realiza a través de análisis químicos en laboratorio para medir la concentración de nutrientes en el suelo. Esto incluye macronutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, así como micronutrientes como hierro, zinc y manganeso.
7. Determinación de la Conductividad Eléctrica (CE): La CE se mide para evaluar la salinidad del suelo. Se utiliza un conductímetro para medir la capacidad del suelo para conducir electricidad.
8. Muestreo Espacial: Se emplean técnicas de muestreo espacial, como la geoestadística, para comprender la variabilidad espacial de los parámetros del suelo en un área más grande.

También están aquellos que son exclusivos para el monitoreo de parámetros fisicoquímicos en el agua de riego [22]:

1. Toma de Muestras de Agua: Al igual que en el suelo, es crucial tomar muestras de agua de manera representativa. Se deben considerar factores como la profundidad y la ubicación en la fuente de agua.
2. Análisis de pH del Agua: Similar al análisis de suelo, el pH del agua se mide para comprender la acidez o alcalinidad. Pueden utilizarse tiras reactivas o equipos de laboratorio.



3. **Análisis de Salinidad:** Se mide la concentración de sales en el agua para evaluar su salinidad. Esto se realiza mediante métodos como la conductimetría o la espectroscopia.
4. **Determinación de Contaminantes:** Se realizan análisis químicos para identificar y cuantificar contaminantes presentes en el agua, como metales pesados o productos químicos nocivos.
5. **Análisis Microbiológicos:** En ocasiones, se realizan pruebas microbiológicas para detectar la presencia de microorganismos patógenos en el agua.

#### **2.2.5.1. Importancia de la Toma de Muestras Representativas**

Entre lo que se debe considerar, es el hecho que las muestras representativas de agua y suelo promueven una mejor eficiencia en la gestión de la agricultura [18], porque con ello, se estima un mayor control sobre la nutrición y aporte que tienen estos recursos para las plantas que se alimentan de estos. Entre las características más importantes están:

- **Exactitud en los Resultados:** Las muestras representativas garantizan que los resultados del análisis sean precisos y reflejen con precisión las condiciones reales del suelo y el agua.
- **Gestión Efectiva:** Las muestras representativas permiten una gestión más efectiva al proporcionar una visión más completa de la variabilidad en un área determinada.
- **Toma de Decisiones Informada:** Con muestras representativas, los agricultores y científicos pueden tomar decisiones más informadas sobre prácticas agrícolas, gestión del agua y aplicación de fertilizantes.
- **Detección de Problemas Locales:** Las muestras representativas identifican problemas locales específicos, lo que permite abordar problemas puntuales y aplicar soluciones específicas.

Con esto se puede describir que el monitoreo efectivo de los parámetros fisicoquímicos en el suelo y el agua de riego implica la toma de muestras representativas y la utilización de métodos analíticos adecuados. Esta

información es fundamental para la toma de decisiones informada y la implementación de prácticas agrícolas sostenibles.

#### **2.2.6. Granja experimental**

La elección de una granja experimental como proceso de estudio en el sistema agrícola, proporciona un entorno controlado y representativo para investigar la optimización de cultivos a través del monitoreo de parámetros fisicoquímicos en el suelo y el agua de riego [33]. En el contexto de esta investigación, una granja experimental se convierte en un escenario relevante y significativo por varias razones.

La granja experimental al estar situada en un entorno específico, con características edafoclimáticas únicas, aborda un mejoramiento de esta zona [34]. Investigar en este entorno permite considerar factores locales que podrían influir en la productividad agrícola y optimizar las prácticas de cultivo de manera adaptada a las condiciones regionales.

También proporciona la ventaja de tener recursos controlados, lo que permite realizar experimentos más precisos y reproducibles. Se pueden aplicar cambios específicos en los parámetros fisicoquímicos del suelo y del agua para evaluar directamente su impacto en los cultivos. Ofrece la posibilidad de implementar sistemas de monitoreo continuo de parámetros fisicoquímicos. Esto facilita la recopilación de datos a lo largo del tiempo, lo que es esencial para entender las variaciones estacionales y sus efectos en el rendimiento de los cultivos.

La granja experimental, regularmente al ser parte de una institución académica, generalmente cuenta con una infraestructura de investigación bien establecida. Esto incluye laboratorios, equipos especializados y personal técnico que facilitan la realización de análisis detallados [33]. Mientras que, los resultados obtenidos en la granja experimental pueden ser más fácilmente extrapolados a otras áreas de la región, ya que comparten características similares. Esto hace que la investigación sea más relevante y aplicable a la agricultura local.

### **2.2.6.1. Aplicabilidad de la granja experimental a la Agricultura en General**

Los resultados de la investigación de una granja experimental pueden tener amplias aplicaciones en la agricultura en general [34], tales como:

- **Desarrollo de Buenas Prácticas Agrícolas:** Los hallazgos pueden contribuir al desarrollo de buenas prácticas agrícolas específicas para la región, optimizando el uso de recursos y mejorando la sostenibilidad.
- **Adaptabilidad a Diferentes Entornos:** Los principios y estrategias derivados de la investigación pueden ser adaptados para su aplicación en otras áreas con condiciones edafoclimáticas similares, ofreciendo soluciones efectivas para agricultores en diferentes contextos.
- **Mejora de la Eficiencia de Recursos:** Las recomendaciones basadas en la investigación pueden ayudar a los agricultores a mejorar la eficiencia en el uso de agua y nutrientes, reduciendo los costos y minimizando el impacto ambiental.
- **Transferencia de Conocimientos:** La investigación en la granja experimental puede servir como plataforma para la transferencia de conocimientos a agricultores locales, extensionistas agrícolas y otros actores relevantes en la comunidad agrícola.
- **Contribución a la Investigación Científica:** Los resultados pueden contribuir al cuerpo de conocimientos científicos relacionados con la optimización de cultivos, nutrición del suelo y gestión del agua, beneficiando a la comunidad científica y agrícola en general.

En consecuencia, una granja experimental proporciona un contexto valioso para la investigación en diferentes formas, y los resultados obtenidos tienen el potencial de influir positivamente en las prácticas agrícolas no solo en el ámbito local, sino también en la agricultura en general, contribuyendo al desarrollo sostenible y eficiente de la producción de alimentos, y a la mejora continua en el formato académico.

### **2.2.7. NTE INEN 2176:2013**

La norma NTE INEN 2176:2013 proporciona directrices relacionadas con las técnicas de muestreo empleadas para obtener la información necesaria en los análisis de control de calidad de aguas naturales, aguas contaminadas y aguas residuales con el propósito de su caracterización [35].

En cuanto a las muestras puntuales, estas son individuales y se recopilan manual o automáticamente, ya sea en la superficie del agua, a una profundidad específica o en el fondo. Cada muestra representa típicamente la calidad del agua en un momento y lugar determinados. El muestreo automático implica la toma de una serie de muestras en intervalos preestablecidos o según el flujo.

Se sugiere utilizar muestras puntuales en situaciones donde el flujo de agua no es uniforme, los valores de los parámetros de interés varían o hay diferencias entre la muestra individual y compuesta debido a reacciones entre ellas. Estas muestras son apropiadas para investigar posibles contaminaciones, determinar su extensión o identificar momentos específicos del día con presencia de contaminantes. También son esenciales cuando el objetivo del programa de muestreo es estimar si la calidad del agua cumple con los límites o se desvía del promedio de calidad.

En cuanto a los tipos de muestreo, se destacan diversas situaciones, algunas de las cuales pueden abordarse con una simple muestra puntual, mientras que otras pueden requerir equipos de muestreo más avanzados.

Las características del equipo de muestreo son cruciales, y se subraya la importancia de que el recipiente proteja la composición de la muestra contra pérdidas por adsorción, volatilización o contaminación. La elección del recipiente debe considerar factores como resistencia a temperaturas extremas, facilidad de manejo, tamaño, forma, peso, disponibilidad y costo. También se señala la necesidad de precauciones al conservar muestras congeladas, recomendando el uso de recipientes específicos para diferentes análisis.

En cuanto a los recipientes para muestras, se mencionan recipientes normales, como botellas de polietileno y vidrio de borosilicato, adecuados para análisis

físicos y químicos de aguas naturales. También se destacan recipientes especiales, como los de materiales opacos o de vidrio no actínico, recomendados para muestras que contienen materiales fotosensibles. Se enfatiza la importancia de elegir recipientes inertes química y biológicamente para prevenir reacciones no deseadas entre los constituyentes de la muestra y el recipiente. Se abordan consideraciones adicionales, como la reducción de la contaminación en la muestra y la facilidad de limpieza de los recipientes.

En resumen, la norma busca asegurar la representatividad y calidad de las muestras, minimizando contaminaciones y garantizando la integridad de los datos obtenidos en los análisis de calidad del agua.

## **CAPÍTULO 3**

### **3. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Enfoque de la investigación**

##### **3.1.1. Tipo de investigación**

Este estudio corresponde a una investigación experimental, exploratoria y documental debido a que abarca un análisis estadístico con pruebas controladas sobre información específica de un área no antes estudiada y una revisión bibliográfica para entender los procesos causales.

##### **3.1.2. Diseño de investigación**

Investigación experimental de paradigma cuantitativo en la cual se evalúan hipótesis para determinar si los resultados de los ensayos fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de agua y suelo aportan al desarrollo de la optimización del rendimiento productivo de los cultivos de la zona.

#### **3.2. Metodología**

Las metodologías utilizadas en la investigación fueron de tipo cuantitativa para reunir datos fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de suelo y agua agrícola. Se aplicaron análisis de pH, conductividad, TDS, oxígeno disuelto por sonda Hach y espectroscopía de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) para la determinación simultánea de 24 metales pesados. Así como, difusión en placa y la aplicación de petrifilm para el análisis microbiológico de las muestras.

##### **3.2.1. Variables**

###### **Variable independiente**

Muestras de agua de riego y suelo para evaluar la sostenibilidad agrícola de la zona.

## Variable dependiente

Resultados de los ensayos fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras analizadas.

**TABLA V.**  
**OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

<b>VARIABLES</b>	<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>DIMENSIÓN</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>METODOLOGÍA</b>
<b>Variable independiente: Muestras de agua de riego y suelo agrícola.</b>	El agua y suelo desempeñan un papel importante en la seguridad alimentaria y producción agrícola.	Evaluación de la calidad del agua y suelo agrícola.	Cantidad de muestra (mg y ml).	Recolección de muestras aleatoria y pretratamiento.
<b>Variable dependiente: Resultados de los ensayos fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras analizadas.</b>	La valoración de parámetros permite identificar y vigilar posibles contaminantes.	Métodos para determinar las condiciones de las muestras.	Valores de pH, capacidad para conducir corriente eléctrica en relación a las sales ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), cantidad de oxígeno disponible y concentración de sólidos disueltos (mg/L), valores de metales pesados, macro y micronutrientes (mg/kg), y presencia de microorganismos.	Análisis de pH, conductividad, TDS, oxígeno disuelto por sonda de Hach, ICP-OES, difusión en placa y aplicación de petrifilm

### 3.2.2. Recolección de datos

Para el procesamiento y recolección de datos se utilizaron programas como Excel, Qtegra Software, SPSS y VarioMACROcube.

### 3.3. Métodos y técnicas

#### Muestreo de suelo agrícola

Para la recolección de muestras se realizó un croquis de los lotes del terreno que englobaban las zonas de huerto y frutales con impacto agrícola, y se delimitaron 10 puntos de muestreo de forma aleatoria en forma de zigzag manteniendo una distancia de 10 metros entre cada muestra.

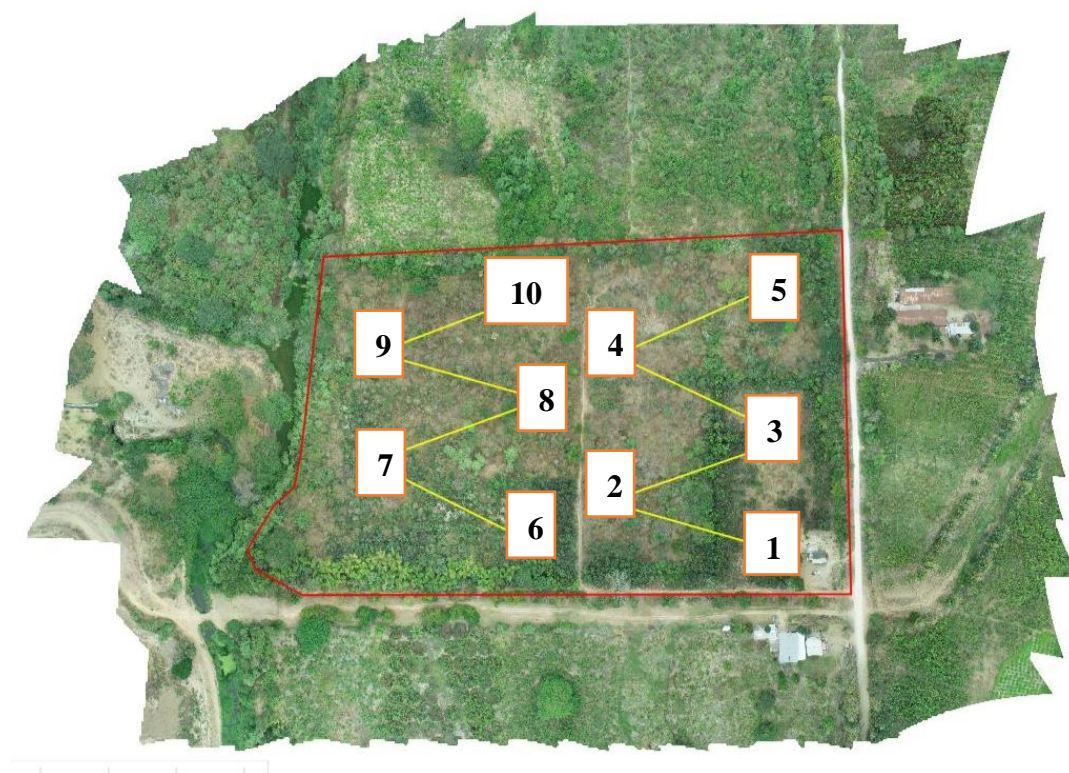


Fig. 1. Zonas de muestreo del terreno agrícola

Las muestras consistieron en 500 g de suelo que se tomaron con una pala mango anilla a 20 cm de profundidad y fueron almacenadas en fundas Ziplock con su respectiva etiqueta siguiendo el procedimiento redactado por Mendoza y Espinoza [36].

- a) Disponer de un croquis de la zona con los lotes enumerados.
- b) Eliminar piedras y posibles especies vegetales de la superficie de muestreo.



- c) Realizar con la pala un hueco en forma de “V” a 20 cm de profundidad.
- d) Depositar de 2 a 3 porciones de muestra en un balde plástico y mezclar.
- e) Recolectar 500 g de muestra y colocarlo en fundas Ziplock previamente etiquetadas.

**TABLA VI.**

**UBICACIONES DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE SUELO**

<b>Muestra</b>	<b>Coordenadas</b>
1	2°14'39.53"S – 80°6'41.62"O
2	2°14'42.26"S – 80°6'41.62"O
3	2°14'41.14"S – 80°6'45.39"O
4	2°14'43.69"S – 80°6'45.67"O
5	2°14'45.61"S – 80°6'41.88"O
6	2°14'39.29"S – 80°6'35.44"O
7	2°14'41.17"S – 80°6'39.72"O
8	2°14'43.12"S – 80°6'35.69"O
9	2°14'44.61"S – 80°6'40.01"O
10	2°14'46.01"S – 80°6'35.82"O

Nota. La tabla muestra las coordenadas de recolección de muestras de suelo en la granja experimental

**Muestreo de agua agrícola**

Se recolectaron 4 muestras de agua en botellas Winkler de 250 ml de forma aleatoria y en zigzag a lo largo del canal de la finca agroecológica basado en las normas establecidas por la NTE INEN 2176:2013.

**TABLA VII.**

**UBICACIONES DE LAS MUESTRAS DE AGUA**

<b>Muestra</b>	<b>Coordenadas</b>
1	17 M 0598542 - UTM 9751678
2	17 M 0598551 - UTM 9751656
3	17 M 0598549 - UTM 9751634
4	17 M 0598561 - UTM 9751614

El procedimiento de recolección consistió en la metodología redactada por Cárdenas [37]:

- a) Sumergir la botella Winkler cerrada dentro del cuerpo acuífero.
- b) Destapar la botella hasta que se llene por completo.
- c) Sellar la botella y sacarla a la superficie manteniendo un exceso de muestra en el cabezal cónico.
- d) Conservar en hieleras a 4-8°C para evitar la luz del sol.

Adicional, se realizó la toma de 2 muestras de agua obtenidas de una llave de agua potable de la finca ESPOL ubicada en la coordenada 2°14'43.8"S 80°06'40.6"W. El procedimiento fue:

- a) Abrir la llave y dejar correr el agua por 5 minutos.
- b) Realizar dos veces un lavado del envase con el agua de muestreo.
- c) Tomar la muestra hasta el máximo del envase.
- d) Sellar y conservar en una hielera a 4-8°C.

**Análisis fisicoquímicos**

**Potencial de Hidrógeno (pH)**

Las lecturas de pH de las 4 muestras de agua se realizaron *in situ* tanto en superficie como en profundidad con el potenciómetro portátil:

- a) Calibrar el equipo con los reactivos estándar.
- b) Medir pH de la superficie del punto de muestreo.
- c) Sumergir el electrodo a 30 cm de la superficie y medir el pH.
- d) Lavar el electrodo después de cada medición con agua tipo 1.

### **Conductividad, Sólidos Disueltos Totales y Salinidad**

Se registraron lecturas *in situ* por triplicado con el equipo multiparámetros OAKTON PCTSTestr 50™ para las muestras de agua superficial y profunda con base en el siguiente procedimiento:

- a) Calibrar el equipo previo a cada análisis.
- b) Medir el parámetro de conductividad con el equipo en la superficie y profundidad del agua de cada punto de muestra.
- c) Lavar el electrodo del equipo con agua tipo 1 posterior a cada toma de muestra.
- d) Realizar los pasos b y c para los parámetros de Sólidos Disueltos Totales y Salinidad.

### **Oxígeno Disuelto por sonda de Hach**

La recolección de datos para oxígeno disuelto mediante sonda de Hach en agua superficial y profunda consiste en:

- a) Conectar la sonda al medidor.
- b) Calibrar el equipo para asegurar precisión en los resultados.
- c) Colocar la sonda en la muestra (superficial y profunda) y agitar de forma suave.
- d) Mover la sonda de arriba a abajo para eliminar las posibles burbujas de aire del protector del sensor.
- e) Realizar la lectura de las muestras y guardar los datos de forma automática en los registros del equipo.
- f) Aclarar la sonda del equipo con agua tipo 1.
- g) Repetir los pasos c, d y e para mediciones adicionales.

### **Temperatura**

Se realizó la medición de temperatura de los 4 puntos de muestra acuíferas mediante el uso de un termómetro digital:

- a) Identificar la zona de muestreo superficial.
- b) Introducir hasta la mitad la sonda del termómetro.
- c) Realizar la medición de temperatura.
- d) Repetir los mismos pasos para los otros puntos de muestreo.

### **Determinación de nitrógeno y carbono en muestras de suelo**

El procedimiento se realizó mediante el método Dumas del equipo Analizador Carbón/Nitrógeno [38] que consiste en:

- a) Verificar la presencia de todos los reactivos.
- b) Encender el equipo y abrir el programa VarioMACROCube.
- c) Realizar una prueba de fuga en frío.
  - Seleccionar Rought Leak Test de las opciones de diagnóstico del equipo.
  - Cerrar la entrada de oxígeno, sacar la pieza 9 y colocar un tapón.
  - Iniciar la prueba.
  - Al finalizar la prueba colocar la pieza 9.
  - Abrir la entrada de oxígeno al equipo y cerrar la ventana.
- d) Calentar los hornos.
  - Seleccionar la opción Parameters de la lista de configuración del equipo.
  - Configurar el tubo de combustión a 960°C, el tubo de reducción a 830°C y el tubo de post combustión a 900°C.
  - Iniciar el calentamiento de hornos.
- e) Realizar una prueba de fuga en caliente como se detalla en el paso c.
- f) Cargar las muestras y el blanco en el carrusel.
  - Pesar 150 mg de suelo en un papel de estaño.
  - Envolver el contenido y presionar con un pequeño martillo.
  - Colocar las muestras en el carrusel.
- g) Detallar peso y método de análisis (nitrógeno y carbono).
- h) Apagar los hornos, el equipo y el administrar el software.

