



Universidad  
Nacional  
de Loja

# Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

**Interpretación de los análisis de la fertilidad del suelo con la solución extractora de Olsen Modificado y el método del elemento faltante.**

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera Agrícola.

**AUTORA:**

Iliana Josefina Vera Sánchez

**DIRECTOR:**

Ing. Edison Ramiro Vásquez, Ph.D.

Loja – Ecuador

2023

## Certificación

Loja, 02 de marzo de 2023

Ing. Edison Ramiro Vásquez, Ph.D.  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

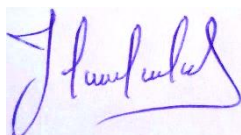
Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Interpretación de los análisis de la fertilidad del suelo con la solución extractora de Olsen modificado y el método del elemento faltante** previo a la obtención del título de **Ingeniera Agrícola**, de autoría de la estudiante **Iliana Josefina Vera Sánchez**, con **cédula de identidad Nro. 1150354072**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Edison Ramiro Vásquez, Ph.D.  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Iliana Josefina Vera Sánchez** declaro ser autora del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**



**Cédula de identidad:** 1150354072

**Fecha:** 27 de noviembre de 2023

**Correo electrónico:** [iliana.vera@unl.edu.ec](mailto:iliana.vera@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0985220276

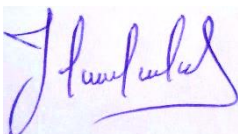
**Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.**

Yo, **Iliana Josefina Vera Sánchez**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **Interpretación de los análisis de la fertilidad del suelo con la solución extractora de Olsen modificado y el método del elemento faltante**, como requisito para optar el título de **Ingeniera Agrícola**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los veinte y siete días del mes de noviembre de dos mil veintitrés.

**Firma:** 

**Autora:** Iliana Josefina Vera Sánchez

**Cédula de identidad:** 1150354072

**Dirección:** Eduardo Kigman y Ricardo Palma

**Correo electrónico** [iliana.vera@unl.edu.ec](mailto:iliana.vera@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0985220276

**DATOS COPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Edison Ramiro Vásquez, Ph.D.

## **Dedicatoria**

Este Trabajo de Titulación se la dedico a mis padres Florinda y Franco por sus consejos, por haber sabido educarme y formarme con buenos sentimientos y valores y de manera especial a mi tía Rosita porque creyó en mí, por su ánimo e impulso ayudarme a ser quien soy.

A mis primas Gabriela, Gina y Denisse por estar a mi lado y darme su apoyo incondicional.

A mis hermanos quienes estuvieron prestos a apoyarme y hacer de éste, mi mayor sueño, una realidad.

A mis queridos sobrinos quienes son mi mayor orgullo y fuente de inspiración para seguir adelante.

A mi abuelito Ángel Sánchez por su infinito cariño, por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía y para mí ángel del cielo mi abuelita María Cumbicus.

***Iliana Josefina Vera Sánchez***

## **Agradecimiento**

A Dios, por darme la sabiduría y permitirme culminar mis estudios, por bendecirme con una excelente familia a la que amo.

A la Universidad Nacional de Loja, a la Carrera de Ingeniería Agrícola y a todos mis docentes, por haber contribuido en mi formación profesional.

De manera especial al Ing. Edison Ramiro Vásquez, mi Director de Trabajo de Titulación, por su asesoramiento constante en el desarrollo de este Trabajo de Titulación, por sus enseñanzas, apoyo, comprensión y paciencia.

Finalmente agradezco a mis valiosos amigos; Jenny, Jorge y Ányelo, quienes se convirtieron en mi familia adoptiva por apoyarme y hacerme sentir como en casa cuando lo necesité, por su amistad sincera y por los buenos momentos que compartimos en el transcurso de la carrera.

***Iliana Josefina Vera Sánchez***

## Índice de contenidos

<b>Portada.....</b>	<b>i</b>
<b>Certificación .....</b>	<b>ii</b>
<b>Autoría.....</b>	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización .....</b>	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>v</b>
<b>Agradecimiento .....</b>	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos.....</b>	<b>vii</b>
<b>Índice de tablas.....</b>	<b>x</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>xi</b>
<b>Índice de anexos .....</b>	<b>xi</b>
<b>1. Título.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Resumen.....</b>	<b>2</b>
Abstract.....	3
<b>3. Introducción .....</b>	<b>4</b>
<b>4. Marco Teórico .....</b>	<b>6</b>
4.1. La Agricultura y los recursos para la producción .....	6
4.2. El suelo.....	6
4.2.1. Características químicas del suelo .....	7
4.2.2. Propiedades físicas del suelo .....	8
4.3. Nutrientes esenciales para el desarrollo de la planta .....	9
4.4. Fertilidad del suelo.....	12
4.5. Análisis de suelo .....	13
4.5.1. Métodos químicos.....	14
4.5.2. Solución extractora BRAY I (1945) .....	14
4.5.3. Solución extractora MEHLICH I (1953) .....	15
4.5.4. Solución extractora MEHLICH III (1984) .....	16
4.5.5. Solución extractora Olsen modificado (1954) .....	16
4.5.6. Determinación de elemento Nitrógeno por el método Kjeldahl. ....	17
4.5.7. Utilización de la solución Olsen modificada en el Ecuador .....	18
4.5.8. Correlación entre métodos de soluciones extractantes .....	19
4.6. Método de evaluación biológica .....	21
4.6.1. Método gráfico de Cate y Nelson (1965).....	21

4.6.2. Método de la planta indicadora.....	21
4.6.3. Técnica del elemento faltante (1970).....	22
4.6.4. Evaluación biológica en la UNL.....	24
4.6.5. Principio del método de la evaluación biológica .....	25
4.7. Solución madre .....	27
4.8. Solución nutritiva.....	28
4.9. Estadística multivariada .....	29
4.9.1. Técnicas descriptivas o de interdependencia .....	30
4.9.2. Técnicas explicativas o de dependencia .....	31
4.10. Investigaciones sobre evaluación química y biológica.....	32
<b>5. Metodología .....</b>	<b>35</b>
5.1. Ubicación.....	35
5.2. Materiales y equipos .....	35
5.3. Metodología para el primer objetivo.....	35
5.3.1. Recolección de datos.....	36
5.4. Metodología para el segundo objetivo.....	36
5.4.1. Correlación entre altura y biomasa de la planta indicadora.....	36
5.4.2. Correlación entre los resultados del análisis químico y la evaluación biológica.....	36
5.4.3. Cantidad de nutrientes en la solución nutritiva.....	37
5.4.4. Contenido de nutrientes del suelo expresados por la altura de la planta indicadora de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) .....	48
5.4.5. Análisis de componentes principales y Biplot.....	49
<b>6. Resultados.....</b>	<b>50</b>
6.1. Sistematización de la información de los resultados de la evaluación biológica y el del análisis químico del suelo. ....	50
6.1.1. Ubicación de los sectores donde se tomaron las muestras.....	50
6.1.2. Base de datos de las investigaciones sobre evaluación biológica.....	50
6.1.3. Investigaciones sobre evaluación biológica.....	50
6.1.4. Identificación de los sectores de muestreo.....	52
6.1.1. Análisis químico del suelo. ....	52
6.1.1. Evaluación biológica del suelo. ....	72
6.2. Relaciones entre las variables meteorológicas, características químicas, físicas y biológicas del suelo, resultados de los análisis químicos y evaluación biológica. ....	83