### **Determinación de concentración de metales pesados**

#### **Digestión ácida por microondas bajo la norma EPA 3051 para suelos**

Se prepararon las muestras de suelo previo a la digestión ácida mediante secado, molienda y tamizaje como lo describe Giralda [39] en sus análisis:

- a) Armar 10 recipientes de aluminio en forma de canasta.
- b) Colocar las muestras de suelo agrícola en cada recipiente.
- c) Ubicar los recipientes dentro de bandejas de metal con su respectiva codificación de muestra.
- d) Llevar las muestras a la estufa por 3 días a una temperatura de 110°C.
- e) Triturar y moler el contenido de cada muestra en morteros de porcelana para eliminar rastros de rocas, plantas o basura.
- f) Utilizar un tamiz de Pinzuar Granotest ASTM-11 de 75 µm de apertura para eliminar residuos gruesos de las muestras.

Para el proceso de digestión ácida de las muestras de suelo se siguió las instrucciones detalladas en la normativa EPA 3051 [39]:

- a) Pesar 0,5 g de cada muestra en la balanza analítica.
- b) Trasvasar a los tubos de digestión.
- c) Agregar 9 ml de ácido nítrico concentrado libre de metales y 3 ml de ácido clorhídrico concentrado en la cabina de flujo laminar.
- d) Preparar un blanco con las cantidades descritas en el paso c.
- e) Sellar los tubos de digestión y colocarlos en el tambor del equipo digestor CEM MARS 6.
- f) Programar la normativa EPA 3051 bajo condiciones de reacción específicas detalladas en la Tabla VIII.

**TABLA VIII.**

**PARÁMETROS DE REACCIÓN DE LA NORMA EPA 3051 PARA DIGESTIÓN ÁCIDA DE SUELOS**

<b>Etapa</b>	<b>Temp (°C)</b>	<b>Ramp (mm:ss)</b>	<b>Mantener (mm:ss)</b>	<b>Presión (psi)</b>	<b>Potencia (W)</b>	<b>Movimiento</b>
1	175	5:30	4:30	800	900 - 1800	Apagado

Nota. CEM MARS 6 Method Note Compendium [34].

- g) Dejar enfriar los tubos digestores en la cabina de flujo laminar una vez culminado el proceso de digestión en el equipo.
- h) Filtrar al vacío las muestras resultantes con papel filtro libre de cenizas.
- i) Aforar con ácido nítrico libre de metales al 2% en matraces aforados de 50 ml.
- j) Sellar con parafilm y conservar en refrigeración a 4°C hasta el día del análisis.

### **Cuantificación de metales pesados, macro y micro nutrientes mediante tecnología ICP-OES**

La determinación de los siguientes parámetros consistió en [40]:

- a) Preparar disoluciones estándares para todos los elementos del análisis.
- b) Realizar la lectura de los estándares y elaborar la recta de calibración.
- c) Codificar las posiciones de cada muestra en el automuestreador para su detección en el equipo ICP-OES.
- d) Procesar los resultados del estudio reflejados en el software Qtegra.

### **Análisis microbiológico**

Se realizaron pruebas de tipo microbiológicas de bacterias, mohos y levaduras al sedimento y agua que se utiliza para riego agrícola, se emplearon técnicas como la de difusión en placa y la aplicación de petrifilm.

#### **Difusión en placa**

Para el procedimiento de difusión en placa se realizaron los siguientes pasos tanto para las muestras de agua como para muestras de sedimento de la orilla del canal:

- a) Preparar medios de cultivos SDA y EMB en placas de Petri plásticas.

- b) Preparar dilución de las muestras en vasos de precipitación.
  - 10 ml de muestra de agua con 90 ml de agua tipo 1.
  - 10 g de muestra de sedimento con 90 ml de agua tipo 1.
- c) Sembrar 1 ml de cada dilución en los medios SDA y EMB.
- d) Incubar los medios de cultivo EMB a 37°C por 24 horas.
- e) Incubar los medios de cultivo SDA a 24°C por 48-72 horas.

### **Aplicación de petrifilm**

El conteo de colonias de bacterias, mohos y levaduras se realizó en base al siguiente procedimiento:

- a) Preparar diluciones hasta  $10^{-3}$  de las muestras de agua.
  - Colocar 1 ml de muestra de agua en un tubo de ensayo con 9 ml de agua tipo 1 o agua estéril.
  - Homogenizar la dilución y rotularla como  $10^{-1}$ .
  - Extraer 1 ml de la dilución  $10^{-1}$  y colocarlo en otro tubo de ensayo, al cual se le agregan 9 ml de agua tipo 1 o agua estéril.
  - Homogenizar la dilución y rotularla como  $10^{-2}$ .
  - Repetir los dos pasos previos hasta llegar a la dilución esperada.
- b) Preparar diluciones hasta  $10^{-3}$  de las muestras de sedimento siguiendo los pasos del apartado A.
  - La dilución inicial se prepara con 1 g de muestra de sedimento y 9 ml de agua tipo 1 o agua estéril.
- c) Sembrar 1 ml de la dilución  $10^{-3}$  de cada muestra en 3M Placas Petrifilm para el recuento de mohos y levaduras, y en Placas Petrifilm R.C para el recuento de Coliformes Totales.
- d) Incubar las placas de Coliformes Totales a 37°C por 24 horas.
- e) Incubar las placas de mohos y levaduras a 24°C por 120 horas.

### **3.4. Recursos**

#### **Equipos**

Los equipos utilizados para los análisis fisicoquímicos de las muestras fueron:

- Mutiparámetro de marca OAKTON PCTSTestr 50™.
- Potenciometro portátil marca Hach modelo HQ1110.
- Termómetro digital marca Hanna Instruments.
- Medidor de oxígeno disuelto por sonda Hach.
- Analizador Carbón/Nitrógeno marca Elementar.
- Balanza analítica marca Sartorius modelo ENTRIS224-1S.
- Placa de calentamiento y agitación marca Thermo Scientific modelo Cimarec.
- Estufa marca Memmert UUSS.
- Incubadora Elos Breed B055N.
- Digestor CEM MARS 6.
- Cabina de flujo laminar marca BIOBASE modelo BBSH1800.
- Bomba de vacío marca Gast modelo DOA-P704-AA.
- Espectrómetro de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) marca Thermo Fisher modelo iCAP 7000 plus.

#### **Materiales**

- Matraces aforados de 50 ml.
- Micropipetas graduadas 10 ml.
- Micropipetas graduadas 1 ml.
- Morteros de porcelana con pistilo.
- Tubos de digestión de Teflón PFA 55 ml.
- Vasos de precipitación de 50 ml.
- Bandejas de metal.
- Balde plástico.
- Agitador magnético.
- Botellas Winkler de 250 ml.
- Vidrio reloj.



- Papel filtro libre de cenizas.
- Embudos de vidrio.
- Kitasatos de 250 ml.
- 3M Placas Petrifilm para el recuento de mohos y levaduras.
- Placas Petrifilm R.C para el recuento de Coliformes Totales.
- Placas de Petri plásticas.
- Asa triangular de vidrio.

### **Reactivos**

- Agua tipo 1.
- Ácido clorhídrico concentrado.
- Ácido nítrico libre de metales concentrado.
- Ácido nítrico libre de metales al 2%.
- Medio de cultivo SDA.
- Medio de cultivo EMB.
- Gas argón 99,99%, grado 5,0 ultrapuro.
- Gas nitrógeno 99,99%, grado 5,0 ultrapuro.
- Gas oxígeno puro, 2 bar.

### **3.5. Análisis estadístico**

Se calcularon medidas de tendencia central, desviación estándar, valores mínimos y máximos mediante diagramas de barras para los parámetros fisicoquímico, y coeficiente de variación representados en diagramas de cajas y bigotes para los resultados de concentración de metales pesados, macro y micronutrientes, así como, un Análisis de Componentes Principales (ACP).

## CAPÍTULO 4

### 4. RESULTADOS

#### 4.1. Diseño de plan de muestreo acorde a la NTE INEN 2176:2013

La selección de los puntos de muestreo para agua se realizó según características definidas dentro de un área representativa como lo recomienda la normativa INEN 2176:2013 [35]; como flujo del agua, profundidad y tiempo de muestreo, cultivos previos en el suelo, parámetros a evaluar, e impacto en el estudio. Los equipos de muestro utilizados fueron de categoría automática con el objetivo de llenar, calentar, enfriar, conservar y proteger las muestras para impedir su contaminación [36].

Escobar et al. [63] y Álvarez y Sánchez [62], realizaron sus investigaciones sobre la calidad fisicoquímica del agua de la Laguna del Colta en Chimborazo y la calidad del agua del río Casacay de El Oro, respectivamente, basados en las características de muestreo detallado por la norma NTE INEN 2169:2013 y 2176:2013, las cuales permiten obtener representatividad de la zona intervenida para la evaluación de parámetros como oxígeno disuelto, pH, conductividad, TDS y temperatura.

Las descripciones de las áreas de muestreo de las investigaciones mencionadas presentan características similares a las de la finca ESPOL, lo que corrobora que la técnica de muestreo utilizada es la más adecuada para la obtención de resultados confiables sobre la calidad de agua de riego.

##### 4.1.1. Objetivo General.

Diseñar un proceso adecuado para la toma, preservación, y transporte de la muestra del agua del canal y de riego para el estudio de los parámetros a analizar.

##### 4.1.2. Descripción del plan d muestreo.

- Materiales y equipo: Previamente se preparó todo el material para el muestreo tomando en cuenta la normativa y las consideraciones para la correcta preservación de la muestra. Se realizó el correcto análisis in situ previo a la calibración e los equipos.

- Etiquetado y apuntes: Las etiquetas fueron impresas de un material adhesivo para evitar falsas identificaciones de acuerdo a los puntos que se tomaron. Se realizó un formato para tomar los resultados de las pruebas in situ tomando en consideración los muestras por duplicados dándoles un código a cada una de ellas.
- Toma y recolección de las muestras: El muestreo se realizó mediante un proceso ordenado, claro, simple guiándonos bajos la normativa ecuatoriana. Primero llenando los formatos realizados, registrando las coordenadas de cada punto y se procedió a tomar las muestras in situ. También se registró la fecha y las condiciones ambientales. Se procedió a llenar las botellas de vidrio con capacidad de 1 litro para los estudios analizados en el laboratorio de la Universidad Salesiana tomando en cuenta la correcta preservación de las muestras a una temperatura de 4°C.

#### **4.2. Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos para las muestras de agua y suelo acorde al plan de muestreo mediante técnicas espectroscópicas, gravimétricas y electroquímicas**

A continuación, se explican los resultados de las muestras tomadas y el análisis realizado en agua y suelo en la granja experimental de la Escuela Politécnica del Litoral – ESPOL.

##### **4.2.1. Resultados de parámetros fisicoquímicos en muestras de agua**

En la Anexo 1 se representan los parámetros fisicoquímicos para evaluar la calidad del agua de riego agrícola de la Granja Experimental de la ESPOL tomando en consideración el valor mínimo, máximo, media y desviación estándar en comparación con la Norma de Criterios de Calidad de Recurso del Agua del Ministerio del Ambiente [41].

Mediante los resultados de los parámetros analizados se puede comentar que las condiciones del agua de riego agrícola no representan ningún riesgo ambiental dado que se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por la norma.

#### 4.2.2. pH y Oxígeno Disuelto

Los resultados del promedio de pH y oxígeno disuelto obtenidos de los dos días de muestreo de agua de riego obtenido del canal de la finca para muestras superficiales y profundas se representan en las Figuras 2 y 3. Los datos de las dos muestras de agua obtenidas de la llave reflejaron valores iguales que corresponden a pH 6,05 y 3,72 mg/L.

En la Figura 2 y 3, se observa un pH básico en donde el valor más alto corresponde a 8,01 para agua superficial y 8,0 para agua profunda de los puntos 3 y 4 de muestreo, estos datos se encuentran dentro del rango permisible planteado por el criterio de calidad de aguas para uso agrícola en riego según la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua del Ministerio del Ambiente del Ecuador que establece un rango de pH 6 a 9 [41]. Estos valores alcalinos se asemejan a los resultados obtenidos por Ortiz et al. [42], Quinteros et al. [43], Delgado [44], Sánchez [45], Nugra et al. [46], que obtuvieron una variación de pH entre 7,1 a 8,18; la posible razón de la alcalinidad del pH de las muestras se debe a la erosión del suelo y rocas que aumenta las concentraciones de iones de sodio, bicarbonatos y carbonatos.

Así mismo, se puede determinar que los niveles de oxígeno disuelto se encuentran dentro de los estándares de calidad para muestras de agua superficial y profunda con una valoración de 5,89 a 6,06 mg/L y 5,89 a 6,10 mg/L respectivamente. En el estudio realizado por Sánchez [45], se encontraron valores entre 67,10% y 72,90%, los cuales indican una buena calidad del agua y un riesgo bajo de contaminación por materia orgánica o actividad bacteriana. Sin embargo, Enrique et al. [47], presentó valores inferiores al límite permisible de la categoría 3 y 4 del Estándares de Calidad Ambiental (ECA) con datos en un rango de 3,3 a 4,0 mg/L, en donde expusieron que el motivo de esos valores es la saturación del suelo.

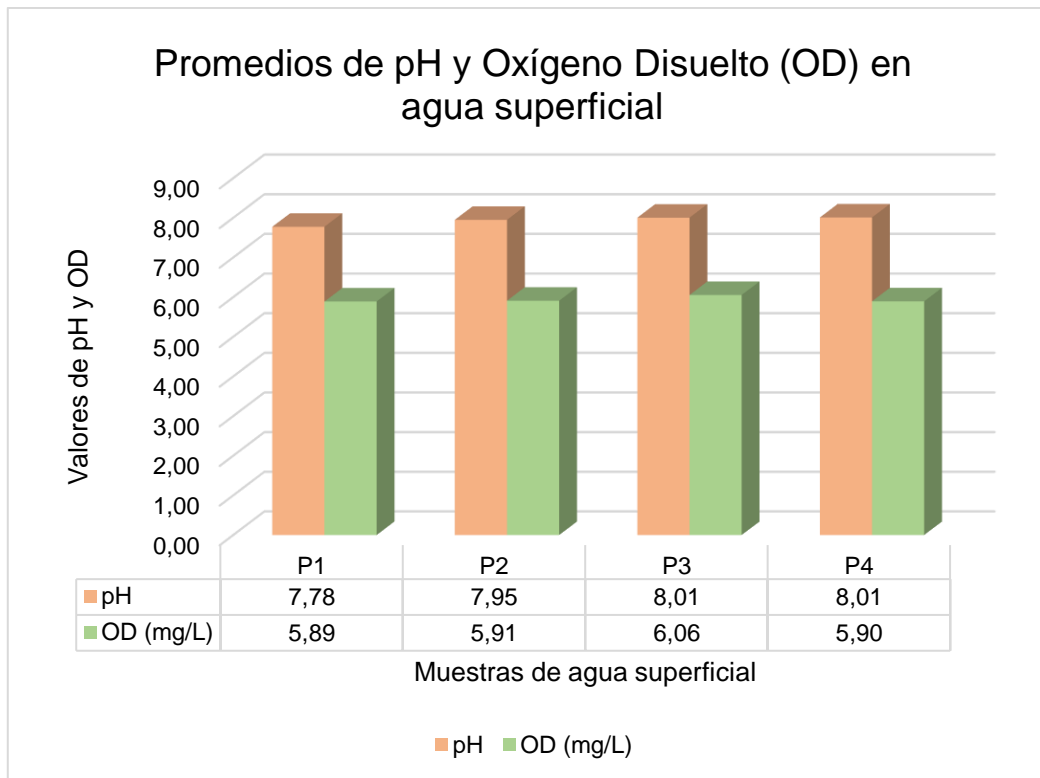


Fig. 2. Valoración de pH y Oxígeno Disuelto en muestras de agua superficial.

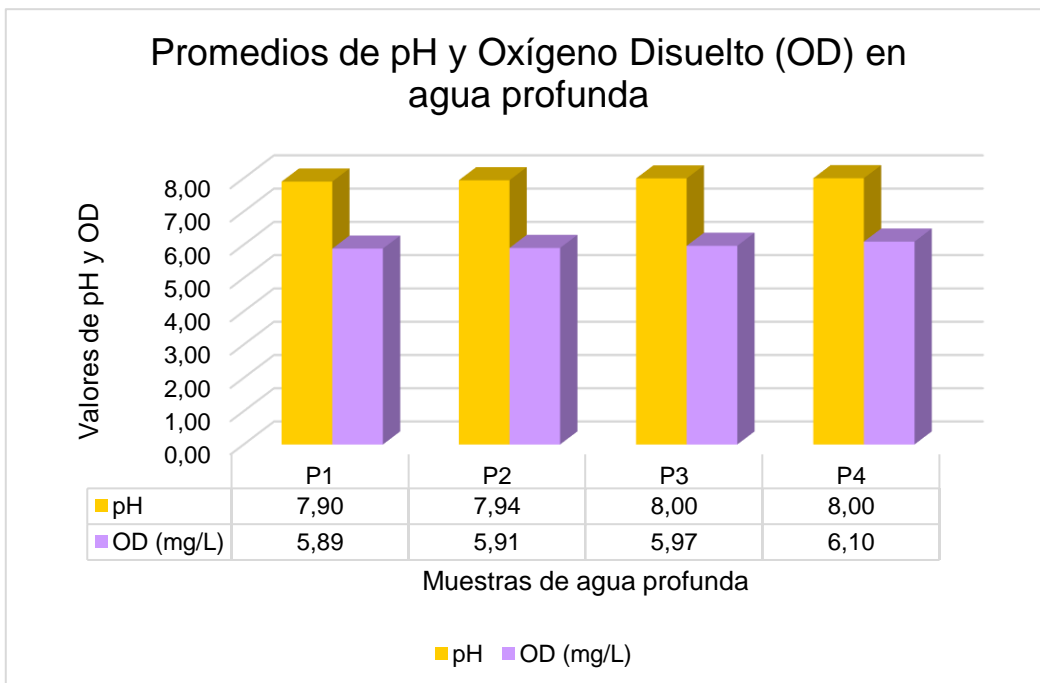


Fig. 3. Valoración de pH y Oxígeno Disuelto en muestras de agua profunda.

### 4.2.3. TDS y Conductividad

En las figuras 4 y 5 se encuentran representados los índices de TDS y conductividad para las muestras de agua superficial y profunda. Los valores de TDS demuestran que el efluente posee una calidad moderada correspondiente a valores entre 458,50 – 466,00 mg/L para muestras superficiales y 461,50 – 470,50 mg/L para muestras profundas, por otro lado, los valores de conductividad corresponden a 727,50 – 733,50  $\mu\text{S/cm}$  y 726,00 – 735,50  $\mu\text{S/cm}$  para muestras de superficie y profundidad respectivamente, datos que no representan ningún riesgo para el ambiente o la producción agrícola. Con respecto a los valores de las dos muestras de agua de llave se obtuvo 101,9 mg/L TDS y 211,2  $\mu\text{S/cm}$  OD para ambas muestras.

Los resultados de TDS de esta investigación coinciden con los datos obtenidos por Quinteros et al. [43], valores dentro del rango 180,0 – 560,0 mg/L, y Delgado [44], con datos entre 712,67 - 735,67 mg/L. No obstante, en las investigaciones realizadas por Sánchez [45] y Nugra et al. [46] se evidenciaron valores promedio de 62,45 y 88,00 mg/L; los cuales demuestran una calidad idónea para agua de riego, caso contrario a los resultados registrados por Enrique et al. [47] que fueron mayores a 1999 mg/L concluyendo que las muestras representan un riesgo severo al medio ambiente y la agricultura.

En el caso de la conductividad de las muestras de agua de riego, los datos obtenidos reflejan un buen criterio de calidad, que se pueden comparar con los resultados descritos por Ortiz et al. [42] promedio de 304  $\mu\text{S/cm}$ , Quinteros et al. [43] rango entre 161,0 – 583,7  $\mu\text{S/cm}$ , Nugra et al. [46] promedio de 0,0873 mho/cm, todos dentro de los límites permisibles por las normativas de calidad, a excepción de Delgado [44] que categorizó sus muestras como datos de alto riesgo de salinización debido a que registró un rango de 1000 a 1030  $\mu\text{S/cm}$ . Sin embargo, Enrique et al. [47] registró valores de 6490, 6760 y 6850  $\mu\text{S/cm}$  que excedieron los rangos permitidos por la ECA (2500  $\mu\text{S/cm}$ ).

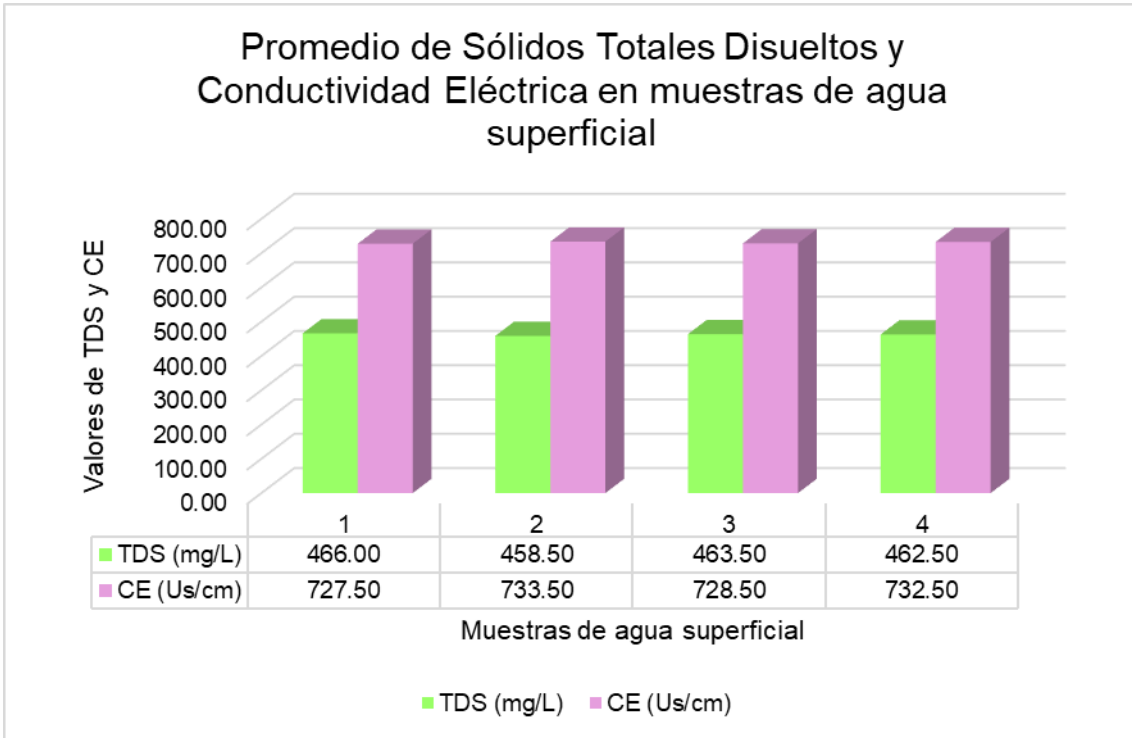


Fig. 4. Representación de niveles de TDS y Conductividad en muestras de agua superficial.

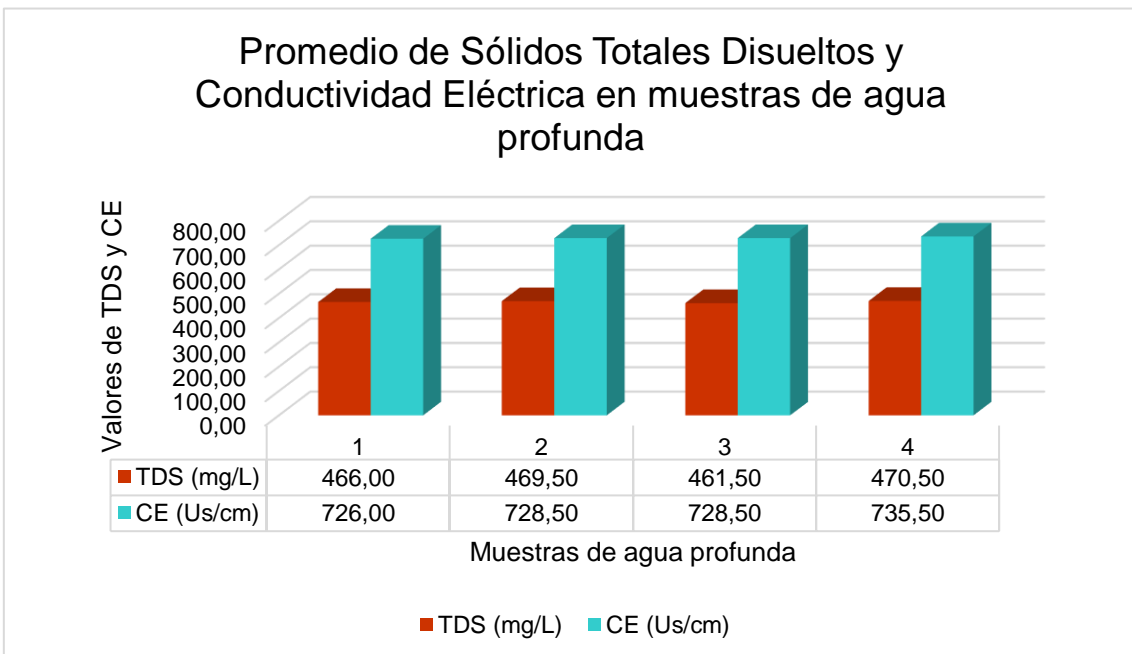


Fig. 5. Representación de niveles de TDS y Conductividad en muestras de agua profunda.

#### 4.2.4. Salinidad

Según la cantidad de sales disueltas en el agua de riego se puede reconocer la calidad del efluente, los valores de los puntos de muestreo corresponden a 0,35 ppt, tanto para las muestras de agua superficial como profunda, indicando que los datos entran dentro del rango permisible [48].

Esto se puede corroborar con los resultados obtenidos en la conductividad de las muestras, debido a que ambos parámetros están relacionados; un alto valor de conductividad representa un alto contenido de sales. Razón por la cual ambos criterios comprenden valores bajos en comparación a otros, esta característica la comparten estudios realizados por Ortiz et al. [42], Quinteros et al. [43], y Nugra et al. [58].

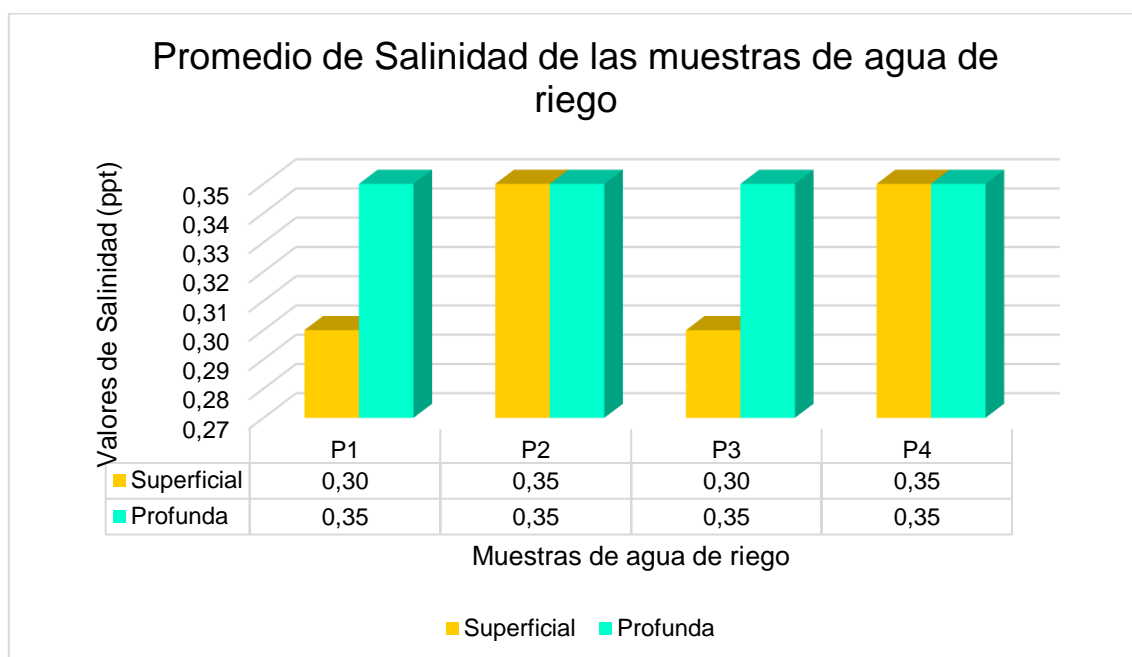


Fig. 6. Valores de salinidad correspondientes a las muestras de agua superficial y profunda.

#### 4.2.5. Temperatura

Los resultados promediados de las temperaturas para cada punto de muestra del agua de riego son P1 (28,65°C), P2 (28,65°C), P3 (28,60°C) y P4 (29,10°C) para las muestras superficiales y P1 (28,55°C), P2 (28,65°C), P3 (28,55°C) y P4 (29,00°C) para las muestras profundas. En el caso de las muestras de agua de llave la temperatura correspondió a 24,5°C. Estos resultados se ven influenciados por las temperaturas climáticas de la época de muestreo (junio) y



las condiciones de los otros parámetros detallados previamente. Sánchez [45] registró valores de 28,40 – 30,00°C en sus muestras de agua de riego cercanas del río San Pablo, Los Ríos – Ecuador, y menciona como la temperatura es un factor influyente del comportamiento de los componentes internos del agua.

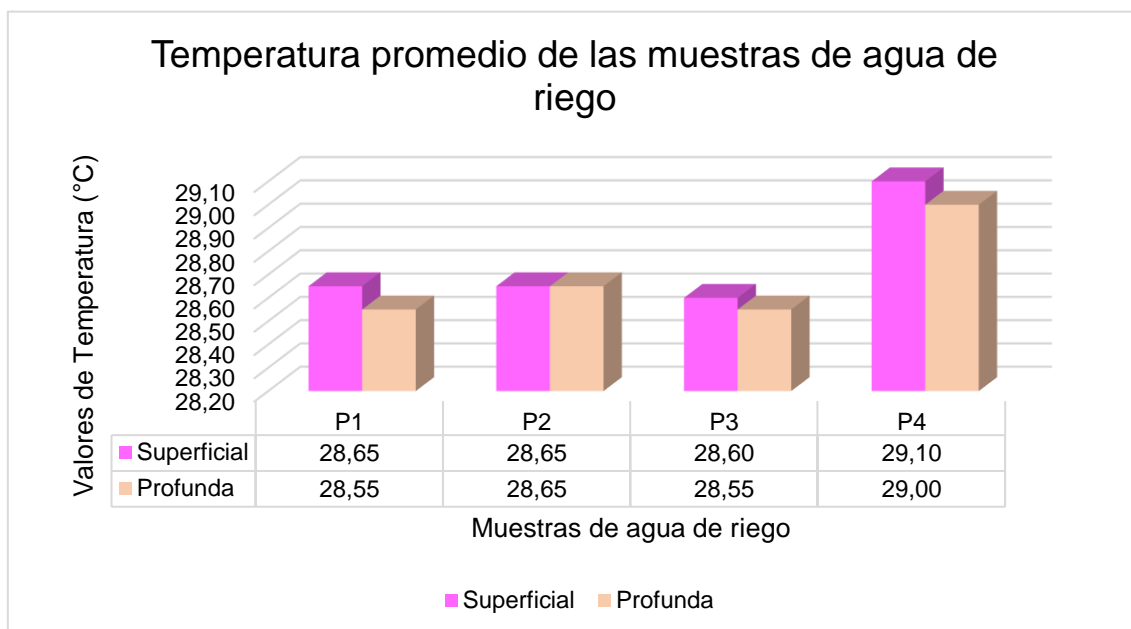


Fig. 7. Valores de temperatura correspondientes a las muestras de agua superficial y profunda.

#### **4.2.6. Análisis microbiológico de las muestras de agua de riego y sedimento de orilla de cada punto de muestreo**

Las colonias de bacterias, mohos y levaduras sembradas en Placas Petrifilm y por difusión se registran en los Anexos 2, 3, 4 y 5.

En la Tabla 9 se detallan las cantidades promedio de Unidades Formadoras de Colonias encontrados en las muestras de agua de riego y sedimento de orilla del mismo sitio de muestreo; el valor más alto corresponde a 1500 y 3000 UFC/ml de coliformes totales de la muestra de agua superficial del punto 1 y la muestra de sedimento de orilla del punto 3 respectivamente, mientras que los valor más bajos son 500 y 1000 UFC/ml de coliformes totales de la muestra de agua superficial de los puntos 2, 3 y 4, y de la muestra de sedimento de orilla del punto 2 de forma respectiva.

Según el criterio de calidad de agua para riego agrícola del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente [41] se establece que el valor permisible de coliformes totales es de 1000 UFC/100ml, dato que en comparación con los resultados obtenidos demuestra que sí existe una contaminación por bacterias de la familia enterobacteriaceae en la zona, las posibles razones de estas impurezas se las acredita a una contaminación indirecta por presencia de insectos, desechos fecales de animales y la cercanía a sitios de depósito de aguas residuales domésticas.

Olivas et al. [49] y Prieto [50] mencionan otros rangos que se emplean como guía para la determinación de la calidad microbiológica de cuerpos acuíferos: 200 UFC/100ml, según la Universidad de Vermont (2009) y  $\leq 1000$  UFC/100ml, según la Norma Chilena Oficial N° 1333 Of. 78. Nugra et al. [46] obtuvo un promedio de 282,97 UFC/100ml en sus muestras de agua de riego, valor que le permite entrar en el rango permisible de la normativa chilena y ecuatoriana, no obstante, dicho valor supera la norma estipulada por la Universidad de Vermont.

Se debe enfatizar que la presencia de estas bacterias es algo natural en el medio ambiente y no siempre indica una contaminación fecal, sin embargo, valores que superan los límites permisibles demuestran que el área está expuesta a una contaminación general.

**TABLA IX.**

**PROMEDIO DEL RECUENTO DE UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS (UFC) EN LAS MUESTRAS DE AGUA DE RIEGO Y SEDIMENTO DE ORILLA.**

Muestra	Unidad	Muestra de agua		Muestras de sedimento de orilla	
		Coliformes totales	Mohos y levaduras	Coliformes totales	Mohos y levaduras
1	UFC/ml	1500	N/A	2000	N/A
2		500	N/A	1000	N/A
3		500	N/A	3000	N/A
4		500	N/A	-	-

Nota. Promedio del recuento de unidades formadoras de colonias del análisis de muestras

Para los cultivos en placas de Petri se escogieron 3 placas representativas de la microbiota presente en muestras de suelo, agua de riego superficial y sedimento de orilla, en base a las características macroscópicas que presentaron las colonias como se detalla en la figura 8:

- 4 colonias de coloración morado-rosado en medio EMB procedentes del punto 3 de sedimento de orilla.
- 2 colonias filamentosas de centro azul verdoso y borde blanco en medio SDA procedentes del punto 1 de agua de riego.
- 1 colonia filamentososa de color blanco con textura acolchonada en medio SDA procedente del punto 2 de suelo agrícola.

Estos resultados indican la presencia de bacterias y hongos en las muestras de agua de riego y suelo agrícola recolectadas de la finca ESPOL, no se han identificado las especies microbianas a las que corresponden las colonias aisladas, sin embargo, se puede comparar con los estudios realizados por Aller et al. [51] que expone la presencia de 41,7% *E. coli*, 50,0% *Aeromonas hydrophila* y 8,3% *Bacillus subtilis* en agua de riego de 8 fincas de la cuenca alta de Sabana de Bogotá, D.C., mientras Constanza et al. [52] reportó el aislamiento de 6,85% *Salmonella spp*, 16,53% *Enterococcus spp*, 48,38% *E. coli*, y 28,23% EHEC (*E. coli enterohemorrágica*) a partir de 30 muestras de agua de riego obtenidas de 3 estados de México.

	PUNTO 3 – Muestra Sedimento	PUNTO 1 – Muestra Agua	PUNTO 2 – Suelo
			
	MEDIO EMB	MEDIO SDA	MEDIO SDA
Recuento	4 colonias	2 colonias	1 colonia
Comentario	Recordar que el medio EMB es un medio selectivo, y en este caso solo crecerán bacterias gram negativas. Las colonias presentaron una coloración morado-rosado, indicativo que son bacterias fermentadoras de lactosa.	Las características morfológicas de las colonias dan la apariencia que se podría tratar de <i>Penicillium spp</i> . No obstante, se necesitan una revisión microscópica para una mejor aseveración.	Las características morfológicas de las colonias dan la apariencia que se podría tratar de <i>Penicillium spp</i> . No obstante, se necesitan una revisión microscópica para una mejor aseveración.

Fig. 8. (a) (b) y (c) Colonias obtenidas del cultivo in vitro de muestras de agua de riego agrícola en medio EMB y SDA.

#### **4.2.7. Análisis Carbono/Nitrógeno de las muestras de suelo agrícola**

Las muestras de suelo agrícola presentan un porcentaje de nitrógeno y carbono en un rango de 0,7 - 0,37% y 1,18 – 1,90% respectivamente, indicando una relación C/N de 5,04 a 17,76; valores que reflejan una alta presencia de carbono en el suelo a comparación de nitrógeno, en especial en los puntos de muestreo 1 y 4 con 1,60/0,10 y 1,24/0,07. Esto enfatiza la alta absorción de nitrógeno por parte de las plantas de la zona, maleza y plantas invasoras, que retienen los elementos para su desarrollo y proliferación. Sin embargo, los valores más altos de materia orgánica corresponden a los puntos 1 y 2 con 2,75% y 3,27%, datos que demuestran la presencia de desechos orgánicos como restos de animales y plantas en la zona.

Los resultados obtenidos por Gamarra et al. [64] detallan valores de 0,63% - 0,83% de carbono y 0,05% – 0,07% de nitrógeno en condiciones de sol y sombra de la zona muestral, datos inferiores a los generados por la finca ESPOL, en donde todas las muestras fueron tomadas en condición de sol. No obstante, Gamarra et al. [64] y Sinaluisa et al. [65] obtuvieron una relación C/N de 10 – 14 y 5:1 – 15:1 respectivamente, lo que indica que existe una mayor presencia de carbono en los suelos agrícolas a diferencia del nitrógeno disponible, lo cual es similares al caso de la finca ESPOL.

**TABLA X.**  
**CARACTERIZACIÓN NITRÓGENO/CARBÓN DEL SUELO**  
**AGRÍCOLA.**

<b>Nombre Muestra</b>	<b>N %</b>	<b>C %</b>	<b>C:N</b>	<b>Mat. Org. %</b>
CIR-1	0,10	1,60	15,75	2,75
CIR-2	0,29	1,90	6,52	3,27
CIR-3	0,10	1,48	14,58	2,54
CIR-4	0,07	1,24	17,76	2,13
CIR-5	0,10	1,31	13,73	2,25
CIR-6	0,10	1,26	13,22	2,16
CIR-7	0,11	1,25	11,56	2,14
CIR-8	0,12	1,27	10,54	2,18
CIR-9	0,11	1,18	10,99	2,04
CIR-10	0,12	1,21	10,07	2,09
CIR-11	0,37	1,85	5,04	3,19

N= Nitrógeno;  
C= Carbón;  
C:N= Relación carbón nitrógeno;  
Mat. Org.= Materia Orgánica

#### **4.2.8. Concentraciones de metales pesados, macro y micronutrientes de las muestras de suelo agrícola**

En el Anexo 6 se presentan los valores de concentración de 3 macronutrientes analizados (Mg, K y Ca) a partir de 10 muestras de suelo agrícola. Los puntos de muestreo con el mayor valor para cada macronutriente son: 3861,8 mg/kg del P5 para Mg, 3276,4 mg/kg del P4 para K y 5085,1 mg/kg del P4 para Ca.