6.2.1. Relación entre variables meteorológicas y características físicas y químicas del suelo.....	83
6.2.2. Correlación entre altura y biomasa seca de la planta indicadora. ....	84
6.2.3. Correlación entre los resultados del análisis químico y la evaluación biológica.....	86
6.2.4. Relación entre variables meteorológicas, características del suelo, resultados del análisis químico y evaluación biológica.....	87
6.2.1. Relación entre variables meteorológicas, características del suelo y resultados de la evaluación biológica.....	88
6.3. Estudio de caso .....	89
6.3.1. Modelo de regresión para biomasa en función de altura de la planta indicadora....	89
6.3.2. Modelo de regresión para el contenido de nutriente expresado por biomasa seca en función de altura de la planta indicadora.....	90
6.3.3. Correlación para el contenido de nutriente del análisis químico y el expresado por la altura de la planta y la biomasa seca .....	91
6.3.4. Contenido de nutriente del análisis químico y el expresado por la altura de planta y biomasa seca.....	92
<b>7. Discusión .....</b>	<b>93</b>
7.1. Sistematización de la información de los resultados de la evaluación biológica y el del análisis químico del suelo. ....	93
7.2. Relaciones entre las variables meteorológicas, características químicas, físicas y biológicas del suelo, resultados de los análisis químicos y evaluación biológica. ....	93
7.2.1. Correlación entre altura y biomasa seca de la planta indicadora (tomate). ....	93
7.2.2. Correlación entre los resultados del análisis químico y la evaluación biológica.....	93
7.2.3. Relación entre variables meteorológicas, características químicas, físicas y biológicas del suelo, los resultados de los análisis químicos y la evaluación biológica.....	97
<b>8. Conclusiones .....</b>	<b>98</b>
<b>9. Recomendaciones .....</b>	<b>99</b>
<b>10. Bibliografía .....</b>	<b>100</b>
<b>11. Anexos.. .....</b>	<b>108</b>

## Índice de tablas:

<b>Tabla 1.</b>	Soluciones madre para preparar las soluciones nutritivas. ....	28
<b>Tabla 2.</b>	Soluciones madre para preparar las soluciones nutritivas. ....	29
<b>Tabla 3.</b>	Correlación entre altura y biomasa de la planta indicadora. ....	36
<b>Tabla 4.</b>	Correlación entre los del análisis químico y de la evaluación biológica. ....	36
<b>Tabla 5.</b>	Cantidad elementos para preparar la solución completa. ....	47
<b>Tabla 6.</b>	Cantidad de los elementos para preparar las soluciones nutritivas. ....	47
<b>Tabla 7.</b>	Investigaciones sobre evaluación biológica. ....	51
<b>Tabla 8.</b>	Ubicación de sectores de muestreo y variables meteorológicas. ....	53
<b>Tabla 9.</b>	Características físicas del suelo. ....	54
<b>Tabla 10.</b>	Características químicas del suelo. ....	62
<b>Tabla 11.</b>	Análisis químico del suelo. ....	67
<b>Tabla 12.</b>	Altura de la planta indicadora. ....	73
<b>Tabla 13.</b>	Biomasa seca de la planta indicadora. ....	78
<b>Tabla 14.</b>	Correlación de las componentes principales con las variables para caracterizar los sitios de muestreo. ....	84
<b>Tabla 15.</b>	Correlación entre altura y biomasa seca de la planta indicadora. ....	84
<b>Tabla 16.</b>	Correlación entre los resultados del análisis químico y la evaluación biológica. .	86
<b>Tabla 17.</b>	Correlación entre los resultados del laboratorio de suelos y los resultados de la evaluación biológica. ....	88

## Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b> Método grafico de Cate y Nelson.....	21
<b>Figura 2.</b> Ubicación del proyecto de investigación.....	35
<b>Figura 3.</b> Altura de la planta indicadora en la solución completa.....	48
<b>Figura 4.</b> Ubicación geográfica de los sectores de estudio. ....	50
<b>Figura 5.</b> Componentes principales y biplot de las características de los sectores de muestreo. .....	83
<b>Figura 6.</b> Correlación entre altura y biomasa seca de la planta indicadora. ....	85
<b>Figura 7.</b> Correlación entre los resultados del análisis químico y la evaluación biológica. .	87
<b>Figura 8.</b> Componentes principales y biplot para variables meteorológicas, características del suelo, resultados del análisis químico y la evaluación biológica.....	88
<b>Figura 9.</b> Componentes principales y biplot para las características del suelo y los resultados de la evaluación biológica.....	89
<b>Figura 10.</b> Correlación entre altura de la planta y la biomasa seca. ....	89
<b>Figura 11.</b> Correlación entre altura de la plata y la biomasa seca. ....	90
<b>Figura 12.</b> Correlación entre altura de la plata y la biomasa seca. ....	91
<b>Figura 13.</b> Contenido de nutriente del análisis químico y el expresado por la altura de la planta y la biomasa seca.....	92

## Índice de anexos:

<b>Anexo 1.</b> Evaluación biológica utilizando tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> , L) como planta indicadora.....	108
<b>Anexo 2.</b> Limpieza de las plantas para ser llevadas a la estufa. ....	108
<b>Anexo 3.</b> Equivalente químico de las sales. ....	109
<b>Anexo 4.</b> Concentración de los fertilizantes para preparar las soluciones nutritivas. ....	110
<b>Anexo 5.</b> Certificación de Abstract. ....	111

## **1. Título**

**Interpretación de los análisis de la fertilidad del suelo con la solución extractora de Olsen modificado y el método del elemento faltante.**

## 2. Resumen

En la Universidad Nacional de Loja se han realizado varias investigaciones sobre evaluación biológica, utilizando el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) como planta indicadora. En Ecuador, la Red de Laboratorios de Suelos (RELASE) utiliza, en general para todos los suelos, la solución extractora de Olsen Modificado para determinar el contenido de elementos químicos en el suelo. Los resultados de los análisis químicos; no siempre, se correlacionan con el peso de la biomasa seca. En estas consideraciones, en la presente investigación, se propuso sistematizar la información de los resultados de la evaluación biológica y el análisis químico, explorar posibles relaciones mediante técnicas de análisis estadístico entre las variables meteorológicas, características químicas, físicas y biológicas del suelo. Para la sistematización de la información se recolectó datos de 12 tesis de pregrado realizadas en las provincias ecuatorianas: Esmeraldas, Los Ríos, Zamora Chinchipe y Loja. Se realizó sendos cálculos de correlación entre altura y peso de la biomasa seca de la planta indicadora y análisis de componentes principales con *biplot* para establecer las relaciones entre las variables involucradas. Se evidenció falta de correlación entre los resultados del análisis químico del laboratorio con los resultados de la evaluación biológica; en el sector El Cristal (Malacatos, Loja), se determinó una asociación polinomial de la biomasa seca en función de la altura de planta indicadora. En comparación con la solución extractora, la evaluación biológica, expresa de manera más confiable el contenido de nutrientes del suelo.

**Palabras clave:** *evaluación biológica, planta indicadora, solución extractora, correlación, biplot.*

## **Abstract**

At the National University of Loja, several investigations on biological evaluation have been carried out using tomato (*Solanum Lycopersicon L.*) as an indicator plant. In Ecuador, the Soil Laboratory Network (RELASE) uses, in general for all soils, the Modified Olsen's extractant solution to determine the content of chemical elements in the soil; however, this solution is used in a general way for all grounds. The results of the chemical analyses not always, are correlated with the weight of dry biomass. In these considerations, in the present research, it was proposed to systematize the information from the results of the biological evaluation and chemical analysis to explore possible relationships through statistical analysis techniques between meteorological variables and chemical, physical, and natural characteristics of the soil. For the systematization of the information, data was collected from 12 undergraduate theses carried out in the Ecuadorian provinces of Esmeraldas, Los Ríos, Zamora Chinchipe, and Loja. Correlation calculations were made between the indicator plant's height and weight of dry biomass and principal component analysis with a biplot to establish the relationships between the variables involved. There was a lack of correlation between the laboratory chemical analysis results and the biological evaluation results; in the El Cristal sector (Malacatos, Loja), a polynomial association of the dry biomass as a function of the height of the indicator plant was determined. Compared with the extractive solution, the biological evaluation expresses more reliably the nutrient content of the soil.

***Keywords:*** *biological evaluation, indicator plant, extractant solution, correlation, biplot.*

### 3. Introducción

Con el paso de los años la agricultura se ha modernizado y este cambio se basa principalmente en la práctica de una agricultura intensiva y no extensiva; al cultivar de forma intensiva, los nutrientes del suelo se agotan, debido a la constante extracción por los cultivos, esto implica la reposición de los nutrientes a través de fertilizantes químicos y orgánicos.

Para determinar la cantidad de elementos disponibles en el suelo se utiliza métodos como el análisis químico y métodos biológicos o en combinación. El laboratorio utiliza soluciones extractoras mediante el análisis químico que simulan la absorción de nutrimentos por la planta; los valores de los nutrientes obtenidos mediante la extracción, para que tengan significado, deben ser correlacionados con la altura y peso de biomasa de la planta indicadora, generalmente tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a través de pruebas biológicas.

En el Ecuador la Red de Laboratorios de Suelos (RELASE) realiza análisis de suelo utilizando la solución extractora Olsen modificado, indistintamente para todos los suelos del país, sin tomar en cuenta la diversidad climática, geológica y fisiográfica; además, no se correlaciona con las soluciones extractoras como Mehlich III (1984) y Bray (1945); por tanto, la concentración de los elementos extraída no es la que se encuentra disponible en el suelo, dando lugar a una errónea interpretación y en consecuencia, inadecuada toma de decisiones en la recomendación del plan de fertilidad para los cultivos.

En la Universidad Nacional de Loja, se han realizado una serie de investigaciones en distintos suelos del país, con la finalidad de encontrar la correlación entre los contenidos de la solución extractora y la evaluación biológica o método del elemento faltante; resultados que, por lo general, evidencian ausencia de correspondencia entre la altura y/o peso de la biomasa seca de la planta indicadora en la evaluación biológica con el contenido de nutrientes disponibles del análisis químico.

Por lo expuesto, en esta investigación se discute los resultados obtenidos del análisis químico del laboratorio y la evaluación biológica; mediante técnicas estadísticas se busca relaciones entre las variables meteorológicas, características físicas, químicas y biológicas del suelo lo que permitirá generar conocimiento sobre la disponibilidad de macro y micro nutrientes.

**Objetivo general**

- Contribuir a la interpretación de los análisis de la fertilidad del suelo utilizando la solución extractora Olsen Modificado y el método del elemento faltante.

**Objetivos específicos**

- Sistematizar la información de los resultados del peso de la materia seca de la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico.
- Explorar las relaciones mediante técnicas de análisis estadístico entre las variables meteorológicas, características químicas, físicas y biológicas del suelo, los resultados de los análisis químicos y la evaluación biológica.



## 4. Marco Teórico

### a. La Agricultura y los recursos para la producción

El surgimiento de la agricultura se remonta al Neolítico, se trata de una actividad económica con más de 10 000 años de historia. Si bien la humanidad se estructuró en áreas con sociedades de cazadores-recolectores, el surgimiento de la agricultura fue un verdadero avance, las sociedades pasaron de la subsistencia de la caza y la recolección que les obligaba a ser nómadas, a cultivar una gran variedad de productos que, con el paso del tiempo y la aparición de excedentes, permitieron las colonias y la división del trabajo (Morales, 2021).

Agricultura está conformada por el término **agri** que es sinónimo de campo de cultivo y **cultura** que puede traducirse como cultivo o cultivado. La agricultura es la labranza de la tierra que abarca todos los trabajos relacionados con el tratamiento del suelo y la plantación de vegetales. Las actividades agrícolas están enfocadas a la producción de alimentos y la obtención de vegetales, frutas, hortalizas y granos. La agricultura implica un cambio ambiental para satisfacer las necesidades humanas (Borja y Valdivia, 2015).

El suelo, agua, clima, constituyen recursos indispensables para la producción de alimentos de origen vegetal y animal

### b. El suelo

El suelo es un cuerpo natural compuesto por minerales, materia orgánica, aire y agua, ocupa un espacio y se caracteriza porque tiene horizontes o capas que se diferencian del material inicial, se ha formado lentamente por la descomposición a través de la acción meteorológica, la acción de la vegetación y del ser humano (FAO, 2002b). Ha estado sometido a la influencia de factores genéticos y ambientales como el material parental, clima, macro y microorganismos y topografía (Jaramillo, 2002)

El suelo, cumple múltiples funciones, entre ellas, ayuda a reincorporar a los ciclos biogeoquímicos de la naturaleza los elementos químicos que se hallan en la atmósfera como el nitrógeno, indispensable en la nutrición de plantas y animales, o aquellos que quedan en los restos de plantas y animales, como el carbono y el fósforo, entre otros; y la más evidente, la función de soporte y suministro de nutrientes para las plantas; cabe destacar que hay una relación sinérgica entre el suelo y el agua, el desarrollo está directamente ligado a la riqueza del suelo y a la disponibilidad de agua, en un proceso de retención, infiltración y almacenamiento del agua en el ámbito del ciclo hidrológico, lo que permite la recarga de los acuíferos (Burbano, 2010).

El clima es uno de los factores que influyen de manera directa sobre la formación del suelo, condiciona la velocidad de meteorización de la roca madre; los elementos más importantes del clima en la formación de suelo son temperatura y precipitación: el agua es el solvente y medio para todas las reacciones y procesos del suelo, mientras que la temperatura determina la tasa de reacciones químicas y la intensidad de la actividad biológica (INTAGRI, 2017a).

#### *i. Características químicas del suelo*

Entre las características químicas del suelo, por su importancia, se mencionan la capacidad de intercambio catiónico (CIC), potencial hidrógeno (pH) y la conductividad eléctrica (CE).

La **CIC**, es una medida de la cantidad de carga negativa en la superficie de los minerales y los componentes orgánicos del suelo (arcilla, materia orgánica o materia húmica) y la cantidad de cationes (Ca, Mg, Na, K, NH<sub>4</sub>, entre otros) que la superficie puede almacenar. Los valores de CIC indican la capacidad del suelo para retener cationes, la disponibilidad y cantidad de nutrientes para la planta y pH potencial. Los suelos con baja CIC indican baja capacidad de retención de nutrientes, suelos arenosos o pobres en materia orgánica (FAO, 2019).

La arcilla tiene una capacidad de 10 a 150 cmol(+)/kg, mientras que la materia orgánica tiene una capacidad de 200 a 400 cmol(+)/kg; la materia orgánica tiene alta CIC, lo que permite mayor capacidad de retención de nutrientes (INTAGRI, 2015).

El **pH**, determina el grado de absorción de iones (H) de las partículas del suelo e indica si el suelo es ácido o alcalino. Es un indicador que influye en la solubilidad, movilidad, disponibilidad de nutrientes y de otros constituyentes y contaminantes orgánicos presentes en el suelo. El valor pH en el suelo varía de 3,5 (muy ácido) a 9,5 (muy alcalino); suelos ácidos (< 5,5) tienden a contener niveles altamente tóxicos de Al y Mn, mientras que en suelos alcalinos (> 8,5) tienden a dispersarse. En suelos ácidos, la actividad de los organismos del suelo se inhibe, el pH ideal para los cultivos es de 6,5 (FAO, 2019).