En un análisis general se puede identificar en la Fig. 9 que no existe una distribución simétrica entre los datos de macronutrientes de cada punto de muestra; el P1, P5, P6 y P8 reflejan los datos más cercanos al percentil 75, mientras P3, P4 y P7 son más cercanos al percentil 25, esto se debe a los valores atípicos que existen entre las cantidades de Mg, K y Ca de cada muestra. Sin embargo, los resultados obtenidos no representan un problema para los planes futuros de cultivos en la zona. Proain [53] y Roca [54] mencionan que el K se encuentra en el suelo en grandes cantidades que oscilan entre 0,20 – 6,70%, el Ca entre 0,10 – 0,20% en suelos no calizos y  $\leq 25\%$  en suelos calizos, y el Mg

está presente en un 0,50%, debido a su presencia en productos agrícolas, desintegración y descomposición de rocas y otros minerales del suelo. Layme [55] reportó un promedio de 10,37; 8,23 y 0,12 cmol/kg de Ca, Mg y K, que en comparación con los valores obtenidos en la finca ESPOL, se demuestra un rango elevado que supera los límites permisibles.

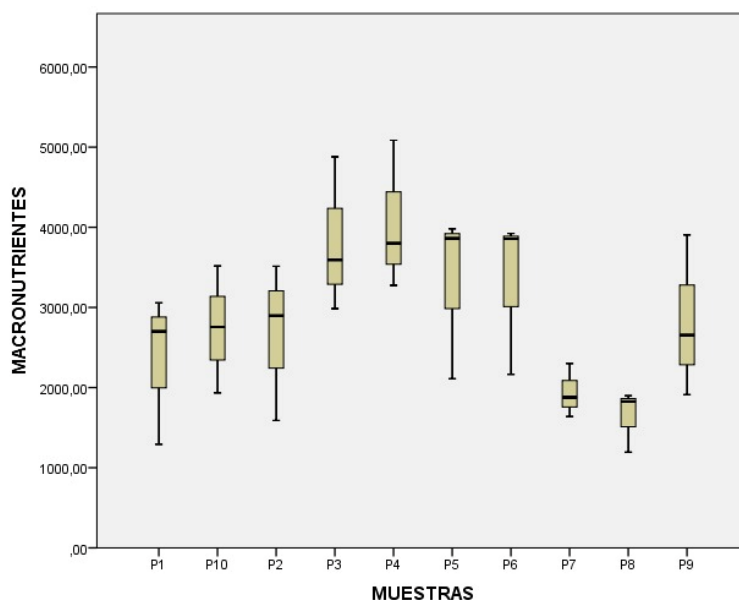


Fig. 9. Contenido de macronutrientes en muestras de suelo agrícola.

En el Anexo 7 se representan los valores de micronutrientes precedentes de los 10 puntos de muestreo de suelo agrícola, en donde destaca la presencia de Fe, Mn, Zn, B y Cu con 17899,2; 268,1; 104,9; 61,7 y 32,9 mg/kg de forma respectiva. Estos elementos trazas están presentes en los suelos en valores inferiores a 1000 mg/kg, lo que comparado con los resultados obtenidos demuestra estar dentro de los rangos favorables para un buen desarrollo de cultivos agrícolas, no obstante, la cantidad de B presente en el suelo sobrepasa el límite permisible de 1 mg/kg según el Ministerio del Ambiente del Ecuador.

En la Fig. 10 se puede analizar la distribución asimétrica que presentan los micronutrientes de cada punto de muestra debido a la representación de la mediana en cada diagrama de caja, valor que no se encuentra totalmente centrado en el rectángulo de cada gráfica, además, se visualiza un amplio rango entre el valor mínimo y máximo de los diversos elementos trazas de las zonas de muestreo con tendencia a valores atípicos superiores.

El contenido típico de Fe en suelo corresponde a un rango de 0,20 – 5% y 40% en suelos tropicales [54] el Cu oscila entre 20 – 30 mg/kg en estado natural, sin embargo, Bustamante y Romero [56] obtuvo concentraciones de 16 – 93 mg/kg Cu en muestras de la superficie de suelo, el Mn fluctúa entre 20 - 800 mg/kg asociado a los diferentes complejos que forma en la naturaleza y el Zn entre 30 – 422 mg/kg como parte de la descomposición de minerales y plantas, tal como lo menciona Roca [54]. Mientras que, Layme [55] reportó en su investigación valores de 83,16; 75,48; 5,13; 178,51; y 0,28 mg/kg de Cu, Fe, Zn, Mn y B respectivamente, valores menores a los datos registrados en la finca ESPOL.

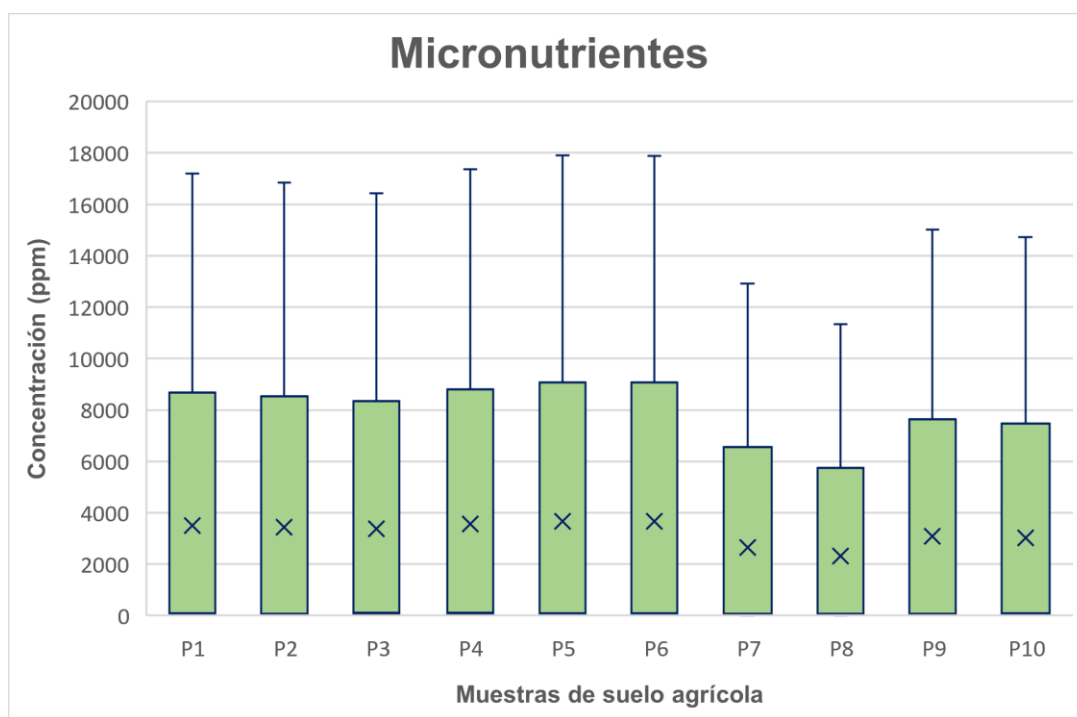


Fig. 10. Contenido de micronutrientes en muestras de suelo agrícola

En el Anexo 8 se presenta otro grupo de metales como oligoelementos (As, Co, Cr, Ni, Na) y metales pesados sin función biológica conocida (Cd, Pb, Bi, Ag, Al, Ga, In, Li, Sr, Ti, Ba). Los valores máximos de cada elemento fueron: 2,5 mg/kg Cd; 3,6 mg/kg Pb; 55,9 mg/kg Cr; 24,7 mg/kg Ni; -2,4 mg/kg Ag; 9411,1 mg/kg Al; 164,6 mg/kg Ba; -13,4 mg/kg Bi; 11,2 mg/kg Co; 8,3 mg/kg Ga; -21,2 mg/kg In; 18,4 mg/kg Li; 184,8 mg/kg Na; 87,6 mg/kg Sr; -0,6 mg/kg Ti; y 4,6 mg/kg As.

Según los criterios de calidad del suelo del Ecuador se mencionan los siguientes valores como referencia de límites permisibles para metales pesados: 5 mg/kg As; 200 mg/kg Ba; 0,5 mg/kg Cd; 20 y 2,5 mg/kg para Cr total y Cr VI; 20 mg/kg Ni; y 25 mg/kg Pb [35]. Valores que en contraste con los resultados obtenidos indican posible contaminación de la zona de estudio por los metales Cd, Ni, y Pb al superar los valores permitidos.

Mendoza y Espinoza [36] y Ortiz et al. [42] reportaron promedios de 321,44 mg/kg Co, 63,13 y 1,72 mg/kg Ni, 457,15 y 1,45 Cd, 5,5 mg/kg Cr, 276,74 mg/kg Pb, 389,18 mg/kg Ba, 5,35 mg/kg As; valores menores a los registrados en la finca ESPOL, pero superiores a los límites permisibles para As, Pb, Cd y Ni según el criterio de calidad de suelos en Ecuador.

En el Anexo 9 se detallan los valores de correlación entre los elementos analizados en donde se puede identificar la mayor correlación entre Sr y Ba con un valor de 0,987 (98,7%) y Ag e In con 0,986 (98,6%), mientras que In y Ni presentan la menor correlación con -0,981 (-98,1%). El determinante de este análisis es 0,000 lo que indica un alto grado de asociación entre las variables y una singularidad multicultural entre ellas.

En la Fig. 11 se representan las posiciones en términos de correlación entre los 16 metales analizados, se puede observar una alta relación entre las variables de Ga, Li, Cr, y Ni en un rango 0,0 a 0,5 en función del componente 1 del plano; Ag e In oscila entre 0,3 a 0,5 en función del componente 2 del plano, y Ba y Sr en un rango de 0,1 a 0,5 en función de los 3 componentes del plano.



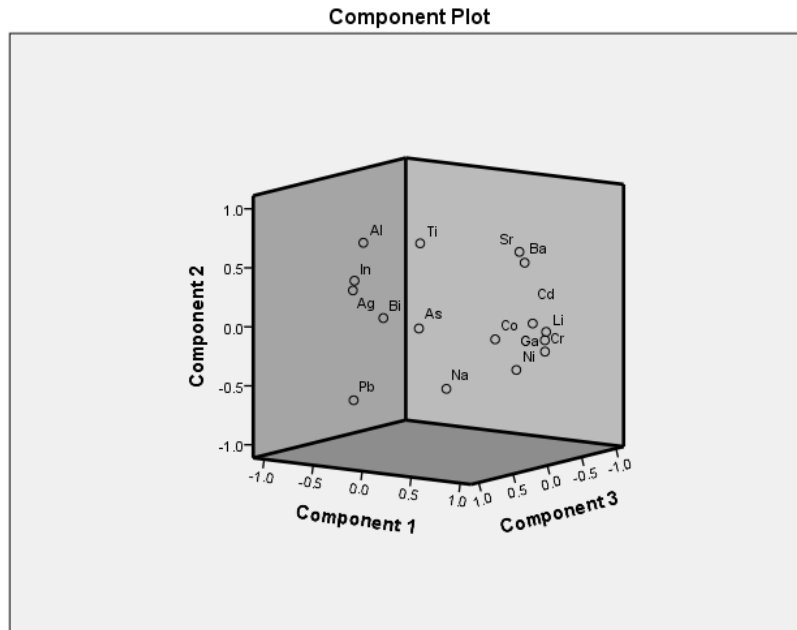


Fig. 11. Análisis de Componentes Principales (ACP) de los metales pesados analizados en muestras de suelo agrícola.

En el Anexo 10 se detalla la relación entre los componentes principales Ni (Factor 1), Ba (Factor 2), Sr (Factor 3) y Cr (Factor 4) con un valor de extracción de 0,995; 0,993; 0,989 y 0,987 respectivamente. En la Fig. 12 y 13 se representa la relación de los componentes principales separados en dos grupos: Factor 1-2 y Factor 3-4 de forma respectiva.

Los puntos de muestreo P3, P4, P5 y P6 tienen la mayor correlación en función de los factores 1 (Ni) y 2 (Ba), mientras los puntos P5, P6 y P9 presentan una alta correlación en función de los factores 3 (Sr) y 4 (Cr), que se encuentran en la parte positiva del eje X y Y.

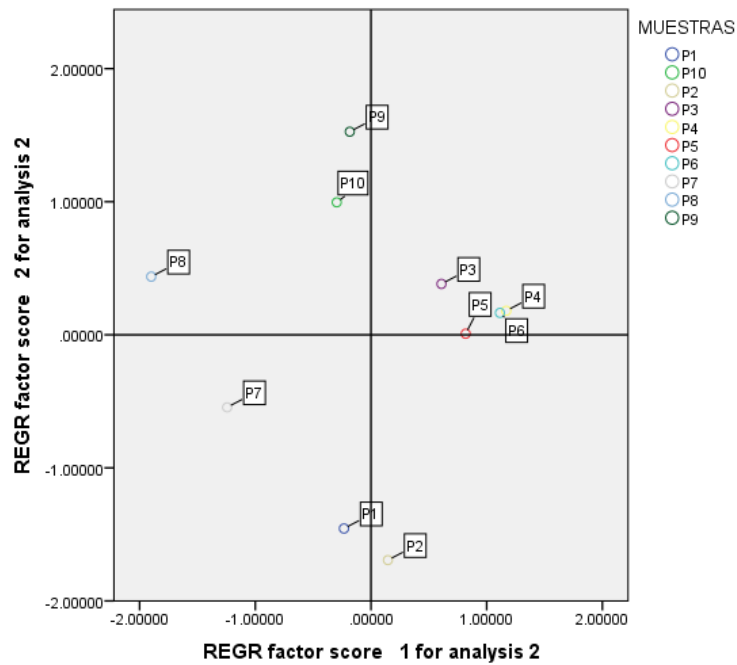


Fig. 12. Diagrama del Factor 1 y 2 de ACP en muestra de suelo agrícola.

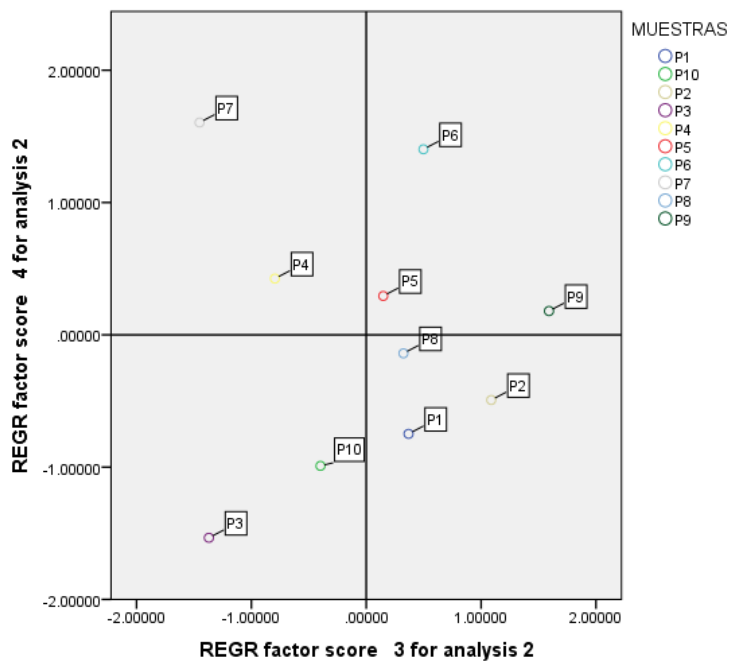


Fig. 13. Diagrama del Factor 3 y 4 de ACP en muestra de suelo agrícola.

Los resultados de la lectura de concentración de minerales en las 10 muestras de suelo agrícola de la finca ESPOL detallan valores correspondientes a metales pesados, macro y micronutrientes, entre ellos 24 elementos: Cd, Pb, Cr, Ni, Cu, Zn, Ag, Al, B, Ba, Bi Ca, Co, Fe, Ga, In, K, Li, Mg, Mn, Na, Sr, Ti y As.

Los cuales presentan, de forma respectiva, un promedio y una desviación estándar en función de la concentración de metales como se presenta en la Figura 14. Estos datos permiten concluir que existe una dispersión alta entre los datos de los elementos Ca (1125,57) y Fe (2229,12); lo que indica una lejanía entre los valores con respecto a la media, caso contrario a Cd (0,43), Ag (0,59) y Ti (0,29) en donde la variabilidad es menor y representa una cercanía a la media.

**Descriptive Statistics**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Mg	10	1899.10	3861.80	3129.4100	702.91087
K	10	1194.70	3276.40	2009.6600	674.81017
Ca	10	1826.30	5085.10	3459.1800	1125.57225
Mn	10	154.60	268.10	220.5300	38.80484
Fe	10	11326.80	17899.20	15762.3900	2229.12328
B	10	35.40	61.70	51.3500	8.65143
Cu	10	14.80	32.90	25.8600	6.50559
Zn	10	63.70	104.90	85.9700	14.18247
Cd	10	1.10	2.50	1.9400	.43512
Pb	10	-.10	3.60	1.4900	1.22787
Cr	10	27.70	55.90	44.6800	9.35341
Ni	10	14.20	24.70	20.6900	3.62106
Ag	10	-4.30	-2.40	-3.5500	.59861
Al	10	8196.60	9411.10	8740.2500	503.43696
Ba	10	65.90	164.60	119.2400	39.21814
Bi	10	-51.70	-5.00	-22.2900	13.17856
Co	10	6.80	11.20	9.3200	1.32313
Ga	10	3.60	8.30	6.0000	1.48174
In	10	-42.80	-21.20	-35.1600	7.07408
Li	10	7.90	18.40	13.9100	3.34181
Na	10	-607.80	184.80	-437.3900	230.25776
Sr	10	18.30	87.60	53.6400	28.48544
Ti	10	-1.20	-.10	-.6600	.29889
As	10	1.00	4.60	2.9900	1.10800
Valid N (listwise)	10				

Fig. 14. Estadística descriptiva de las concentraciones de minerales.

En un enfoque cuantitativo sobre la dispersión de datos en función de los puntos de muestreo se tiene que la desviación estándar de la presencia de elementos minerales en cada punto de muestreo es mayor en el P5 (4035,90) y P6

(4035,59) a comparación del punto P8 (2939,10); como se detalla en la Figura 15. Estos valores se deben a que, al considerar a todos los elementos minerales como un solo conjunto, los valores mínimo y máximo de cada agrupación poseen distancias elevadas entre sí.

Por ejemplo, la muestra P5 tiene un valor mínimo de concentración de metal Na con -513,70 y un valor máximo de Fe con 17899,20; con esto se demuestra que la variabilidad de minerales es alta en función de los diferentes elementos presentes en el suelo, por lo que lo mejor es agruparlos en conjuntos más pequeños que relacionen sus funciones al momento de evaluar su impacto en la zona agrícola.

**Descriptive Statistics**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
P1	24	-591.40	17191.00	1348.0167	3832.55388
P2	24	-38.00	16850.90	1408.7667	3773.56308
P3	24	-506.70	16436.10	1511.4000	3779.17378
P4	24	-347.00	17366.90	1592.9333	3960.83443
P5	24	-513.70	17899.20	1528.0667	4035.90624
P6	24	-479.00	17889.50	1531.9958	4035.59155
P7	24	-510.80	12922.90	1157.9417	3167.28480
P8	24	-607.80	11326.80	1059.8458	2939.10503
P9	24	-541.40	15024.30	1374.4833	3576.85979
P10	24	-460.90	14716.30	1344.6542	3500.66560
Valid N (listwise)	24				

Fig. 15. Estadística descriptiva de las concentraciones de minerales en los 10 puntos de muestreo de suelo agrícola.

#### 4.3. Plan de intervención en el suelo en función de los parámetros fisicoquímicos analizados

Con base en los resultados obtenidos en las muestras de agua de riego y suelo agrícola referente a los parámetros fisicoquímicos y concentración de metales en el medio, se puede mencionar que existe una ligera contaminación en la zona que debe ser tratada previo al desarrollo de la finca ESPOL. Existen diversos métodos químicos y biológicos para el tratamiento de recursos agrícola, entre ellos están DMI-65 [57], sistemas de osmosis inversa, lentes de bacterias encapsuladas, sistema de biorreactor de membrana, exclusión de nutrientes, etc.

Los resultados de la calidad de suelo agrícola utilizados en la granja experimental de ESPOL no indican valores de contaminación o riesgo para su uso agrícola, sin embargo, se recomienda el tratamiento para garantizar las características del valor nutricional.

#### **4.3.1. Objetivo General**

Estabilizar los niveles de metales (Pb, Cd y Cu) en el suelo de la granja experimental de la ESPOL mediante un plan de intervención que combine el método químico con el uso de DMI-65 y el método biológico con enmiendas orgánicas de origen bovino, porcino y de cáscara de coco modificada.

#### **4.3.2. Objetivos específicos**

- Realizar un análisis detallado del suelo de la granja experimental para determinar los niveles actuales de Pb, Cd y Cu.
- Evaluar la eficacia de enmiendas orgánicas de origen bovino, porcino y cáscara de coco modificada en la bioestabilización de metales como respuesta del suelo a su aporte.
- Comunicar los resultados a la comunidad académica, autoridades pertinentes y otros interesados.

#### **4.3.3. Descripción del plan de intervención del suelo**

En el área química las tecnologías de mayor impacto para el tratamiento de agua de riego son DMI-65; un sistema de filtración catalítico a través de un proceso oxidativo acelerado hecho a base de arena de sílice que permite la eliminación de Fe y Mn sin el uso de compuestos químicos adicionales, y el sistema de osmosis inversa; que consiste en 4 o 5 etapas de filtración por carcacas para la potabilización del agua de riego previo a su uso con el objetivo de eliminar exceso de sales y sedimentos [57] [58].

Por otro lado, los métodos biológicos con mejores resultados son el sistema de filtración ascendente-descendente y lentes de bacteria encapsuladas; métodos que ofrecen ventajas como concentraciones bajas y constantes de nitrógeno total en efluentes, bajo consumo de reactivos y energía, no generan desechos secundarios, son económicos, flexibles, estables y eficaces [56].

Los resultados de la calidad del suelo agrícola de la finca ESPOL demostraron valores que sobrepasaban los límites permisibles de algunos metales pesados, macro y micronutrientes en la zona, razón por la que se recomienda ejecutar un plan de intervención con enmiendas agrícolas (orgánicas y minerales) que ayude a regular los datos obtenidos con el objetivo de garantizar un suelo estable y nutritivo para la producción de cultivos como papaya, banano, hortalizas.

Las enmiendas son productos enfocados en ajustar la estructura, composición de nutrientes y pH de los suelos agrícolas para mejorar su calidad [55]. Para la inmovilización de Pb, Cd y Cu, Lei et al. [59] demostró óptimos resultados isotérmicos de sorción ( $q_m$ ) de metales mediante enmienda de animal muerto bovino (CB) y porcino (SB) basados en el modelo de Langmuir, con valores en unidad mmol/g de 3,10 (SB) y 2,81 (CB) para Pb, 0,73 (CB) y 0,89 (SB) para Cd, y 1,05 (CB) y 1,17 (SB) para Cu. Por su parte, Liu et al. [60] redujo la disponibilidad de Ni, Zn y Cd en un 57,2%, 12,7% y 30,1% de forma respectiva, mediante el uso de enmienda a partir de cáscara de coco modificada (MCSB).

En la Tabla 10, se detalla las propiedades y características de las enmiendas agrícolas propuestas para el tratamiento del suelo de la finca ESPOL. Se eligió la enmienda de origen animal a base de bovino o porcino, y el biocarbón de cáscara de coco modificado gracias a sus ventajas nutritivas y modificadoras para cultivos de hortalizas, flores, césped y granos [61].

**TABLA XI.**  
**PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS Y CARACTERÍSTICAS DE LAS ENMIENDAS AGRÍCOLAS PROPUESTAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL SUELO.**

Tratamiento	Preparación	Propiedades	Metal objetivo	Referencia
Enmienda de origen animal a base de bovino (CB)	Pirólisis de 4 horas en hornos a 500°C de canales enteros de ganado congelado (bovino y porcino) muertos de forma natural.	pH = 9,02	Pb	Lei et al. [60]
		C = 7,67%		
Enmienda de origen animal a base de porcino (SB)		H = 1,33%	Cd	
		N = 0,76%		
		Cs = 30,02	Cu	
		pH = 9,18		
		C = 6,56%		
		H = 1,38%		
		N = 0,70%		
		Cs = 27,23		
Biocarbón MCSB	Mezclar 5 g de cáscara de coco y 250 ml de ácido clorhídrico (1 M), someter a ultrasonido por 3 horas con intervalos de agitación, filtrar y lavar de forma repetitiva con etanol y agua desionizada hasta alcanzar pH neutro y secar hasta peso constante.	pH = 10,55		
		CE = 25,9 uS/cm		
		CIC = 42,5 cmol/kg		
		CO = 736 g/kg		Liu et al. [61]
		Cu = 21,91 mg/kg		
		Pb = 16,1 mg/kg		
		Zn = 139,5 mg/kg		
		Ni = 39,41 mg/kg		

**4.3.3.1. Recursos Necesarios para intervenir el suelo según los requerimientos encontrados en evaluación**

- Equipos de muestreo y análisis de suelos.
- Suministro adecuado de DMI-65.
- Enmiendas orgánicas de origen bovino, porcino y cáscara de coco modificada.
- Personal capacitado en métodos de intervención y monitoreo ambiental.

## **Método Químico: DMI-65**

### **Descripción General**

- **Composición:** El DMI-65 es un medio filtrante basado en manganeso diseñado para la remoción de hierro, manganeso y sulfuro de hidrógeno en agua.
- **Propiedades Químicas:** Contiene dióxido de manganeso en una forma especialmente diseñada para mejorar la oxidación y precipitación de impurezas.
- **Mecanismo de Acción:** Cuando el agua pasa a través del medio filtrante DMI-65, el manganeso presente en el filtro oxida el hierro y el manganeso disueltos en el agua. Los compuestos oxidados se precipitan y se capturan en el lecho filtrante.
- **Regeneración:** El DMI-65 tiene la capacidad de autoregenerarse a medida que se usa, lo que significa que tiene una vida útil más larga que otros medios filtrantes convencionales.
- La regeneración generalmente ocurre durante los períodos de flujo bajo o enjuague, donde las impurezas capturadas se eliminan del lecho filtrante.
- **Aplicaciones Tradicionales:** Se utiliza comúnmente en sistemas de tratamiento de agua potable y aguas residuales para la remoción de hierro, manganeso y sulfuro de hidrógeno.

## **Método biológico: Biocarbón de origen animal y cáscara de coco modificada**

### **1. Biocarbón de Origen Animal (Bovino o Porcino)**

El biocarbón, también conocido como biochar, es un material carbonizado derivado de residuos orgánicos. En este caso, si proviene de desechos animales (bovino o porcino), es importante que el proceso de carbonización garantice la eliminación de patógenos y contaminantes para evitar riesgos para la salud y el medio ambiente.

### **Beneficios**

- a) Mejora la estructura del suelo.
- b) Aumenta la retención de agua y nutrientes.
- c) Proporciona un hábitat beneficioso para microorganismos del suelo.



## **2. Cáscara de Coco Modificada:**

La cáscara de coco modificada se refiere a una cáscara de coco tratada o modificada para mejorar sus propiedades físicas y químicas para generar un aporte de nutrientes en el suelo.

### **Beneficios**

Mejora la retención de agua en el suelo.

Aporta materia orgánica al suelo.

Puede actuar como fuente de nutrientes.

### **Combinación como método biológico de tratamiento de suelo**

La combinación de biocarbón y cáscara de coco puede crear un entorno propicio para el crecimiento de microorganismos beneficiosos en el suelo.

### **Beneficios**

Fomenta la actividad microbiológica en el suelo.

Mejora la capacidad del suelo para descomponer materia orgánica.

Facilita la absorción de nutrientes por parte de las plantas.

### **Consideraciones Importantes**

- Antes de aplicar cualquier enmienda al suelo, se debe realizar un análisis del suelo para comprender la naturaleza y el nivel de contaminación.
- La cantidad adecuada de biocarbón y cáscara de coco debe determinarse según las características específicas del suelo y los objetivos de remediación.
- La aplicación de estos materiales debe realizarse de manera controlada y monitoreada para evitar posibles impactos adversos.
- Se recomienda consultar con expertos en remediación de suelos y seguir las regulaciones ambientales locales.

### **Pasos Generales para Aplicación**

Preparar el biocarbón y la cáscara de coco modificada de manera segura y controlada.

Mezclar los materiales de manera homogénea.

Aplicar la mezcla al suelo contaminado en la cantidad adecuada.

Monitorear regularmente la calidad del suelo y realizar ajustes según sea necesario.

#### 4.3.3.2. Acciones del plan de intervención en el suelo agrícola

En la Tabla 11, se mencionan las acciones, resultados esperados y fuentes de verificación de resultados que se emplearían en el desarrollo del plan de intervención para la reducción de concentraciones de metales pesados, macro y micronutrientes en el suelo agrícola.

**TABLA XII.**  
**MODELO DE PLAN DE INTERVENCIÓN EN SUELO AGRÍCOLA.**

<b>Modelo de plan de intervención</b>		
<b>Problemática</b>	Niveles de metales en el suelo que superan los límites permisibles por la normativa ecuatoriana.	
<b>Solución</b>	Tratamiento al suelo con biocarbón de origen animal (bovino o porcino) y cáscara de coco modificada.	
<b>Duración</b>	Medir los niveles de metales pesados en el suelo 3 veces después de implementar los tratamiento cada 90-120 días.	
<b>Acción</b>	<b>Resultado esperado</b>	<b>Fuente de verificación</b>
Preparar los tratamiento de biocarbón de forma manual o comprar las versiones comerciales.	Conservar las enmiendas en condiciones ambientales naturales.	
Colocar 2,5 – 6,5 ton/ha del tratamiento en las parcelas de cultivo de 2 a 3 meses antes de la temporada de lluvia y llenar los espacios porosos con composta orgánica o estiércol.	Homogenización del tratamiento en toda el área de cultivo.	Metodología de Aller et al. [51].
Dejar actuar por 7 días.	Activación de los tratamientos.	
Sembrar los cultivos respectivos en cada zona de la finca.	Siembra de cultivos de interés investigativo.	
Realizar el cuidado normal de los cultivos (riego, protección contra plagas, etc.).	El desarrollo óptimo de cada plantación.	
Tomar 100 g de muestra del suelo de cada parcela en forma aleatoria zigzag para análisis de concentración de metales.	Muestras representativas que reflejen los niveles de metales pesados, micro y macronutrientes.	Lectura de concentración de elementos en el equipo ICP-OES.

## **Monitoreo de Metales en el Suelo**

### **Paso 1: Selección de Sitios de Muestreo**

- Identificar áreas representativas de la zona de interés.
- Tomar muestras en diferentes profundidades para evaluar la distribución vertical de los metales.

### **Paso 2: Muestreo**

- Utilizar herramientas limpias para evitar la contaminación cruzada.
- Recolectar muestras compuestas que representen fielmente el área.

### **Paso 3: Análisis de Laboratorio**

- Determinar los niveles de metales utilizando técnicas analíticas como espectroscopía de absorción atómica o espectrometría de masas.
- Incluir análisis de metales como plomo, cadmio, mercurio, arsénico, zinc, cobre, entre otros.

### **Paso 4: Interpretación de Resultados**

- Comparar los resultados con estándares y directrices locales o internacionales.
- Evaluar la necesidad de medidas correctivas si se encuentran niveles elevados.

## **Monitoreo de Metales en el Agua**

### **Paso 1: Selección de Puntos de Muestreo**

- Identificar fuentes de agua relevantes, como ríos, lagos o pozos.
- Elegir sitios que representen diferentes condiciones y usos del agua.

### **Paso 2: Muestreo**

- Usar equipos de muestreo adecuados y limpios.
- Tomar muestras en diferentes momentos para capturar variaciones temporales.

### **Paso 3: Análisis de Laboratorio**

- Utilizar técnicas analíticas como espectroscopía, cromatografía o métodos electroquímicos.
- Analizar metales como plomo, cobre, hierro, aluminio, entre otros.

#### **Paso 4: Interpretación de Resultados**

- Comparar los resultados con estándares de calidad de agua.
- Evaluar la necesidad de tratamiento o acciones correctivas.

##### *4.3.3.3. Cronograma Tentativo*

Fase de Preparación (Mes 1-2): Caracterización del suelo y adquisición de insumos.

Fase de Aplicación (Mes 3-6): Implementación de los métodos químicos y biológicos.

Fase de Monitoreo Continuo (Mes 7-12): Evaluación regular de los niveles de metales y ajuste de las intervenciones según sea necesario.

Fase de Evaluación de Impacto Ambiental (Mes 13-15): Análisis de impacto y corrección de posibles efectos adversos.

Fase de Divulgación de Resultados (Mes 16-18): Comunicación de los resultados y conclusiones.

Este plan integral busca abordar la estabilización de los niveles de metales en el suelo de la granja experimental de la ESPOL, asegurando la efectividad de los métodos utilizados y minimizando posibles impactos ambientales negativos.

##### *4.3.3.4. Consideraciones Éticas y Ambientales*

Garantizar que los métodos de intervención sean seguros para la salud humana, la fauna y el entorno circundante.

Cumplir con todas las normativas y regulaciones ambientales locales y nacionales.

##### *4.3.3.5. Presupuesto del plan de intervención*

Como parte del proceso del plan de intervención, es importante conocer un presupuesto aproximado de realizar un proceso

**TABLA XIII.****PRESUPUESTO DEL PLAN DE INTERVENCIÓN**

<b>Cant.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor Unit.</b>	<b>Total</b>
1	Toma de muestras de suelo en campo	\$ 55,00	\$ 55,00
1	Toma de muestras de agua en campo	\$ 55,00	\$ 55,00
11	Análisis de suelo básico de laboratorio (Parámetros físico-químicos: Ratio Carbono/Nitrógeno (C/N) y Materia Orgánica (MO). Elementos: Nitrógeno total y Carbono orgánico	\$ 15,00	\$ 165,00
264	Análisis de laboratorio de metales en suelo (24 metales)	\$ 8,30	\$2.191,20
11	Paq. De análisis físicoquímicos que incluye: Ph, Conductividad Eléctrica, Solidos Disueltos Totales (TDS) y Oxígeno Disuelto	\$ 30,00	\$ 330,00
11	Paq. De análisis microbiológico de suelo	\$ 30,00	\$ 330,00
11	Paq. De análisis microbiológico de agua	\$ 30,00	\$ 330,00
3	Servicio de asesoría técnica	\$ 350,00	\$1.050,00
1	Compra de insumos para adecuación del suelo agrícola por ha.	\$ 350,00	\$ 350,00
<b>Total</b>		<b>\$ 923,30</b>	<b>\$4.856,20</b>

Nota. Los valores son sujeto a cambios por parte de los laboratorios y del costo de los insumos en el mercado

## CAPÍTULO 5

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

En primer lugar, el diseño del plan de muestreo en función de la normativa NTE INEN 2176:2013, permitió garantizar la representatividad de las muestras recopiladas de agua de riego y suelo agrícola en la zona de estudio, para la obtención de datos significativos y equitativos que reflejen las condiciones ambientales de la zona intervenida.

También, con el análisis de las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos en las muestras de agua y suelo por medio de la utilización de diversas técnicas analíticas, como espectroscopía, gravimetría y electroquímica, garantizó su evaluación, proporcionando datos precisos que describen la composición, propiedades y características de la zona intervenida, como un pH básico en donde el valor más alto corresponde a 8,01 para agua superficial y 8,0 para agua profunda de los puntos 3 y 4 de muestreo, encontrándose dentro del rango permisible planteado por el criterio de calidad de aguas para uso agrícola en riego. Los valores de micronutrientes precedentes de los 10 puntos de muestreo de suelo agrícola, en donde destaca la presencia de Fe, Mn, Zn, B y Cu con 17899,2; 268,1; 104,9; 61,7 y 32,9 mg/kg de forma respectiva. Estos elementos trazas están presentes en los suelos en valores inferiores a 1000 mg/kg, lo que comparado con los resultados obtenidos demuestra estar dentro de los rangos favorables para un buen desarrollo de cultivos agrícolas, no obstante, la cantidad de B presente en el suelo sobrepasa el límite permisible de 1 mg/kg según el Ministerio del Ambiente del Ecuador. Con esto, se logra la identificación de posibles contaminantes presentes en el área y, por consiguiente, poder abordar los desafíos ambientales que se presenten.

Los resultados obtenidos a lo largo del estudio de los parámetros fisicoquímicos y concentración de metales en el medio, ha permitido el reconocimiento de factores que ponen en riesgo la producción agrícola de la zona. Debido a esto se planteó el diseño de un plan de intervención en el suelo agrícola mediante el uso de enmiendas orgánicas o químicas que mejoran la calidad del suelo sin causar efectos secundarios, de forma eficaz, a largo plazo, y funcionan muy bien en conjunto con fertilizantes o compost.