El pH influye en la fertilidad del suelo, indica si contiene niveles tóxicos de Al y Mn, y si contiene niveles bajos de elementos básicos como Ca y Mg, se puede regular con la adición de sustancias como el óxido de calcio. La disponibilidad de otros nutrientes esenciales para la planta depende de los valores de pH.

La acidificación del suelo inhibe el crecimiento de las plantas, debido a una disminución en la disponibilidad de algunos nutrientes como Ca, Mg, K y P, que contribuye a la disolución

de los elementos tóxicos en el suelo, perjudicando las plantas, estos elementos pueden ser tanto Al como Mn (Rivera *et al.*, 2018).

La **CE**, es la capacidad de la solución del suelo para transportar corriente eléctrica en función del contenido de sales disueltas o ionizadas en la solución; a mayor CE, mayor es la concentración de sales. Esta propiedad permite seleccionar el tipo de cultivo y la variedad a establecerse de acuerdo con su tolerancia a los niveles de salinidad en el suelo (Fertilab, 2019).

## *ii. Propiedades físicas del suelo*

Por la importancia que reviste, se exponen las propiedades físicas del suelo: textura, densidad aparente, color del suelo y profundidad.

La **textura del suelo**, expresa la proporción de las partículas del suelo: arcilla (< 0,002 mm), limo (0,002 a 0,050 mm) y arena (0,05 y 2,00 mm), que se pueden agrupar en fina, media y gruesa. Además, influye en la cantidad y disponibilidad de agua y nutrientes, así como en la aireación, drenaje, retención de humedad, fertilidad y susceptibilidad a la erosión (INTAGRI, 2017b).

La **densidad aparente**, es la masa de suelo por unidad de volumen. Una densidad aparente alta indica un suelo denso o un alto contenido de partículas granulares como la arena; sin embargo, una densidad aparente baja no indica necesariamente un entorno favorable para el crecimiento de las plantas (FAO, 2016).

Según Rubio (2010), la densidad aparente es un indicador de las propiedades del suelo, como compactación, porosidad, aireación y permeabilidad, lo que facilita la circulación del suelo, el agua y el aire del suelo, los procesos vegetativos (emergencia, enraizamiento) y el manejo del suelo.

El **color del suelo** depende de sus componentes y varía con el contenido de humedad, materia orgánica y grado de oxidación de minerales. Se puede evaluar como una medida indirecta de ciertas propiedades del suelo. Se usa para distinguir las secuencias en un perfil del suelo, determinar el origen de la materia parental, presencia de materia orgánica, estado de drenaje y la presencia de sales y carbonato (FAO, 2016).

La **profundidad efectiva del suelo** se considerada como la espesura del suelo; sin embargo, la presencia de raíces y la actividad biológica que frecuenta a menudo en el horizonte C, realza la importancia de incluir este horizonte en la definición de profundidad del suelo. En la práctica los estudios con levantamiento de suelos utilizan límites de profundidad arbitrarios, hasta 200 cm FAO, (2016).

### c. Nutrientes esenciales para el desarrollo de la planta

Cueva (2019) manifiesta, los nutrientes minerales esenciales para las plantas son aquellos necesarios para la ocurrencia de un ciclo de vida completo, los que están involucrados en funciones metabólicas o estructurales en las cuales no pueden ser sustituidos y cuya deficiencia se asocia a síntomas específicos.

Los macronutrientes se requieren en cantidades relativamente grandes, y los micronutrientes se requieren en cantidades muy pequeñas; esto no implica que los micronutrientes sean menos importantes para la planta, una deficiencia de un micronutriente puede limitar el crecimiento de la planta, en la misma medida que una deficiencia de macronutrientes. Dieciséis elementos son considerados nutrientes esenciales para las plantas: C, O, H, N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo y Cl (Sela, 2019).

El **Nitrógeno** es absorbido por las raíces de la planta, preferentemente en forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) o de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Los factores que influyen en la absorción de este elemento por parte de la planta son intensidad lumínica, especie y tipo de planta. La función más importante del N, es la acción directa sobre el incremento de la masa seca porque favorece el desarrollo del tallo, follaje y contribuye en la formación de frutos y granos (Rodríguez y Flórez, 2004).

Según Durán (2016), por ser un elemento importante para la estructura de la planta, la carencia de N frena el desarrollo y provoca vulnerabilidad ante plagas y enfermedades; el exceso, igualmente es perjudicial, supone un crecimiento exagerado, con tejidos débiles que atraen las plagas y facilita la entrada de hongos, adicionalmente induce a una menor floración.

El **fósforo** se considera factor de precocidad, activa el desarrollo inicial del cultivo y favorece la maduración; la carencia de fósforo provoca un retraso general en el crecimiento y un aumento de la vulnerabilidad de la planta a los posibles ataques de parásitos (García *et al.*, 2010).

La cantidad total de P en la capa arable del suelo puede oscilar de 200 a 5000 mg/kg, pero sólo menos de 1 % está disponible para la planta. En la solución del suelo la concentración es de 0,1 mg/L y la planta lo puede extraer directamente. El pH más favorable para la disponibilidad de P es menor que la neutralidad (pH 6,0 a 6,5). Los complejos solubles con iones fosfato y cationes di y trivalentes y los de P orgánico forman una parte abundante del P total en la solución del suelo (Afif *et al.*, 2013).

El **Potasio**, se encuentra en mayor proporción en las plantas y es relativamente frecuente en las rocas. A diferencia del P, el K se encuentra en la mayoría de los suelos en cantidades

relativamente grandes. En general, su contenido como  $K_2O$  oscila de 0,20 a 3,30 % y depende de la textura en suelos sódicos, varía entre 2,50 – 6,70 % (Benavides, 2022).

El potasio es un macronutriente absorbido por las plantas en grandes cantidades, siendo superado sólo por el N y, a veces por el Ca. El K, es el nutriente que menores problemas de disponibilidad presenta; en general, la provisión de este elemento en los suelos es aceptable. A diferencia del fósforo o del azufre y por extensión del nitrógeno, el potasio está presente en la solución del suelo solamente como un catión cargado positivamente ( $K^+$ ) (Sanzano, 2016).

El **Calcio** es esencial para el crecimiento de raíces y como constituyente del tejido celular de las membranas; aunque la mayoría de los suelos contienen suficiente disponibilidad de Ca para las plantas, la deficiencia puede darse en suelos tropicales. Sin embargo, el objetivo de la aplicación de Ca es usualmente el encalado para reducir la acidez del suelo (FAO, 2002).

El contenido medio de Ca en la corteza terrestre es 3,64 %, es el quinto elemento más abundante. El contenido en Ca de los diferentes tipos de suelo varía ampliamente dependiendo principalmente de los materiales de origen y del grado en que la meteorización y la lixiviación han influenciado el proceso de acidificación (Infoagro, 2017).

El Ca presente en el suelo, aparte del añadido como fertilizante o enmienda, procede de las rocas y de los minerales del suelo, y su contenido total puede variar ampliamente. En los suelos considerados no calizos oscila de 0,10 a 0,20 %, mientras que en los calizos puede alcanzar hasta un 25 % (Benavides, 2022).

El **Magnesio** es absorbido por las plantas como un catión divalente ( $Mg^{2+}$ ), su absorción puede ser afectada por relaciones altas de Ca/Mg, en cuyo caso las plantas absorben menos Mg. La deficiencia puede acentuarse con dosis altas de K; tiene funciones importantes dentro de la planta, la deficiencia de Mg se caracteriza por una clorosis de las hojas bajas (Rodríguez y Flórez, 2004).