## **5.2. Recomendaciones**

- Realizar el preparado manual de los tratamientos para poder modificar los parámetros de pH y composición de las enmiendas en función de las propiedades obtenidas como resultado de los parámetros fisicoquímicos.
- Efectuar los análisis de concentración de metales de forma regular para controlar las propiedades del suelo.
- Llevar un registro quincenal de los parámetros fisicoquímicos del agua de riego y suelo agrícola.
- Realizar una comparación de la disminución de metales pesados al utilizar los tratamientos preparados versus la versión comercial.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Fundación AquaE, «¿Cuál es la calidad perfecta del agua?,» Fundación AquaE, 11 Agosto 2021. [En línea]. Available: <https://www.fundacionaquae.org/wiki/calidad-agua/#:~:text=La%20calidad%20del%20agua%20es,cantidad%20de%20bacterias%20que%20tiene..> [Último acceso: 27 Mayo 2023].
- [2] Aguas Urbanas Nucleo Interdisciplinario, «Conceptos sobre monitoreo de calidad de agua,» Aguas Urbanas Nucleo Interdisciplinario, 17 Noviembre 2018. [En línea]. Available: <http://www.aguasurbanas.ei.udelar.edu.uy/index.php/2018/11/17/conceptos-sobre-monitoreo-de-calidad-de-agua/>. [Último acceso: 27 Mayo 2023].
- [3] F. Osorio, J. Camacho, G. Durán y A. López, «Soberanía alimentaria y políticas públicas locales: el mercado tradicional de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca,» *Acta Universitaria*, vol. 32, p. e3604, 2022.
- [4] FAO, «Organización de las Naciones Unidad para la alimentación y la Agricultura,» 27 Agosto 2019. [En línea]. Available: <https://www.fao.org/3/i9037es/i9037es.pdf>.
- [5] G. Alava, X. Peralta y M. Pino, «Letras Verdes,» 16 Diciembre 2019. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/3972-Texto%20del%20art%C3%ADculo-19361-1-10-20200725.pdf>.
- [6] FAO, «Cartilla tecnológica 5: Mejoramiento del suelo,» de *Mejorando la nutrición a través de huertos y granjas familiares. Manual de capacitación para trabajadores de campo en América Latina y el Caribe*, Roma, FAO, 2000, pp. 224-230.
- [7] InfoAgro, «Nutrientes presentes en el suelo,» InfoAgro, 12 julio 2017. [En línea]. Available: <https://mexico.infoagro.com/nutrientes-presentes-en-el-suelo/>. [Último acceso: 28 Mayo 2023].
- [8] SIPA, «Sistema de Información Pública Agropecuaria,» Ministerio de Ganadería, 18 Noviembre 2021. [En línea]. Available:



- <https://www.agricultura.gob.ec/category/programas-y-servicios/>. [Último acceso: 29 Mayo 2023].
- [9] ODS, «Objetivos de Desarrollo Sostenible,» FAO, 12 Octubre 2016. [En línea]. Available: <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/goals/goal-9/es/>. [Último acceso: 29 Mayo 2023].
- [10] ENCA, «Estrategia Nacional de Calidad del Agua. 2016 - 2023,» 1 Septiembre 2016. [En línea]. Available: [https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua\\_2016-2030.pdf](https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua_2016-2030.pdf). [Último acceso: 29 Mayo 2023].
- [11] FAO, GADPN y MAATE, Sistematización de las experiencias y procesos del proyecto Conservación y Buen Vivir GEF Napo: Promover el manejo de los recursos naturales para la sostenibilidad ecosistémica y la calidad de vida, Tena: FAO, 2023.
- [12] Pasqualotto, N., J. Delegido, E. Amin, A. Cisneros, S. Van Wittenberghe, J. Verrelst, V. Paredes y J. Moreno, «Estimación del índice de área foliar verde y marrón de diferentes cultivos con sentinel-2,» de *Tecnologías de la información geográfica: Perspectivas multidisciplinares en la sociedad del conocimiento*, Valencia, Universitat de València, 2018, pp. 202-211.
- [13] F. Carretero, Programación y control del riego y la fertilización de los cultivos. AGAU0208, Málaga: IC Editorial, 2023.
- [14] K. Carvajal, «Evaluación de calidad de agua con fines agrícola en los acuíferos de cuatro zonas del Cantón Milagro,» 7 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CARVAJAL%20LLUMI%20KARINA%20DAYANA.pdf>. [Último acceso: 15 Noviembre 2023].
- [15] J. Quispe, «Evaluación de la calidad físico química y bacteriológica del agua de riego de la Estación Experimental de Cota Cota,» 16 Enero 2017. [En línea]. Available: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CARVAJAL%20LLUMI%20KARINA%20DAYANA.pdf>. [Último acceso: 15 Noviembre 2023].

- [16] R. Rodríguez, J. Capilín, A. Madariaga y M. Islas, «Caracterización fisicoquímica de suelos salinos agrícolas, en la localidad de Chicavasco, estado de Hidalgo, México,» 1 Enero 2022. [En línea]. Available: <https://ojs.southfloridapublishing.com/ojs/index.php/jdev/article/download/1065/903/2885>. [Último acceso: 15 Noviembre 2023].
- [17] FAO, Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores. Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (UTF/ARG/020/ARG) - Colección Documentos Técnicos N° 12, Buenos Aires: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019.
- [18] A. Torrente, Gestión del suelo para una agricultura sana, productiva y sostenible, Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 2018.
- [19] S. Huff, M. Bezerra y É. De Souza, Anais do IV Congresso Brasileiro de Rochagem, Río de Janeiro: Editora Autografia, 2022.
- [20] J. Herrera, L. Ramírez, R. Guzmán y H. Gordon, Evaluación de la fertilidad del suelo y de la nutrición de los cultivos, La Habana: Editorial Científico-Técnica, 2022.
- [21] W. Lozano, Suelos: Guía de prácticas simplificadas en campo y laboratorio, Bogotá: Universidad Piloto de Colombia, 2018.
- [22] A. Ruiz y J. Molina, Automatización y telecontrol de sistemas de riego, Murcia: Marcombo, 2020.
- [23] W. Bohórquez, El proceso de compostaje, Bogotá: Ediciones Unisalle, 2019.
- [24] FAO, ITPS, GSBI, CDB, CE, Evaluación de la fertilidad del suelo y de la nutrición de los cultivos. Situación, Desafíos Y Potencialidades. Resumen Para Los Formuladores de Políticas, Roma: FAO, 2021.
- [25] O. Winso y V. Hansen, Principios y aplicaciones del riego, Madrid: Editorial Reverté, 2021.
- [26] FAO y Universidad Politécnica de Madrid, Metodología para el monitoreo y evaluación de buenas prácticas en agricultura para la adaptación al

cambio climático y la gestión integral del riesgo de desastres, Madrid: Food & Agriculture Org., 2021.

- [27] J. Perugachi y C. Cachipundo, La lucha por el agua. Gestión comunitaria del proyecto de agua potable Pesillo-Imbabura, Cuenca: Editorial Abya-Yala, 2020.
- [28] NTE INEN 2 169:98, «Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras,» 11 Noviembre 1998. [En línea]. Available: [https://www.grupoquimicomarcos.com/downloads/medios\\_de\\_preservacion\\_de\\_muestras.pdf](https://www.grupoquimicomarcos.com/downloads/medios_de_preservacion_de_muestras.pdf). [Último acceso: 16 Octubre 2023].
- [29] F. García, Minimización de vertidos para el desarrollo sostenible, Madrid: Editorial Elearning, 2019.
- [30] V. Luna, Manual de prácticas básicas para el estudio de la Microbiología ambiental de agua y suelo, Ciudad de México: UNAM, Facultad de Química, 2023.
- [31] IDEAM, «Instructivo de ensayo. Determinación de alcalinidad en agua método 2320-B,» 14 Diciembre 2017. [En línea]. Available: <http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/97658415/M-S-LC-I029+INSTRUCTIVO+DETERMINACION+DE+ALCALINIDAD+EN+AGUA.pdf/ef03d61e-cdeb-409b-9ea6-0787b1aafe56?version=1.0>. [Último acceso: 28 Diciembre 2023].
- [32] D. Skoog y D. West, Introducción a la química analítica, Barcelona: Editorial Reverté, 2022.
- [33] Boletín Agrario, «Granja Experimental,» Boletín Agrario, 1 Enero 2023. [En línea]. Available: <https://boletinagrario.com/ap6/granja+experimental/4746.html>. [Último acceso: 16 Noviembre 2023].
- [34] I. Novillo, M. Carrilo, J. Cargua, V. Nabel, K. Albán y F. Morales, «Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador,» *Revista Temas Agrarios*, vol. 23, nº 2, pp. 5-12, 2018.

- [35] NTE INEN 2176:2013, «AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO,» 5 Junio 2013. [En línea]. Available: [https://gestionambiental.pastaza.gob.ec/biblioteca/legislacion-ambiental/patrimonio\\_natural/nte\\_inen\\_2176\\_1\\_agua\\_calidad\\_agua\\_muestreo\\_tecnicas\\_muestreo.pdf](https://gestionambiental.pastaza.gob.ec/biblioteca/legislacion-ambiental/patrimonio_natural/nte_inen_2176_1_agua_calidad_agua_muestreo_tecnicas_muestreo.pdf). [Último acceso: 28 Octubre 2023].
- [36] Mendoza, R., & Espinoza, A. (2017). Guía Técnica para Muestreo de Suelos. In Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services (CRS) (Vol. 1).
- [37] Cárdenas León, J. A. (2022). Calidad de aguas para estudiantes de ciencias ambientales (2nd ed., Vol. 1).
- [38] ESPOL. (2023). Protocolo de Analizador carbón nitrógeno – marca elemental.
- [39] Giralda, A. (2020). Instructivo de preparación de suelos y sedimentos para análisis.
- [40] EPA 3051. (2018). Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils.
- [41] Ministerio del Ambiente. (2015). Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. Anexo 1 del Libro IX Vol. VI (pp. 15–16).
- [42] Ortiz Vega, M., Can Chulim, Á., Alberto Romero Bañuelos, C., Cruz Crespo, E., & Madueño Molina, A. (2019). Calidad del agua para uso agrícola del río Mololoa, México. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 37(2), 185–195. <https://doi.org/10.28940/TERRA.V37I2.406>
- [43] Quinteros Carabalí, J. A., Gómez-García, J., Solano, M., Llumiquinga, G., Burgos, C., & Carrera-Villacrés, D. (2019). Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Toglahuayco. *Siembra*, 6(2), 046–057. <https://doi.org/10.29166/SIEMBRA.V6I2.1641>
- [44] Delgado, J. (2021). Análisis de la calidad de agua para riego en suelos agrícolas en la parroquia rural Colonche, provincia de Santa Elena.

- [45] Sánchez Vásquez, V. (2022). Calidad de aguas superficiales para el riego de cultivos agrícolas en la cuenca del río San Pablo, provincia de Los Ríos.
- [46] Nugra, W., Arias, L., Torres, S., & Baculima, J. (2023). Análisis fisicoquímico y microbiológico del agua de riego en San Joaquín-Cuenca. *Revista de Investigación En Ciencias Agronómicas y Veterinarias*, 7. <http://www.scielo.org.bo/pdf/arca/v7n20/a2-299-308.pdf>
- [47] Enrique Ayala, E. M., Gavidia Adriano, C. R., Garriazo Suni, A. M., & Changanaqui Alfaro, D. (2021). Evaluación de la calidad del agua en los canales de la Zona de Reglamentación Especial de Los Pantanos de Villa (Lima, Perú). *South Sustainability*, 2(2), e036–e036. <https://doi.org/10.21142/SS-0202-2021-E002>
- [48] Ruiz Baena, N. (2007). La salinidad del agua de riego y del suelo la calidad del agua de riego.
- [49] Olivas-Enriquez, E., Pedro Flores-Margez, J., Serrano-Alamillo, M., Soto-Mejía, E., Iglesias-Olivas, J., Salazar-Sosa, E., & Fortis-Hernández, M. (2011). INDICADORES FECALES Y PATÓGENOS EN AGUA DESCARGADA AL RÍO BRAVO. *Terra Latinoamericana*.
- [50] Prieto, F. (2022). EL AGUA DE RIEGO COMO FACTOR DE SALUD. SEMINARIO: “FITOSANIDAD EN HORTALIZAS PARA LA ZONA SUR,” 105–108.
- [51] Aller, D., Trippe, K., Smith, B., Seman-Varner, R., Delaney, M., & Miles, T. (2023). Biochar Guidelines for Agricultural Applications: Practical insights for applying biochar to annual and perennial. In *United States Biochar Initiative*.
- [52] Constanza, L., Ramírez, C., Consuelo, L., Leal, S., Andrés, F., & Rodríguez, E. (2014). Determinación de la presencia de bacterias patógenas para el humano en aguas de riego en la cuenca alta de la Sabana de Bogotá; D.C. Colombia. *NOVA*, 12(22), 179. <https://doi.org/10.22490/24629448.1042>

- [53] Proain. (2020). LOS MACRONUTRIENTES Y SU RELACIÓN EN EL SUELO. <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/los-macronutrientes-y-su-relacion-en-el-suelo>
- [54] Roca. (2022). Macro-, micronutrientes y metales pesados presentes en el suelo. [https://www.infoagro.com/documentos/macro\\_\\_\\_micronutrientes\\_y\\_metales\\_pesados\\_presentes\\_suelo.asp](https://www.infoagro.com/documentos/macro___micronutrientes_y_metales_pesados_presentes_suelo.asp)
- [55] Layme Choque, M. A. (2021). Adsorción de metales pesados en suelos contaminados aplicando enmiendas para reducir su disponibilidad. Revisión sistemática [Universidad César Vallejo]. In Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/65898>
- [56] Bustamante Salazar, E. A., & Romero Menoscal, K. J. (2023). Evaluación de la capacidad removedora de metales pesados (CR, CD, AS) empleando Taxones de Hongos Filamentosos aislados de sedimentos marinos del Golfo de Guayaquil, Ecuador. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26263>
- [57] DMI-65. (2023). DMI-65 - Tratamiento de agua para sistemas de riego y reticulación. <https://dmi65.com/es/soluciones/sistemas-de-riego-de-agua/>
- [58] Ecomaria. (2023). Tratamiento de aguas para riego - Técnicas y productos. <https://ecomaria.com/tratamiento-aguas-riego>
- [59] Lei, S., Shi, Y., Qiu, Y., Che, L., & Xue, C. (2019). Performance and mechanisms of emerging animal-derived biochars for immobilization of heavy metals. *Science of The Total Environment*, 646, 1281–1289. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.07.374>
- [60] Liu, H., Xu, F., Xie, Y., Wang, C., Zhang, A., Li, L., & Xu, H. (2018). Effect of modified coconut shell biochar on availability of heavy metals and biochemical characteristics of soil in multiple heavy metals contaminated soil. *Science of The Total Environment*, 645, 702–709. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.07.115>

- [61] Carbotecnia. (n.d.). Biochar | Biocarbón para mejorar suelos agrícolas - Carbotecnia. Retrieved January 9, 2024, from <https://www.carbotecnia.info/producto/biochar/>
- [62] Álvarez Marcelo y Sánchez Williams. (2023). Evaluación de la calidad de agua del río Casacay de la provincia de El Oro. *Acta Oceanográfica del Pacífico*. Vol. 5. No. 1. pag 1-10. DOI:<https://doi.org/10.54140/raop.v3i2.63>
- [63] Escobar, S., albuja, A., Andueza, F. (2021). Calidad fisicoquímica del agua de la Laguna Colta, chimborazo, Ecuador. *FIGEMPA Investigación y Desarrollo*. Vol. 1. No. 1. pag 76-81. DOI: 10.29166/revfig.v11i1.3135
- [64] Gamarra, C., Díaz, M., Vera de Ortiz, M., Galeano, M., Cabrera, A. (2017). Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chacho paraguayo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. Vol 9. No. 46. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.134>
- [65] Sinaluisa, F., León-Ruiz, J., Peralta-Culcay, M., Suárez-Tapia, A. (2022). Valoración de la relación C/N de dos cultivos de cobertura Vicia (*Vicia stenophylla*) y Centeno (*Seecale cereale*) en tres localidades de la provincia de Chimborazo. *Polo del Conocimiento*. Vol. 7. No. 2. DOI: 10.23857/pc.v7i2.3673

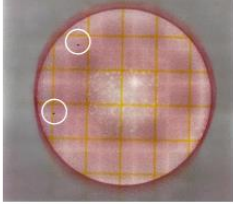
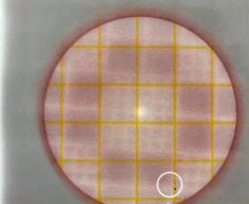


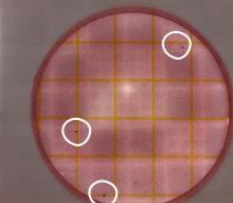
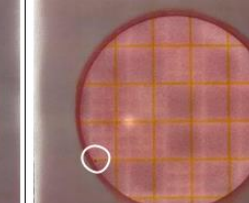


# ANEXOS

## Anexo 1. Criterios de calidad y resultados obtenidos.

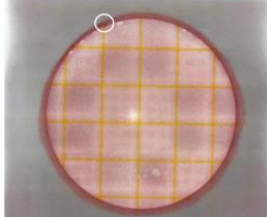
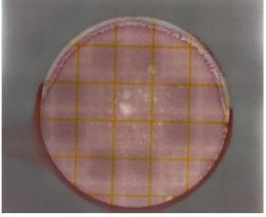


Parámetros fisicoquímicos	Criterios de calidad			Resultados de agua superficial				Resultados de agua profunda			
	Ningún riesgo	Ligero moderado	Severo	Máximo	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Mínimo
TDS (mg/L)	< 450	450 - 2000	> 2000	466,00	462,63	3,12	458,50	470,50	466,88	4,07	461,50
Oxígeno disuelto (mg/L)	> 4	4	< 4	6,06	5,94	0,08	5,89	6,10	5,96	0,09	5,89
pH		6 a 9		8,01	7,94	0,11	7,78	8,00	7,96	0,05	7,90
Conductividad (Us/cm)	< 7x10 <sup>5</sup>	7x10 <sup>5</sup> - 3x10 <sup>6</sup>	> 3x10 <sup>6</sup>	733,50	730,50	2,94	727,50	735,50	729,63	4,09	726,00
Salinidad (ppt)	< 7,7e+8	7,7e+8 - 2,24e+9	> 2,24e+9	0,35	0,33	0,03	0,30	0,35	0,35	0,00	0,35
Temperatura (°C)	x	x	x	29,10	28,75	0,23	28,60	29,00	28,69	0,21	28,55

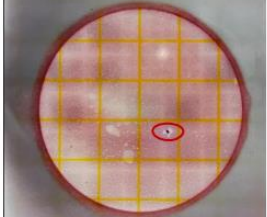
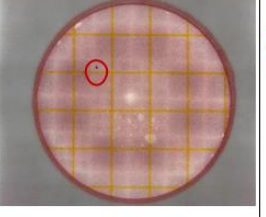




**Anexo 2. Resultado del análisis microbiológico del punto de muestreo de agua y sedimento de orilla 1.**

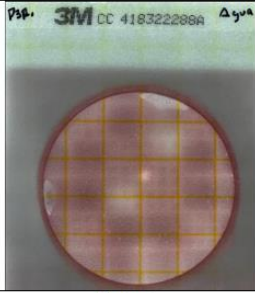
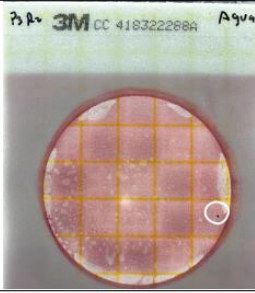


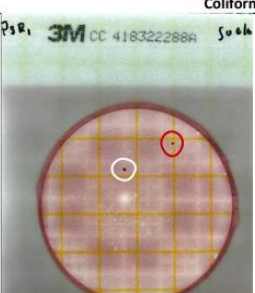
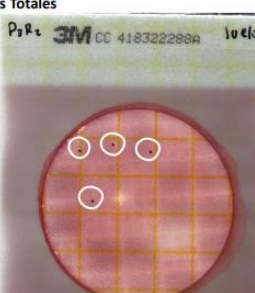


Muestra Agua					
		Coliformes Totales		Mohos y Levaduras	
Imagen Replicas					
Recuento	2 colonias	1 colonia	0 colonias	0 colonia	
Unidad formadora de colonia (UFC) promedio	1500 UFC/ ml		N/A	N/A	
Muestra Sedimento (Orilla)					
		Coliformes Totales		Mohos y Levaduras	
Imagen Replicas					
Recuento	3 colonias	1 colonias	1 colonia	1 colonia	
Unidad formadora de colonia (UFC) promedio	2000 UFC/ ml		N/A	N/A	

**Anexo 3. Resultado del análisis microbiológico del punto de muestreo de agua y sedimento de orilla 2.**

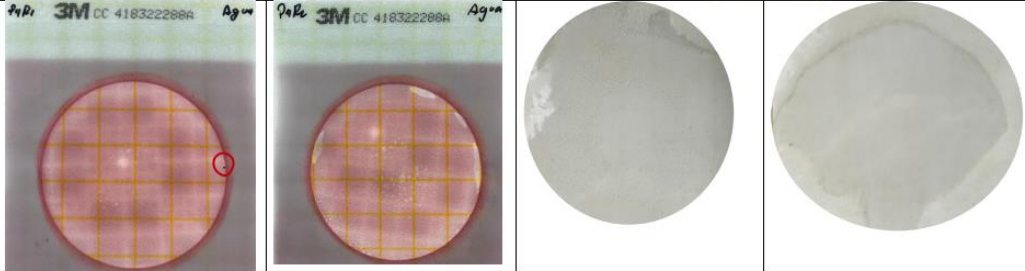
		Muestra Agua			
		Coliformes Totales		Mohos y Levaduras	
Imagen Replicas					
Recuento		1 colonia	0 colonias	0 colonia	0 colonia
Unidad formadora de colonia (UFC) promedio		500 UFC/ ml		N/A	N/A

		Muestra Sedimento (Orilla)			
		Coliformes Totales		Mohos y Levaduras	
Imagen Replicas					
Recuento		1 colonias	1 colonias	3 colonias	2 colonia
Unidad formadora de colonia (UFC) promedio		1000 UFC/ ml		N/A	N/A

**Anexo 4. Resultado del análisis microbiológico del punto de muestreo de agua y sedimento de orilla 3.**

Muestra Agua					
		Coliformes Totales		Mohos y Levaduras	
Imagen Replicas					
Recuento	0 colonias	1 colonia	0 colonias	0 colonia	
Unidad formadora de colonia (UFC) promedio	500 UFC/ ml		N/A	N/A	
Muestra Sedimento (Orilla)					
		Coliformes Totales		Mohos y Levaduras	
Imagen Replicas					
Recuento	2 colonias	4 colonias	1 colonia	1 colonia	
Unidad formadora de colonia (UFC) promedio	3000 UFC/ ml		N/A	N/A	

**Anexo 5. Resultado del análisis microbiológico del punto de muestreo de agua 4.**

Imagen Replicas	Muestra Agua			
	Coliformes Totales		Mohos y Levaduras	
	1 colonias	0 colonias	0 colonia	0 colonia
Recuento	500 UFC/ ml		N/A	N/A
Unidad formadora de colonia (UFC) promedio	500 UFC/ ml		N/A	N/A

**Anexo 6. Concentración de macronutrientes (Mg, K y Ca) en muestras de suelo agrícola.**

CONCENTRACIÓN DE MACRONUTRIENTES (mg/kg)			
Muestras de suelo	Mg	K	Ca
P1	3058,2	1292,4	2701,8
P2	3514	1589,1	2897,9
P3	3592,9	2985	4878,9
P4	3800,9	3276,4	5085,1
P5	3861,8	2110,8	3980,3
P6	3855,1	2163,9	3922,1
P7	2300,1	1638,7	1877,5
P8	1899,1	1194,7	1826,3
P9	2655,7	1913,1	3902,9
P10	2756,3	1932,5	3519

**Anexo 7. Concentración de micronutrientes (Mn, Fe, B, Cu y Zn) en muestras de suelo agrícola.**

<b>CONCENTRACIÓN DE MICRONUTRIENTES (mg/kg)</b>					
<b>Muestras de suelo</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>B</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>
<b>P1</b>	182,5	17191	57,5	25,3	100,5
<b>P2</b>	218,7	16850,9	54,7	23,8	81,6
<b>P3</b>	232	16436,1	55,5	32,4	104,6
<b>P4</b>	255	17366,9	61,7	32,9	104,9
<b>P5</b>	242,4	17899,2	58,6	31,1	85,6
<b>P6</b>	268,1	17889,5	57,1	30,7	85,6
<b>P7</b>	174,2	12922,9	41,8	15,4	63,7
<b>P8</b>	154,6	11326,8	35,4	14,8	68,3
<b>P9</b>	259,8	15024,3	44,4	26,9	77,9
<b>P10</b>	218	14716,3	46,8	25,3	87

**Anexo 8. Concentración de metales pesados en muestras de suelo agrícola.**

<b>MUESTRAS DE SUELO</b>	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Ag</b>	<b>Al</b>	<b>Ba</b>	<b>Bi</b>	<b>Co</b>	<b>Ga</b>	<b>In</b>	<b>Li</b>	<b>Na</b>	<b>Sr</b>	<b>Ti</b>	<b>As</b>
<b>P1</b>	2	3,6	43,6	21,8	-3,7	8196,7	73,9	-13,4	9	5,7	-39,1	12,3	-591,4	20,8	-1	2,4
<b>P2</b>	1,9	3,1	47,2	23,4	-3,7	8235,1	84,7	-17	10,2	5,6	-38	14,5	184,8	25,3	-0,7	3,3
<b>P3</b>	2,3	0	51,2	21,4	-3,7	8196,6	151,4	-32,2	9,2	6,6	-37,6	16,7	-506,7	80,6	-0,6	1
<b>P4</b>	2,5	-0,1	55,9	23,7	-4	8296,7	164,6	-31,1	9,7	8	-41,1	18,4	-347	87,6	-0,7	3,5
<b>P5</b>	2,2	1,4	53,5	24,1	-4,2	8643,8	150,3	-18,7	10,4	7	-40,8	16,5	-513,7	69,4	-0,7	3,3
<b>P6</b>	2,2	0,8	54	24,7	-4,3	8694,7	152,1	-17,4	11,2	8,3	-42,8	17,1	-479	70,2	-0,6	4,6
<b>P7</b>	1,3	1,5	36,2	16,1	-2,8	9170,5	75,8	-51,7	7,7	5,3	-25,9	10,4	-510,8	20,8	-1,2	3,1
<b>P8</b>	1,1	2,3	27,7	14,2	-2,4	9411,1	65,9	-13,4	6,8	3,6	-21,2	7,9	-607,8	18,3	-0,6	2,8

## Anexo 9. Matriz de correlación de metales pesados en muestras de suelo agrícola.

Correlation Matrix<sup>a,b</sup>

	Cd	Pb	Cr	Ni	Ag	Al	Ba	Bi	Co	Ga	In	Li	Na	Sr	Ti	As
Correlation Cd	1.000	-.461	.886	.865	-.904	-.666	.820	.125	.794	.791	-.919	.924	.162	.787	.260	.056
Pb	-.461	1.000	-.439	-.136	.259	-.028	-.798	.424	-.180	-.529	.191	-.566	.212	-.823	-.286	.111
Cr	.886	-.439	1.000	.915	-.932	-.763	.692	-.120	.750	.943	-.921	.979	.296	.606	-.069	.075
Ni	.865	-.136	.915	1.000	-.975	-.761	.581	.193	.895	.823	-.981	.878	.391	.480	.030	.305
Ag	-.904	.259	-.932	-.975	1.000	.677	-.690	-.170	-.906	-.867	.986	-.907	-.236	-.595	-.087	-.266
Al	-.666	-.028	-.763	-.761	.677	1.000	-.194	.081	-.442	-.620	.764	-.683	-.426	-.136	.342	.199
Ba	.820	-.798	.692	.581	-.690	-.194	1.000	.042	.673	.686	-.626	.805	-.085	.987	.517	.157
Bi	.125	.424	-.120	.193	-.170	.081	.042	1.000	.341	-.226	-.178	-.096	.007	.047	.637	.299
Co	.794	-.180	.750	.895	-.906	-.442	.673	.341	1.000	.681	-.878	.767	.346	.585	.338	.487
Ga	.791	-.529	.943	.823	-.867	-.620	.686	-.226	.681	1.000	-.838	.921	.129	.592	-.148	.213
In	-.919	.191	-.921	-.981	.986	.764	-.626	-.178	-.878	-.838	1.000	-.891	-.280	-.542	-.049	-.208
Li	.924	-.566	.979	.878	-.907	-.683	.805	-.096	.767	.921	-.891	1.000	.289	.739	.097	.079
Na	.162	.212	.296	.391	-.236	-.426	-.085	.007	.346	.129	-.280	.289	1.000	-.127	-.024	.130
Sr	.787	-.823	.606	.480	-.595	-.136	.987	.047	.585	.592	-.542	.739	-.127	1.000	.583	.068
Ti	.260	-.286	-.069	.030	-.087	.342	.517	.637	.338	-.148	-.049	.097	-.024	.583	1.000	.146
As	.056	.111	.075	.305	-.266	.199	.157	.299	.487	.213	-.208	.079	.130	.068	.146	1.000

a. Determinant = .000

b. This matrix is not positive definite.

## Anexo 10. Valores de extracción para ACP.

### Communalities

	Initial	Extraction
Cd	1.000	.960
Pb	1.000	.953
Cr	1.000	.987
Ni	1.000	.995
Ag	1.000	.967
Al	1.000	.945
Ba	1.000	.993
Bi	1.000	.912
Co	1.000	.944
Ga	1.000	.956
In	1.000	.972
Li	1.000	.986
Na	1.000	.398
Sr	1.000	.989
Ti	1.000	.952
As	1.000	.970

Extraction Method: Principal Component Analysis.

## Anexo 11. Lectura de concentración de minerales en el punto 1 de muestreo en suelo agrícola por método ICP-OES.

	Cd 226.502 (449) (Axial)	Pb 220.353 (453) (Axial)	Cr 283.563 (119) (Axial)	Ni 221.647 (452) (Axial)	Cu 324.754 (104) (Axial)	Zn 213.856 (458) (Axial)
Concentration average	0.020 ppm	0.036 ppm	0.436 ppm	0.218 ppm	0.253 ppm	1.005 ppm
Concentration per Run 1	0.020 ppm	0.036 ppm	0.436 ppm	0.218 ppm	0.254 ppm	1.006 ppm
Concentration per Run 2	0.020 ppm	0.035 ppm	0.436 ppm	0.218 ppm	0.253 ppm	1.004 ppm
Concentration RSD	0.6 %	0.1 %	0.1 %	0.3 %	0.1 %	0.1 %

	Ag 328.068 (103) (Axial)	Al 167.079 (502) (Axial)	B 249.773 (135) (Axial)	Ba 455.403 (74) (Axial)	Bi 223.061 (451) (Axial)	Ca 393.366 (86) (Radial)
Concentration average	-0.037 ppm	81.967 ppm	0.575 ppm	0.739 ppm	-0.134 ppm	27.018 ppm
Concentration per Run 1	-0.036 ppm	81.901 ppm	0.575 ppm	0.738 ppm	-0.133 ppm	27.157 ppm
Concentration per Run 2	-0.037 ppm	82.032 ppm	0.575 ppm	0.740 ppm	-0.135 ppm	26.878 ppm
Concentration RSD	1.8 %	0.1 %	0.1 %	0.2 %	1.4 %	0.7 %

	Co 228.616 (447) (Axial)	Fe 259.940 (130) (Axial)	Ga 294.364 (114) (Axial)	In 230.606 (446) (Axial)	K 766.490 (44) (Radial)	Li 670.784 (50) (Axial)
Concentration average	0.090 ppm	171.910 ppm	0.057 ppm	-0.391 ppm	12.924 ppm	0.123 ppm
Concentration per Run 1	0.089 ppm	172.028 ppm	0.054 ppm	-0.393 ppm	12.973 ppm	0.123 ppm
Concentration per Run 2	0.091 ppm	171.791 ppm	0.059 ppm	-0.389 ppm	12.876 ppm	0.123 ppm
Concentration RSD	1.1 %	0.1 %	5.5 %	0.7 %	0.5 %	0.1 %

	Mg 279.553 (121) (Radial)	Mn 257.610 (131) (Radial)	Na 588.995 (57) (Radial)	Sr 407.771 (83) (Axial)	Tl 190.856 (477) (Axial)	As 189.042 (478) (Axial)
Concentration average	30.582 ppm	1.825 ppm	-5.914 ppm	0.208 ppm	-0.010 ppm	0.024 ppm
Concentration per Run 1	30.837 ppm	1.839 ppm	-5.859 ppm	0.210 ppm	-0.010 ppm	0.032 ppm
Concentration per Run 2	30.328 ppm	1.812 ppm	-5.970 ppm	0.206 ppm	-0.010 ppm	0.016 ppm
Concentration RSD	1.2 %	1.0 %	1.3 %	1.3 %	1.5 %	47.7 %

## Anexo 12. Lectura de concentración de minerales en el punto 2 de muestreo en suelo agrícola por método ICP-OES.

	Cd 226.502 (449) (Axial)	Pb 220.353 (453) (Axial)	Cr 283.563 (119) (Axial)	Ni 221.647 (452) (Axial)	Cu 324.754 (104) (Axial)	Zn 213.856 (458) (Axial)
Concentration average	0.019 ppm	0.031 ppm	0.472 ppm	0.234 ppm	0.238 ppm	0.816 ppm
Concentration per Run 1	0.019 ppm	0.030 ppm	0.472 ppm	0.235 ppm	0.238 ppm	0.816 ppm
Concentration per Run 2	0.019 ppm	0.033 ppm	0.472 ppm	0.232 ppm	0.238 ppm	0.816 ppm
Concentration RSD	0.2 %	6.6 %	0.0 %	0.9 %	0.5 %	0.1 %

	Ag 328.068 (103) (Axial)	Al 167.079 (502) (Axial)	B 249.773 (135) (Axial)	Ba 455.403 (74) (Axial)	Bi 223.061 (451) (Axial)	Ca 393.366 (86) (Radial)
Concentration average	-0.037 ppm	82.351 ppm	0.547 ppm	0.847 ppm	-0.170 ppm	28.979 ppm
Concentration per Run 1	-0.037 ppm	82.186 ppm	0.546 ppm	0.858 ppm	-0.171 ppm	28.907 ppm
Concentration per Run 2	-0.037 ppm	82.515 ppm	0.549 ppm	0.835 ppm	-0.170 ppm	29.051 ppm
Concentration RSD	1.3 %	0.3 %	0.3 %	1.9 %	0.7 %	0.4 %

	Co 228.616 (447) (Axial)	Fe 259.940 (130) (Axial)	Ga 294.364 (114) (Axial)	In 230.606 (446) (Axial)	K 766.490 (44) (Radial)	Li 670.784 (50) (Axial)
Concentration average	0.102 ppm	168.509 ppm	0.056 ppm	-0.380 ppm	15.891 ppm	0.145 ppm
Concentration per Run 1	0.104 ppm	168.790 ppm	0.058 ppm	-0.371 ppm	15.887 ppm	0.145 ppm
Concentration per Run 2	0.099 ppm	168.227 ppm	0.054 ppm	-0.388 ppm	15.894 ppm	0.146 ppm
Concentration RSD	3.4 %	0.2 %	5.0 %	3.2 %	0.0 %	0.4 %

	Mg 279.553 (121) (Radial)	Mn 257.610 (131) (Radial)	Na 588.995 (57) (Radial)	Sr 407.771 (83) (Axial)	Tl 190.856 (477) (Axial)	As 189.042 (478) (Axial)
Concentration average	35.140 ppm	2.187 ppm	1.848 ppm	0.253 ppm	-0.007 ppm	0.033 ppm
Concentration per Run 1	35.090 ppm	2.182 ppm	1.832 ppm	0.252 ppm	-0.004 ppm	0.033 ppm
Concentration per Run 2	35.190 ppm	2.191 ppm	1.864 ppm	0.255 ppm	-0.010 ppm	0.032 ppm
Concentration RSD	0.2 %	0.3 %	1.2 %	0.8 %	58.4 %	2.8 %

## Anexo 13. Lectura de concentración de minerales en el punto 3 de muestreo en suelo agrícola por método ICP-OES.

	Cd 226.502 (449) (Axial)	Pb 220.353 (453) (Axial)	Cr 283.563 (119) (Axial)	Ni 221.647 (452) (Axial)	Cu 324.754 (104) (Axial)	Zn 213.856 (458) (Axial)
Concentration average	0.023 ppm	0.000 ppm	0.512 ppm	0.214 ppm	0.324 ppm	1.046 ppm
Concentration per Run 1	0.023 ppm	-0.002 ppm	0.508 ppm	0.214 ppm	0.323 ppm	1.045 ppm
Concentration per Run 2	0.023 ppm	0.001 ppm	0.515 ppm	0.214 ppm	0.325 ppm	1.046 ppm
Concentration RSD	0.2 %	1,174.6 %	1.0 %	0.0 %	0.5 %	0.1 %

	Ag 328.068 (103) (Axial)	Al 167.079 (502) (Axial)	B 249.773 (135) (Axial)	Ba 455.403 (74) (Axial)	Bi 223.061 (451) (Axial)	Ca 393.366 (86) (Radial)
Concentration average	-0.037 ppm	81.966 ppm	0.555 ppm	1.514 ppm	-0.322 ppm	48.789 ppm
Concentration per Run 1	-0.037 ppm	81.530 ppm	0.550 ppm	1.523 ppm	-0.322 ppm	48.791 ppm
Concentration per Run 2	-0.036 ppm	82.401 ppm	0.560 ppm	1.505 ppm	-0.322 ppm	48.787 ppm
Concentration RSD	1.1 %	0.8 %	1.3 %	0.8 %	0.1 %	0.0 %

	Co 228.616 (447) (Axial)	Fe 259.940 (130) (Axial)	Ga 294.364 (114) (Axial)	In 230.606 (446) (Axial)	K 766.490 (44) (Radial)	Li 670.784 (50) (Axial)
Concentration average	0.092 ppm	164.361 ppm	0.066 ppm	-0.376 ppm	29.850 ppm	0.167 ppm
Concentration per Run 1	0.093 ppm	164.040 ppm	0.071 ppm	-0.371 ppm	29.896 ppm	0.167 ppm
Concentration per Run 2	0.092 ppm	164.683 ppm	0.061 ppm	-0.380 ppm	29.803 ppm	0.166 ppm
Concentration RSD	1.2 %	0.3 %	11.6 %	1.7 %	0.2 %	0.3 %

	Mg 279.553 (121) (Radial)	Mn 257.610 (131) (Radial)	Na 588.995 (57) (Radial)	Sr 407.771 (83) (Axial)	Tl 190.856 (477) (Axial)	As 189.042 (478) (Axial)
Concentration average	35.929 ppm	2.320 ppm	-5.067 ppm	0.808 ppm	-0.006 ppm	0.010 ppm
Concentration per Run 1	36.027 ppm	2.326 ppm	-5.054 ppm	0.808 ppm	-0.008 ppm	0.018 ppm
Concentration per Run 2	35.831 ppm	2.314 ppm	-5.081 ppm	0.804 ppm	-0.004 ppm	0.003 ppm
Concentration RSD	0.4 %	0.4 %	0.4 %	0.4 %	46.4 %	102.5 %

## Anexo 14. Lectura de concentración de minerales en el punto 4 de muestreo en suelo agrícola por método ICP-OES.

	Cd 226.502 (449) (Axial)	Pb 220.353 (453) (Axial)	Cr 283.563 (119) (Axial)	Ni 221.647 (452) (Axial)	Cu 324.754 (104) (Axial)	Zn 213.856 (458) (Axial)
Concentration average	0.025 ppm	-0.001 ppm	0.559 ppm	0.237 ppm	0.329 ppm	1.049 ppm
Concentration per Run 1	0.025 ppm	0.000 ppm	0.557 ppm	0.238 ppm	0.329 ppm	1.049 ppm
Concentration per Run 2	0.025 ppm	-0.001 ppm	0.562 ppm	0.236 ppm	0.330 ppm	1.048 ppm
Concentration RSD	1.9 %	102.7 %	0.5 %	0.4 %	0.2 %	0.1 %

	Ag 328.068 (103) (Axial)	Al 167.079 (502) (Axial)	B 249.773 (135) (Axial)	Ba 455.403 (74) (Axial)	Bi 223.061 (451) (Axial)	Ca 393.366 (86) (Radial)
Concentration average	-0.040 ppm	82.967 ppm	0.617 ppm	1.646 ppm	-0.311 ppm	50.851 ppm
Concentration per Run 1	-0.040 ppm	82.527 ppm	0.616 ppm	1.642 ppm	-0.313 ppm	50.085 ppm
Concentration per Run 2	-0.041 ppm	83.407 ppm	0.618 ppm	1.650 ppm	-0.309 ppm	51.618 ppm
Concentration RSD	1.2 %	0.7 %	0.3 %	0.3 %	0.9 %	2.1 %

	Co 228.616 (447) (Axial)	Fe 259.940 (130) (Axial)	Ga 294.364 (114) (Axial)	In 230.606 (446) (Axial)	K 766.490 (44) (Radial)	Li 670.784 (50) (Axial)
Concentration average	0.097 ppm	173.669 ppm	0.080 ppm	-0.411 ppm	32.764 ppm	0.184 ppm
Concentration per Run 1	0.097 ppm	172.767 ppm	0.081 ppm	-0.415 ppm	32.653 ppm	0.184 ppm
Concentration per Run 2	0.098 ppm	174.571 ppm	0.080 ppm	-0.408 ppm	32.874 ppm	0.183 ppm
Concentration RSD	0.8 %	0.7 %	1.0 %	1.2 %	0.5 %	0.5 %