El Mg en las plantas se encuentra en contenidos menores al de Ca (0,15 a 0,75 % de materia seca). Este nutriente forma parte de la molécula de clorofila por lo que se encuentra íntimamente involucrado en la fotosíntesis. Cumple un rol en la síntesis de aceites y proteínas y la actividad de enzimática del metabolismo energético (Andina, 2016).

El **Azufre** es absorbido por las raíces de las plantas en forma de anión sulfato ( $SO_4^{2-}$ ), forma parte de proteínas y vitaminas como la tiamina y la biotina, y es componente de numerosas enzimas, es constituyente de compuestos volátiles (isotiocianatos y sulfóxidos) responsables por el olor característico de algunas especies como la cebolla y el ajo (Rodríguez y Flórez, 2004). En la mayoría de las plantas suple de 0,2 a 0,3 % (0,05 a 0,50) del extracto seco.

La deficiencia de S se manifiesta cuando toda la planta se torna amarilla; las hojas más altas toman un color amarillento aun siendo jóvenes y la madurez del cultivo se retrasa (FAO, 2002a).

El **Cobre** es uno de los elementos esenciales tanto para las plantas como para los animales; sin embargo, cantidades excesivas puede producir efectos tóxicos. Entre los diferentes tipos de rocas ígneas, el Cu prevalece en los basaltos; en las rocas sedimentarias es más abundante en los esquistos. En general, su abundancia en las rocas basálticas es más alta que en las graníticas y muy baja en las rocas carbonatadas (García *et al.*, 2010).

La escasez de Cu se observa primero en las hojas jóvenes, presentando deformación y clorosis; también puede dificultar la normal lignificación del tallo. Este problema se presenta con frecuencia por el cultivo en sustratos alcalinos, pero se soluciona fácilmente aplicando un fungicida con Cu a las hojas (Durán, 2016).

El **Manganeso**, es un microelemento similar al Fe, tanto en su química como en su geología y muy abundante en la litosfera. El contenido en el suelo muestra variaciones considerables, pero normalmente fluctúa de 20 a 800 mg/kg. No obstante, y al igual que en el caso del Fe, estos contenidos totales no pueden considerarse como una indicación de su disponibilidad para las plantas ya que existen muchos factores que afectan a su absorción (Guerra y Lozano, 2014).

El manganeso se absorbe sobre todo como catión manganoso ( $Mn^{2+}$ ), aunque en el suelo también puede existir como  $Mn^{3+}$  o  $Mn^{4+}$ , óxidos insolubles y quelatos. El manganeso es soluble a pH ácidos y en suelos encharcados. Su solubilidad se reduce en suelos alcalinos o ácidos con alto contenido de materia orgánica. Es un elemento poco móvil en la planta y su deficiencia se manifiesta primero en las hojas jóvenes (Rodríguez y Flórez, 2004).

El **Zinc**, es un elemento ampliamente distribuido que se halla en cantidades pequeñas, pero suficientes, en la mayoría de los suelos y plantas. La cantidad de Zn que se puede encontrar en un suelo depende directamente de la naturaleza de la roca madre (Roca, s.f). El zinc es absorbido por la planta como catión divalente ( $Zn^{2+}$ ) o quelato vía radical o foliar. La deficiencia de zinc comienza en las hojas jóvenes, las cuales presentan un amarillamiento progresivo y disminución del tamaño de la hoja (Rodríguez y Flórez, 2004).

El **Hierro**, suele ser muy abundante en los suelos, pero su solubilidad depende, sobre todo, del pH; en medio ácido es muy soluble, por tanto, puede ser asimilado fácilmente por las plantas. En medio básico es muy poco soluble; en este caso las excreciones ácidas de las raíces favorecen la solubilidad del hierro y la absorción por las plantas (Cerisola, 2015).

Las formas de Fe más comunes en el suelo y en las soluciones nutritivas son los quelatos de  $\text{Fe}^{3+}$  y de  $\text{Fe}^{2+}$ . Sin embargo, la forma catiónica que es absorbida significativamente por las raíces es  $\text{Fe}^{2+}$ .

La deficiencia de Fe se caracteriza porque las plantas desarrollan clorosis intervenal pronunciada. Debido a que este elemento es poco móvil dentro de la planta, los síntomas de deficiencia aparecen en las hojas jóvenes (Rodríguez y Flórez, 2004).

El **boro** es un micronutriente esencial para plantas vasculares, diatomeas y algunas especies de algas verdes. No parece ser esencial para hongos y bacterias (con la excepción de cianobacterias), tampoco lo es para animales. Parece que los requerimientos de boro se hacen esenciales de forma paralela a la lignificación y diferenciación xilemática de los integrantes del reino vegetal (Alarcon, 2001).

El boro es absorbido por las plantas principalmente bajo la forma de ácido bórico  $\text{H}_3\text{BO}_3$  no disociado, fundamentalmente mediante los mecanismos de flujo de masas (65%) y difusión (32%). Aunque parece que en alguna extensión se absorbe de forma activa, como anión borato  $\text{B}(\text{OH})_4^-$ . El boro es relativamente poco móvil en el interior de las plantas y los contenidos son superiores en las partes basales respecto a las partes más altas de las plantas, especialmente si el boro está en exceso (Alarcon, 2001).

#### **d. Fertilidad del suelo**

Según Cerisola (2015), la fertilidad es la capacidad que tiene el suelo para suministrar elementos nutritivos a las plantas; la sola presencia del elemento nutritivo no nutre a la planta, sino que estos deben ser retenidos durante cierto tiempo, para evitar su pérdida y puestos a disposición de los vegetales. Es una cualidad que deriva de la interrelación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; a la vez, es influenciada por las prácticas de manejo que del suelo. La fertilidad se relaciona con la capacidad que tiene el suelo de suministrar los nutrientes esenciales y condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las praderas y/o cultivos (Martínez y Gallardo, 2017).

En cuanto a la capacidad del suelo para suministrar elementos nutritivos a las plantas, se identifica la fertilidad química y fertilidad biológica.

**Fertilidad química**, es la capacidad que tiene el suelo de proveer nutrientes esenciales a los cultivos, aquellos que de faltar determinan reducciones en el crecimiento y/o desarrollo del cultivo. En este sentido, se evalúa la disponibilidad de nutrientes en el suelo a través de análisis

de suelos y/o plantas a través de un proceso de diagnóstico y posteriormente se definen estrategias de fertilización (Ibáñez, 2008).

Cuantitativamente, el análisis físico-químico del suelo es la base de las modernas recomendaciones de abonado, que establecen las cantidades de enmiendas y fertilizantes a aplicar; en términos más simples, el propósito del análisis de suelos es determinar el estado de su fertilidad e identificar los nutrientes que podrían limitar el rendimiento de las plantas, ya sea por encontrarse en exceso o en deficiencia (López, 2013).

**Fertilidad biológica**, se vincula con los procesos biológicos del suelo, relacionados con sus organismos, en todas sus formas. Los organismos del suelo son imprescindibles para sostener diversos procesos del suelo; posiblemente sea el área de conocimiento edafológico menos desarrollada, pero con algunos avances interesantes en los últimos años en lo que se refiere a estudios enzimáticos (bioquímica de suelos) y ecología microbiana de suelos (Ibáñez, 2008).

Videgaín (2018) manifiesta, en cuanto a la fertilidad biológica, los microorganismos del suelo pueden usarse como bioindicadores debido a su gran sensibilidad a pequeñas modificaciones a corto plazo, lo cual es debido al rol que juegan en la fertilidad, conservación y mantenimiento de los suelos, así como su papel clave en la estabilidad y funcionamiento de los agro sistemas, y su capacidad de recuperación cuando se encuentran sometidos a procesos de degradación.

#### **e. Análisis de suelo**

Según Tamargo (2017), el análisis de suelo es una técnica compleja que une diversos métodos analíticos con sus respectivas extracciones, básicamente remueve los nutrientes más importantes del suelo y mide su disponibilidad para la planta. Chan (2023) es una herramienta útil, que permite orientar sobre el grado de suficiencia o deficiencia de los nutrientes, así como las condiciones adversas que pueden perjudicar a los cultivos, tales como la acidez excesiva, la salinidad y la toxicidad de algunos elementos.

Existen muchos procedimientos analíticos para determinar el grado de fertilidad del suelo, los cuales varían según las características de los suelos, tales como mineralogía de arcillas, tipo de carga iónica, CIC, pH, entre otros. Muchos de esos procedimientos fueron diseñados para condiciones específicas del suelo; por esta razón, se debe establecer en cada



región estudios de calibración y correlación de análisis de suelos con el fin de escoger el método más apropiado para las condiciones de suelos que predominen (Molina, 2007).

### *i. Métodos químicos*

Para estimar las cantidades de nutrientes disponibles para las plantas, se desarrollaron diferentes métodos de extracción; el suelo generalmente, contiene cantidades mucho mayores de nutrientes que lo que se indican en el análisis de suelo; no obstante, no todo está disponible para absorción por las plantas.

Para Sela (2021) el método de extracción, es un procedimiento que consiste en agregar un extractante (un químico) a la muestra de suelo; la extracción libera a la solución de extracción, nutrientes que están adsorbidos en las partículas del suelo. Algunos métodos de extracción son más adecuados para condiciones específicas del suelo. Por lo tanto, diferentes laboratorios pueden proporcionar resultados diferentes para la misma muestra de suelo.

Bertsch *et al.* (2005) señalan, las soluciones extractoras, para poder ser adoptadas como metodologías útiles, deben presentar, ante todo, una correlación satisfactoria con el rendimiento de las plantas, de modo que concentraciones bajas extraídas con la solución deben coincidir con rendimientos bajos y concentraciones altas con rendimientos altos.

Los extractantes más utilizados han sido ácidos y bases; los ácidos diluidos se utilizan en suelos ácidos, mientras que las bases diluidas, como carbonatos y bicarbonatos, se utilizan principalmente en suelos alcalinos (Cabalceta y Molina, 2006).

Ramos (2003) manifiesta, la correspondencia entre los valores de extracción de un elemento con los valores de absorción del mismo elemento determina el nivel de eficiencia de la solución extractora.

En Costa Rica se utiliza la solución Olsen Modificado para análisis de P, K, Fe, Cu, Zn, y Mn disponibles, y el KCl para acidez intercambiable, Ca y Mg (Díaz y Hunter, 1978). También se ha propuesto el uso de la solución Mehlich III para el análisis simultáneo de todos los nutrientes (Cabalceta y Molina, 2006), aunque todavía no hay convencimiento que pueda sustituir a Olsen. Los niveles críticos con estos procedimientos han sido establecidos en condiciones de invernadero para los suelos del país (Bertsch *et al.*, 2005).

### *ii. Solución extractora BRAY I (1945)*

El método P de prueba de suelo P-1 de Bray y Kurtz fue desarrollado por Roger Bray y Touby Kurtz en la Estación Experimental Agrícola de Illinois en 1945 (Boschetti *et al.*, 2003)

Se ha demostrado que el fósforo extraído por el método Bray y Kurtz P-1 está bien correlacionado con la respuesta del rendimiento del cultivo en la mayoría de los suelos ácidos y neutros. Para suelos ácidos, el fluoruro en el extractante de Bray y Kurtz mejora la liberación de P de los fosfatos de aluminio y la disminución de la actividad de Al en solución a través de la formación de varios complejos Al-F. El fluoruro es también eficaz para suprimir la reabsorción de P solubilizado por los coloides del suelo. La naturaleza ácida del extractante (pH 2,6) también contribuye a la disolución del P disponible de las formas Al, Ca y Fe en la mayoría de los suelos. La prueba de suelo Bray and Kurtz P-1 no es adecuada para:

- Suelos arcillosos con un grado moderadamente alto de saturación de bases,
- Suelos franco arcilloso limosos o de textura más fina que son calcáreos o tienen un alto valor de pH (> 6,8) o tienen un alto grado de saturación de bases,
- Suelos con un equivalente de carbonato de calcio > 7 % de la saturación de bases, o
- Suelos con grandes cantidades de cal (mayor al 2% de carbonato de calcio) (Molina, 2012).

Ramos (2003) menciona, dicha solución está formada por fluoruro de amonio 1M y ácido clorhídrico 0,5M. Para suelos ácidos, el fluoruro incrementa la liberación del fósforo y decrece la liberación del aluminio por la formación del complejo de aluminio y fluoruro. Es una solución extractora no recomendable para suelos calcáreos debido a la neutralización de los carbonatos de calcio lo cual disuelve el complejo de fósforo-calcio. Una desventaja de esta solución es la interferencia del flúor en la formación del color, para evitar esta interferencia se adiciona bisulfito de sodio.

### *iii. Solución extractora MEHLICH I (1953)*

La prueba de suelo Mehlich I para P, también conocida como ácido doble diluido o Carolina del Norte este extractante, fue desarrollado en 1950 por Mehlich y sus colaboradores (Mehlich, 1978).

A nivel mundial el método Melich I se utiliza principalmente como agente de extracción de múltiples elementos como P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, y Zn. Extrae el fósforo combinado con el aluminio, el hierro y en forma de fosfatos de calcio y además se adapta mejor a los suelos ácidos (pH <6,5) con escasa capacidad de intercambio catiónico (<10cmol (+) kg) y con contenido de materia orgánica menor al 5% (Molina, 2012)

Molina (2007) reportó, la prueba de suelo Mehlich I no era confiable para suelos calcáreos o alcalinos porque extrae grandes cantidades de P no lábil en suelos con pH > 6,5, suelos que se han enmendado recientemente con fosfato de roca y suelos con alto contenido de

cationes capacidad de intercambio (CIC) o alta saturación de bases. En suelos como estos, la acidez de la solución de Mehlich I se neutraliza, lo que reduce la capacidad del ácido diluido para extraer P; similarmente, las reducciones en la eficiencia de extracción de P se han atribuido a la arcilla y al aluminio y al hierro hidratados óxidos.

Según Ramos (2003), este método sirve básicamente para determinar el fósforo en los suelos arenosos que tienen una capacidad de intercambio menor a 10 meq/100g. De pH ácido de 6,5 con un contenido relativamente bajo de materia orgánica menor de 5 %, este método no es recomendable para suelos alcalinos, extrae cantidades de fósforo no disponible en suelos con pH mayores de 6,0.

#### ***iv. Solución extractora MEHLICH III (1984)***

La prueba de suelo Mehlich III fue desarrollada por el Dr. Adolf Mehlich en 1984 como extractante multielemento mejorado para P, K, Ca, Mn, Cu, Fe, Mn y Zn (Mehlich, 1984). Esta es una solución de tipo Amoniacal, compuesta por 0,2 M de Ácido Acético CH<sub>3</sub>COOH, 0,25 M de Nitrato de Amonio, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, adicionada de Fluoruro de Amonio, 0,015 M NH<sub>4</sub>F, 0,013 M HNO<sub>3</sub> y Agente quelante EDTA, 0,001 M EDTA a un pH de 2,5. Ofrece la ventaja de poder extraer simultáneamente del suelo P, Ca, Na, K, Mg y micronutrientes como Cu, Zn y Mn (entre otros). Su habilidad para extraer P se destaca en suelos muy pobres por su contenido de Fluoruro de Amonio. También por su contenido de EDTA es fuerte extractora especialmente de Cobre y Zinc (Wang *et al.*, 2004).