	Mg 279.553 (121) (Radial)	Mn 257.610 (131) (Radial)	Na 588.995 (57) (Radial)	Sr 407.771 (83) (Axial)	Tl 190.856 (477) (Axial)	As 189.042 (478) (Axial)
Concentration average	38.009 ppm	2.550 ppm	-3.470 ppm	0.876 ppm	-0.007 ppm	0.035 ppm
Concentration per Run 1	37.701 ppm	2.562 ppm	-3.414 ppm	0.862 ppm	-0.004 ppm	0.027 ppm
Concentration per Run 2	38.317 ppm	2.538 ppm	-3.526 ppm	0.890 ppm	-0.011 ppm	0.043 ppm
Concentration RSD	1.1 %	0.7 %	2.3 %	2.2 %	62.4 %	33.7 %

## Anexo 15. Lectura de concentración de minerales en el punto 5 de muestreo en suelo agrícola por método ICP-OES.

	Cd 226.502 (449) (Axial)	Pb 220.353 (453) (Axial)	Cr 283.563 (119) (Axial)	Ni 221.647 (452) (Axial)	Cu 324.754 (104) (Axial)	Zn 213.856 (458) (Axial)
Concentration average	0.022 ppm	0.014 ppm	0.535 ppm	0.241 ppm	0.311 ppm	0.856 ppm
Concentration per Run 1	0.022 ppm	0.012 ppm	0.535 ppm	0.241 ppm	0.311 ppm	0.854 ppm
Concentration per Run 2	0.022 ppm	0.017 ppm	0.535 ppm	0.242 ppm	0.311 ppm	0.857 ppm
Concentration RSD	0.3 %	25.0 %	0.0 %	0.4 %	0.0 %	0.2 %

	Ag 328.068 (103) (Axial)	Al 167.079 (502) (Axial)	B 249.773 (135) (Axial)	Ba 455.403 (74) (Axial)	Bi 223.061 (451) (Axial)	Ca 393.366 (86) (Radial)
Concentration average	-0.042 ppm	86.438 ppm	0.586 ppm	1.503 ppm	-0.187 ppm	39.803 ppm
Concentration per Run 1	-0.042 ppm	86.222 ppm	0.585 ppm	1.502 ppm	-0.191 ppm	39.437 ppm
Concentration per Run 2	-0.042 ppm	86.655 ppm	0.586 ppm	1.505 ppm	-0.184 ppm	40.170 ppm
Concentration RSD	0.4 %	0.4 %	0.1 %	0.1 %	2.5 %	1.3 %

	Co 228.616 (447) (Axial)	Fe 259.940 (130) (Axial)	Ga 294.364 (114) (Axial)	In 230.606 (446) (Axial)	K 766.490 (44) (Radial)	Li 670.784 (50) (Axial)
Concentration average	0.104 ppm	178.992 ppm	0.070 ppm	-0.408 ppm	21.108 ppm	0.165 ppm
Concentration per Run 1	0.105 ppm	178.959 ppm	0.059 ppm	-0.406 ppm	21.178 ppm	0.166 ppm
Concentration per Run 2	0.104 ppm	179.025 ppm	0.081 ppm	-0.410 ppm	21.037 ppm	0.165 ppm
Concentration RSD	0.4 %	0.0 %	21.7 %	0.8 %	0.5 %	0.5 %

	Mg 279.553 (121) (Radial)	Mn 257.610 (131) (Radial)	Na 588.995 (57) (Radial)	Sr 407.771 (83) (Axial)	Tl 190.856 (477) (Axial)	As 189.042 (478) (Axial)
Concentration average	38.618 ppm	2.424 ppm	-5.137 ppm	0.694 ppm	-0.007 ppm	0.033 ppm
Concentration per Run 1	38.523 ppm	2.428 ppm	-5.100 ppm	0.684 ppm	-0.006 ppm	0.035 ppm
Concentration per Run 2	38.714 ppm	2.421 ppm	-5.175 ppm	0.705 ppm	-0.008 ppm	0.032 ppm
Concentration RSD	0.3 %	0.2 %	1.0 %	2.1 %	11.2 %	5.1 %

## Anexo 16. Lectura de concentración de minerales en el punto 6 de muestreo en suelo agrícola por método ICP-OES.

	Cd 226.502 (449) (Axial)	Pb 220.353 (453) (Axial)	Cr 283.563 (119) (Axial)	Ni 221.647 (452) (Axial)	Cu 324.754 (104) (Axial)	Zn 213.856 (458) (Axial)
Concentration average	0.022 ppm	0.008 ppm	0.540 ppm	0.247 ppm	0.307 ppm	0.856 ppm
Concentration per Run 1	0.022 ppm	0.005 ppm	0.541 ppm	0.247 ppm	0.307 ppm	0.855 ppm
Concentration per Run 2	0.022 ppm	0.012 ppm	0.539 ppm	0.247 ppm	0.306 ppm	0.856 ppm
Concentration RSD	0.8 %	56.4 %	0.3 %	0.2 %	0.2 %	0.1 %

	Ag 328.068 (103) (Axial)	Al 167.079 (502) (Axial)	B 249.773 (135) (Axial)	Ba 455.403 (74) (Axial)	Bi 223.061 (451) (Axial)	Ca 393.366 (86) (Radial)
Concentration average	-0.043 ppm	86.947 ppm	0.571 ppm	1.521 ppm	-0.174 ppm	39.221 ppm
Concentration per Run 1	-0.042 ppm	86.953 ppm	0.572 ppm	1.531 ppm	-0.170 ppm	39.498 ppm
Concentration per Run 2	-0.043 ppm	88.942 ppm	0.570 ppm	1.512 ppm	-0.179 ppm	38.944 ppm
Concentration RSD	0.2 %	0.0 %	0.3 %	0.9 %	3.6 %	1.0 %

	Co 228.616 (447) (Axial)	Fe 259.940 (130) (Axial)	Ga 294.364 (114) (Axial)	In 230.606 (446) (Axial)	K 766.490 (44) (Radial)	Li 670.784 (50) (Axial)
Concentration average	0.112 ppm	178.895 ppm	0.083 ppm	-0.428 ppm	21.639 ppm	0.171 ppm
Concentration per Run 1	0.111 ppm	179.640 ppm	0.082 ppm	-0.426 ppm	21.620 ppm	0.172 ppm
Concentration per Run 2	0.113 ppm	178.150 ppm	0.083 ppm	-0.429 ppm	21.658 ppm	0.171 ppm
Concentration RSD	1.4 %	0.6 %	1.1 %	0.5 %	0.1 %	0.5 %

	Mg 279.553 (121) (Radial)	Mn 257.610 (131) (Radial)	Na 588.995 (57) (Radial)	Sr 407.771 (83) (Axial)	Tl 190.856 (477) (Axial)	As 189.042 (478) (Axial)
Concentration average	38.551 ppm	2.681 ppm	-4.790 ppm	0.702 ppm	-0.006 ppm	0.046 ppm
Concentration per Run 1	38.737 ppm	2.678 ppm	-4.773 ppm	0.698 ppm	-0.006 ppm	0.071 ppm
Concentration per Run 2	38.366 ppm	2.683 ppm	-4.807 ppm	0.706 ppm	-0.006 ppm	0.021 ppm
Concentration RSD	0.7 %	0.1 %	0.5 %	0.7 %	9.7 %	77.7 %



## Anexo 17. Lectura de concentración de minerales en el punto 7 de muestreo en suelo agrícola por método ICP-OES.

	Cd 226.502 (449) (Axial)	Pb 220.353 (453) (Axial)	Cr 283.563 (119) (Axial)	Ni 221.647 (452) (Axial)	Cu 324.754 (104) (Axial)	Zn 213.856 (458) (Axial)
Concentration average	0.013 ppm	0.015 ppm	0.362 ppm	0.161 ppm	0.154 ppm	0.637 ppm
Concentration per Run 1	0.013 ppm	0.019 ppm	0.363 ppm	0.160 ppm	0.156 ppm	0.637 ppm
Concentration per Run 2	0.013 ppm	0.012 ppm	0.361 ppm	0.161 ppm	0.153 ppm	0.638 ppm
Concentration RSD	1.8 %	30.5 %	0.5 %	0.4 %	1.1 %	0.1 %

	Ag 328.068 (103) (Axial)	Al 167.079 (502) (Axial)	B 249.773 (135) (Axial)	Ba 455.403 (74) (Axial)	Bi 223.061 (451) (Axial)	Ca 393.366 (86) (Radial)
Concentration average	-0.028 ppm	91.705 ppm	0.418 ppm	0.758 ppm	-0.517 ppm	18.775 ppm
Concentration per Run 1	-0.028 ppm	91.994 ppm	0.420 ppm	0.756 ppm	-0.514 ppm	19.163 ppm
Concentration per Run 2	-0.028 ppm	91.417 ppm	0.417 ppm	0.761 ppm	-0.519 ppm	18.387 ppm
Concentration RSD	1.3 %	0.4 %	0.5 %	0.5 %	0.6 %	2.9 %

	Co 228.616 (447) (Axial)	Fe 259.940 (130) (Axial)	Ga 294.364 (114) (Axial)	In 230.606 (446) (Axial)	K 766.490 (44) (Radial)	Li 670.784 (50) (Axial)
Concentration average	0.077 ppm	129.229 ppm	0.053 ppm	-0.259 ppm	16.387 ppm	0.104 ppm
Concentration per Run 1	0.078 ppm	129.342 ppm	0.057 ppm	-0.259 ppm	16.421 ppm	0.104 ppm
Concentration per Run 2	0.075 ppm	129.117 ppm	0.048 ppm	-0.258 ppm	16.353 ppm	0.104 ppm
Concentration RSD	2.3 %	0.1 %	13.0 %	0.0 %	0.3 %	0.1 %

	Mg 279.553 (121) (Radial)	Mn 257.610 (131) (Radial)	Na 588.995 (57) (Radial)	Sr 407.771 (83) (Axial)	Tl 190.856 (477) (Axial)	As 189.042 (478) (Axial)
Concentration average	23.001 ppm	1.742 ppm	-5.108 ppm	0.208 ppm	-0.012 ppm	0.031 ppm
Concentration per Run 1	22.984 ppm	1.744 ppm	-5.089 ppm	0.210 ppm	-0.015 ppm	0.038 ppm
Concentration per Run 2	23.017 ppm	1.740 ppm	-5.127 ppm	0.206 ppm	-0.010 ppm	0.023 ppm
Concentration RSD	0.1 %	0.1 %	0.5 %	1.5 %	29.2 %	34.6 %

## Anexo 18. Lectura de concentración de minerales en el punto 8 de muestreo en suelo agrícola por método ICP-OES.

	Cd 226.502 (449) (Axial)	Pb 220.353 (453) (Axial)	Cr 283.563 (119) (Axial)	Ni 221.647 (452) (Axial)	Cu 324.754 (104) (Axial)	Zn 213.856 (458) (Axial)
Concentration average	0.011 ppm	0.023 ppm	0.277 ppm	0.142 ppm	0.148 ppm	0.683 ppm
Concentration per Run 1	0.011 ppm	0.025 ppm	0.277 ppm	0.143 ppm	0.148 ppm	0.681 ppm
Concentration per Run 2	0.011 ppm	0.021 ppm	0.276 ppm	0.142 ppm	0.148 ppm	0.685 ppm
Concentration RSD	1.3 %	13.4 %	0.3 %	0.7 %	0.2 %	0.4 %

	Ag 328.068 (103) (Axial)	Al 167.079 (502) (Axial)	B 249.773 (135) (Axial)	Ba 455.403 (74) (Axial)	Bi 223.061 (451) (Axial)	Ca 393.366 (86) (Radial)
Concentration average	-0.024 ppm	94.111 ppm	0.354 ppm	0.659 ppm	-0.134 ppm	18.263 ppm
Concentration per Run 1	-0.024 ppm	94.234 ppm	0.353 ppm	0.660 ppm	-0.123 ppm	18.316 ppm
Concentration per Run 2	-0.024 ppm	93.989 ppm	0.355 ppm	0.658 ppm	-0.145 ppm	18.211 ppm
Concentration RSD	0.4 %	0.2 %	0.3 %	0.2 %	12.0 %	0.4 %

	Co 228.616 (447) (Axial)	Fe 259.940 (130) (Axial)	Ga 294.364 (114) (Axial)	In 230.606 (446) (Axial)	K 766.490 (44) (Radial)	Li 670.784 (50) (Axial)
Concentration average	0.068 ppm	113.268 ppm	0.036 ppm	-0.212 ppm	11.947 ppm	0.079 ppm
Concentration per Run 1	0.068 ppm	114.257 ppm	0.036 ppm	-0.216 ppm	11.910 ppm	0.079 ppm
Concentration per Run 2	0.067 ppm	112.278 ppm	0.037 ppm	-0.208 ppm	11.985 ppm	0.079 ppm
Concentration RSD	1.4 %	1.2 %	2.1 %	2.7 %	0.4 %	0.0 %

	Mg 279.553 (121) (Radial)	Mn 257.610 (131) (Radial)	Na 588.995 (57) (Radial)	Sr 407.771 (83) (Axial)	Tl 190.856 (477) (Axial)	As 189.042 (478) (Axial)
Concentration average	18.991 ppm	1.546 ppm	-6.078 ppm	0.183 ppm	-0.006 ppm	0.028 ppm
Concentration per Run 1	19.068 ppm	1.547 ppm	-6.058 ppm	0.184 ppm	-0.008 ppm	0.023 ppm
Concentration per Run 2	18.914 ppm	1.545 ppm	-6.097 ppm	0.182 ppm	-0.003 ppm	0.032 ppm
Concentration RSD	0.6 %	0.1 %	0.5 %	0.6 %	62.5 %	21.0 %

## Anexo 19. Lectura de concentración de minerales en el punto 9 de muestreo en suelo agrícola por método ICP-OES.

	Cd 226.502 (449) (Axial)	Pb 220.353 (453) (Axial)	Cr 283.563 (119) (Axial)	Ni 221.647 (452) (Axial)	Cu 324.754 (104) (Axial)	Zn 213.856 (458) (Axial)
Concentration average	0.020 ppm	0.016 ppm	0.359 ppm	0.196 ppm	0.269 ppm	0.779 ppm
Concentration per Run 1	0.020 ppm	0.015 ppm	0.358 ppm	0.196 ppm	0.267 ppm	0.780 ppm
Concentration per Run 2	0.020 ppm	0.017 ppm	0.361 ppm	0.196 ppm	0.271 ppm	0.778 ppm
Concentration RSD	0.8 %	11.9 %	0.4 %	0.2 %	0.9 %	0.2 %

	Ag 328.068 (103) (Axial)	Al 167.079 (502) (Axial)	B 249.773 (135) (Axial)	Ba 455.403 (74) (Axial)	Bi 223.061 (451) (Axial)	Ca 393.366 (86) (Radial)
Concentration average	-0.034 ppm	93.556 ppm	0.444 ppm	1.441 ppm	-0.050 ppm	39.029 ppm
Concentration per Run 1	-0.033 ppm	92.972 ppm	0.439 ppm	1.448 ppm	-0.049 ppm	38.688 ppm
Concentration per Run 2	-0.034 ppm	94.141 ppm	0.449 ppm	1.434 ppm	-0.051 ppm	39.370 ppm
Concentration RSD	1.7 %	0.9 %	1.5 %	0.7 %	2.0 %	1.2 %

	Co 228.616 (447) (Axial)	Fe 259.940 (130) (Axial)	Ga 294.364 (114) (Axial)	In 230.606 (446) (Axial)	K 766.490 (44) (Radial)	Li 670.784 (50) (Axial)
Concentration average	0.102 ppm	150.243 ppm	0.045 ppm	-0.333 ppm	19.131 ppm	0.119 ppm
Concentration per Run 1	0.104 ppm	149.708 ppm	0.047 ppm	-0.345 ppm	18.994 ppm	0.118 ppm
Concentration per Run 2	0.100 ppm	150.778 ppm	0.043 ppm	-0.322 ppm	19.268 ppm	0.120 ppm
Concentration RSD	2.8 %	0.5 %	6.1 %	4.9 %	1.0 %	0.8 %

	Mg 279.553 (121) (Radial)	Mn 257.610 (131) (Radial)	Na 588.995 (57) (Radial)	Sr 407.771 (83) (Axial)	Tl 190.856 (477) (Axial)	As 189.042 (478) (Axial)
Concentration average	26.557 ppm	2.598 ppm	-5.414 ppm	0.761 ppm	-0.001 ppm	0.043 ppm
Concentration per Run 1	26.550 ppm	2.589 ppm	-5.399 ppm	0.758 ppm	-0.002 ppm	0.051 ppm
Concentration per Run 2	26.565 ppm	2.606 ppm	-5.429 ppm	0.765 ppm	-0.001 ppm	0.036 ppm
Concentration RSD	0.0 %	0.5 %	0.4 %	0.6 %	53.5 %	24.1 %

## Anexo 20. Lectura de concentración de minerales en el punto 10 de muestreo en suelo agrícola por método ICP-OES.

	Cd 226.502 (449) (Axial)	Pb 220.353 (453) (Axial)	Cr 283.563 (119) (Axial)	Ni 221.647 (452) (Axial)	Cu 324.754 (104) (Axial)	Zn 213.856 (458) (Axial)
Concentration average	0.019 ppm	0.007 ppm	0.416 ppm	0.179 ppm	0.253 ppm	0.870 ppm
Concentration per Run 1	0.019 ppm	0.008 ppm	0.416 ppm	0.179 ppm	0.253 ppm	0.869 ppm
Concentration per Run 2	0.019 ppm	0.006 ppm	0.416 ppm	0.179 ppm	0.253 ppm	0.870 ppm
Concentration RSD	0.9 %	19.4 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %

	Ag 328.068 (103) (Axial)	Al 167.079 (502) (Axial)	B 249.773 (135) (Axial)	Ba 455.403 (74) (Axial)	Bi 223.061 (451) (Axial)	Ca 393.366 (86) (Radial)
Concentration average	-0.033 ppm	92.017 ppm	0.468 ppm	1.298 ppm	-0.230 ppm	35.190 ppm
Concentration per Run 1	-0.033 ppm	92.052 ppm	0.468 ppm	1.298 ppm	-0.230 ppm	35.213 ppm
Concentration per Run 2	-0.033 ppm	91.982 ppm	0.468 ppm	1.295 ppm	-0.230 ppm	35.166 ppm
Concentration RSD	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.2 %	0.1 %	0.1 %

	Co 228.616 (447) (Axial)	Fe 259.940 (130) (Axial)	Ga 294.364 (114) (Axial)	In 230.606 (446) (Axial)	K 766.490 (44) (Radial)	Li 670.784 (50) (Axial)
Concentration average	0.088 ppm	147.163 ppm	0.054 ppm	-0.318 ppm	19.325 ppm	0.134 ppm
Concentration per Run 1	0.088 ppm	147.134 ppm	0.058 ppm	-0.316 ppm	19.490 ppm	0.134 ppm
Concentration per Run 2	0.088 ppm	147.191 ppm	0.050 ppm	-0.319 ppm	19.159 ppm	0.134 ppm
Concentration RSD	0.1 %	0.0 %	10.3 %	0.8 %	1.2 %	0.4 %

	Mg 279.553 (121) (Radial)	Mn 257.610 (131) (Radial)	Na 588.995 (57) (Radial)	Sr 407.771 (83) (Axial)	Tl 190.856 (477) (Axial)	As 189.042 (478) (Axial)
Concentration average	27.563 ppm	2.180 ppm	-4.609 ppm	0.673 ppm	-0.004 ppm	0.016 ppm
Concentration per Run 1	27.172 ppm	2.187 ppm	-4.555 ppm	0.668 ppm	-0.003 ppm	0.024 ppm
Concentration per Run 2	27.955 ppm	2.172 ppm	-4.663 ppm	0.677 ppm	-0.004 ppm	0.009 ppm
Concentration RSD	2.0 %	0.5 %	1.7 %	0.9 %	19.4 %	65.4 %