Cabalceta y Molina (2006), refieren, esta solución permite analizar gran cantidad de nutrimentos en forma simultánea, disminuyendo los costos y el tiempo de análisis; asimismo, permite determinar la concentración de nutrimentos utilizando el Espectrómetro de Plasma, contrario a la solución Olsen modificada que por su viscosidad no da buenos resultados al analizar muestras con este moderno instrumento.

#### ***v. Solución extractora Olsen modificado (1954)***

El método P de prueba de suelo con bicarbonato de sodio o “Olsen P” fue desarrollado por Sterling R. Olsen y colaboradores en 1954 para predecir la respuesta del cultivo a los aportes de fertilizantes P (Olsen *et al.*, 1954).

El método Olsen P es más adecuado para suelos calcáreos, particularmente aquellos con mayor a 2 % de carbonato de calcio; pero se ha demostrado, que es razonablemente efectivo para suelos alcalinos con pH de 8,5. El método se basa en el uso del HCO<sub>3</sub> (J. Molina, 2012)

Esta solución está compuesta por 0,5 N de  $\text{NaHCO}_3$ , 0,01M EDTA con 0,5 g de superfloc 127 para preparar 10 L de solución. El fósforo extraído con  $\text{NaHCO}_3$  generalmente, es menor que el extraído con Mehlich I y Bray I. Se ha reportado que la solución extractora de Olsen Modificado tiene una buena correlación con la extracción de fósforo con Resina intercambiable. Este método es apropiado para suelos de origen volcánico; además, representa un método para extracción de macro nutrientes y micro nutrientes (Ramos, 2003).

Molina (2007) indica, la solución Olsen Modificada presenta varias desventajas, tiende a sobrestimar la disponibilidad de los micronutrientes, debido a que el extractante ataca la materia orgánica liberando parte del Fe y Mn que se encuentra acomplejado en ella; asimismo, Cabalceta y Molina (2006) manifiestan que debido a su viscosidad obstruye las mangueras de los equipos y se da una interferencia generada por el color amarillo proveniente de la materia orgánica.

#### ***vi. Determinación de elemento Nitrógeno por el método Kjeldahl.***

El método Kjeldahl, desarrollado en 1883 por Johann Kjeldahl, sigue siendo la técnica más confiable para la determinación de nitrógeno orgánico y proteína. El método se basa en la destrucción de la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado, para formar sulfato de amonio que en exceso de hidróxido de sodio libera amoníaco, que se destila recibiendo en: a) Ácido sulfúrico donde se forma sulfato, el exceso de ácido es valorado con hidróxido de sodio en presencia de rojo de metilo, o b) Ácido bórico formándose borato de amonio el que se valora con ácido clorhídrico (A. M. Salazar, 2016).

El método Kjeldahl mide el contenido en nitrógeno de una muestra, se está utilizando para la determinación del nitrógeno en una amplia gama de muestras (alimentos y bebidas, piensos, forrajes, fertilizantes) para el cálculo del contenido en proteína. También se utiliza el método Kjeldahl para la determinación de nitrógeno en aguas residuales y suelos. Este método puede ser dividido, básicamente en 3 etapas: digestión o mineralización, destilación y valoración. El procedimiento a seguir es diferente en función de si en la etapa de destilación el nitrógeno liberado es recogido sobre una disolución de ácido bórico o sobre un exceso conocido de ácido clorhídrico o sulfúrico patrón. Ello condicionará la forma de realizar la siguiente etapa de valoración, así como los reactivos empleados (Martínez y Segovia, 2012)

### *vii. Utilización de la solución Olsen modificada en el Ecuador*

La Red de Laboratorios de Suelos en Ecuador (RELASE), se inició en octubre del año 2000, con el apoyo de la Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo (SECS). La RELASE tiene como objetivos brindar a los productores un servicio que cumpla con los estándares de calidad para el estudio de suelos, foliares y aguas, así como también homologar e implementar metodologías de análisis para la determinación de nutrientes en dichas matrices y establecer planes de mejora en los diferentes laboratorios agrícolas del país que se encuentran conformando la Red (Jaramillo, 2018).

Esta Red está integrada por 15 laboratorios. En el 2010 los resultados de la RELASE muestran que el 70% de laboratorios reportan resultados satisfactorios en los elementos P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe y Mn sin embargo, cada laboratorio tiene diferencias de infraestructura, equipos, materiales, reactivos, personal calificado, etc. lo que hace que en cada inter comparación no todos los parámetros se encuentren normalizados (Aucatoma, 2017).

La mayoría de laboratorios pertenecientes a la Red de Laboratorios de Análisis Químico de Suelos del Ecuador (RELASE) utilizan la solución extractante Olsen Modificado, dado que las investigaciones realizadas con otras soluciones extractantes han sido limitadas y se plantea la necesidad de estudiar la extracción con otras soluciones. En cuanto a las técnicas de análisis para macro y micronutrientes catiónicos, la Absorción Atómica (AA) constituye la base de los análisis (Chávez, 2011).

Esta solución extrae la cantidad de nutrientes de una manera similar a la que harían las raíces de las plantas en un medio-ambiente equilibrado y ha sido evaluado por medio de estudios de correlación entre la cantidad de nutriente absorbido y la cantidad de nutriente extraído del suelo por varios cultivos. El extractante químico es parte esencial del análisis de suelo y la confiabilidad del mismo depende de la eficiencia de éste (Padilla , 2009).

El extractante para suelos de uso generalizado en la Costa y Sierra ecuatoriana es Olsen Modificado con el que se extrae previo a su cuantificación el contenido disponible de los macro elementos P, K, Ca y Mg y micro elementos Zn, Cu, Fe y Mn, lo cual ha dado como resultado que no sea atractivo comercialmente preparar materiales de referencia certificados debido a que esta solución funciona correctamente para suelos de pH neutro a alcalino (Aucatoma, 2017).

Los estudios de correlación realizados dentro de la Universidad Nacional de Loja con suelos de varios lugares del país específicamente de las provincias Esmeraldas, Zamora y Loja, los resultados obtenidos han demostrado que la solución extractora de Olsen modificada,

compuesta por bicarbonato de sodio, EDTA y un floculador, ajustada a pH de 8,5 con NaOH 10 N, presentó valores bajos de correlación frente al rendimiento de la planta indicadora.

### **viii. Correlación entre métodos de soluciones extractantes**

Los estudios de correlación permiten realizar diferentes comparaciones entre métodos de extracción; es decir, se puede comparar el comportamiento de una solución extractora con respecto a otra y, por tanto, facilitar la interpretación de los resultados (Smyth *et al.*, 2009).

Una correlación satisfactoria se obtiene cuando bajas concentraciones de nutriente extraídas coinciden con bajos rendimientos y cuando altas concentraciones extraídas coinciden con altos rendimientos (Bertsch *et al.*, 2005)

La solución Mehlich III es una alternativa para realizar los análisis de P en los suelos de Costa Rica, ya que es de fácil manejo en la extracción, para los análisis de las muestras; asimismo, el procedimiento es más económico debido a que se puede utilizar en diferentes tipos de suelos y extraer simultáneamente todos los nutrientes; además, presenta buena correlación con otros métodos de análisis como Olsen Modificada.

Cabalqueta y Molina (1990) citado por Salazar (2015) encontraron que la solución Mehlich III presenta una tendencia a extraer más P y Cu y menos K que la solución Olsen Modificada.

Bertsch *et al.* (2005) determinaron que existe una asociación muy clara y definida entre las soluciones Mehlich III y KCl Olsen modificada, ya que ambas soluciones extraen lo mismo de Ca y Mg, Mehlich III extrae 1,5 veces más K que Olsen Modificada.

Cabalqueta y Cordero (1994), determinaron los niveles críticos de fósforo en ultisoles, inceptisoles, vertisoles y andisoles en suelos de Costa Rica utilizando una prueba de invernadero sorgo forrajero (*Sorghum bicolor*) como planta indicadora y para correlacionar y calibrar la cantidad extraída de P utilizaron las cinco soluciones extractoras donde los resultados obtenidos muestran que la solución Mehlich III extrae niveles críticos semejantes a las soluciones Olsen Modificado, Bray I y Mehlich I, en los inceptisoles, vertisoles y andisoles mientras que la solución Morgan Modificada se comportó diferente frente a las otras soluciones. Los resultados indican que la solución Mehlich III puede ser una alternativa para los análisis de P en los suelos de Costa Rica por la buena correlación que presenta con los demás métodos.

Carrero (2015), realizó la comparación de dos métodos de extracción de P en un suelo ácido en el estado de Mérida (Venezuela), el objetivo de la investigación fue la evaluación de los métodos extractantes de P que se utilizan en el país Olsen Modificado y Bray- Kurtz

haciendo énfasis en el efecto del pH del suelo. Determinaron que el método de extracción de P disponible por Bray-Kurtz extrae más P por lo tanto resulta ser más preciso en suelos con pH ácidos que Olsen Modificado.

La aplicación del método de Bray-Kurtz para la determinación de P disponible en suelos ácidos con fines de fertilidad, ofrece resultados más precisos y exactos.

Los valores obtenidos por el método de Olsen se deben a la posible disolución del fósforo orgánico debido al alto pH (8,5) de la solución extractante, ya que en suelos ácidos se inhibe la formación de carbonatos, lo que no permite la liberación del P.

Pérez *et al.* (2019) realizaron la comparación de dos métodos para la determinación de P extraíble en suelos de la región semiárida Pampeana utilizando las soluciones Olsen Modificada y Bray-Kurtz la normativa argentina (IRAM-SAG y P) para el análisis de P extraíble en suelos con fines de diagnóstico agropecuario define que Bray-Kurtz es aplicable a muestras de suelos levemente ácidos, no calcáreos y volcánicos. Las muestras se clasificaron considerando su valor de pH, reacción al test Fieldes Perrott y calcáreo. Con base a los resultados obtenidos el método de extracción Olsen sería el recomendado para suelos del sudoeste bonaerense, siendo que todas las muestras analizadas presentaron valores de pH por encima de la neutralidad y presencia de suelos de origen calcáreo.

Alfaro y Monzón (2019), evaluaron diferentes soluciones extractoras para el análisis químico de suelos dedicados al cultivo de maíz (*Zea mays*), en los departamentos de Zacapa y Chiquimula, para seleccionar una metodología apropiada para análisis de fósforo del suelo en esos departamentos. Los suelos fueron tratados con soluciones Mehlich I, Mehlich III, Bray y Kurtz I y Olsen Modificado para la determinación de fósforo disponible. Se realizaron experimentos en invernadero para medir la respuesta de plantas de maíz a la aplicación de fósforo. Mediante los resultados comprobaron que no existe una adecuada correlación entre el fósforo extraído por las metodologías evaluadas y el rendimiento de planta, lo que indica que las mismas no son adecuadas para conocer la disponibilidad de fósforo en el suelo, ya que cualquier cantidad de P extraída no se refleja en el rendimiento del cultivo.

Ramos (2003), realizó la evaluación del fósforo extraído con dos soluciones extractoras en 19 suelos del altiplano occidental de Guatemala donde determinaron el grado de asociación entre el fósforo extraído con dos soluciones extractoras (Mehlich I y Mehlich III). Los resultados indican que los coeficientes de correlación entre el fósforo extraído y el rendimiento relativo fueron de 0,93 para la solución Mehlich I y para la solución Mehlich III de 0,96 con lo cual se concluye que las dos metodologías utilizadas en la extracción de fósforo para los suelos

del altiplano Occidental son confiables y pueden ser utilizadas en el análisis químico de fósforo para la recomendación de programas de fertilización fosfatadas.

Vargas *et al.* (1992) mencionan, que conocer las cantidades de nutrientes extraídas por metodologías diferentes permite determinar el comportamiento de cada solución y conocer las semejanzas entre ellas, así mismo, proporciona un mayor criterio para evaluar el estado nutricional de los suelos.

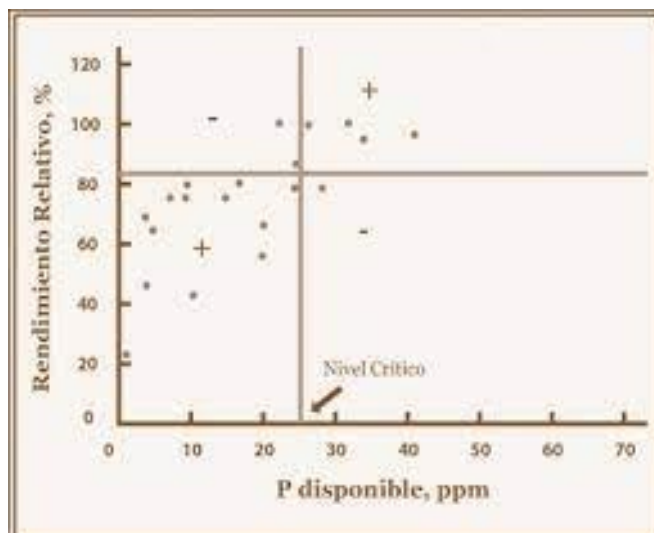
#### **f. Método de evaluación biológica**

##### *i. Método gráfico de Cate y Nelson (1965)*

Es un método sencillo que permite determinar con gran aproximación un nivel crítico (Ramos, 2003; Cabalceta y Molina, 2006), el método consiste en graficar los rendimientos relativos (eje de las ordenadas) en función del análisis de suelos (eje de las abscisas) y luego elaborar un sistema de coordenadas cartesianas sobre una hoja transparente de superposición, de modo que el mayor número de puntos se ubiquen en los cuadrantes inferior izquierdo y superior derecho (cuadrantes positivos), y el menor número de puntos en los cuadrantes superior izquierdo e inferior derecho (cuadrantes negativos), obteniendo un nivel crítico en el punto donde la línea vertical corta el eje X.

**Figura 1.** Método grafico de Cate y Nelson.

##### *ii. Método de la planta indicadora*



Para determinar los niveles críticos de fósforo de los suelos, es necesario el uso de una planta indicadora que sea sensible a la aplicación de nutrientes (Ramos, 2003b).



Díaz y Hunter (1978) recomiendan a nivel de invernadero, el uso del sorgo *Sorghum bicolor* L. por las ventajas que esta planta presenta: entre las cuales se tienen, es sensible a la mayoría de deficiencias, crece rápido, tienen semilla pequeña y crece bien en un amplio rango de condiciones climáticas y edáficas, además de tener una germinación rápida.

El sorgo puede sembrarse directamente en macetas, alcanzando su máximo crecimiento de 4 a 5 semanas. El sistema radicular es muy ramificado y sin pivotante.

### *iii. Técnica del elemento faltante (1970)*

Es un método propuesto por J.A. Martini en 1970 para evaluar la fertilidad de los suelos. Este método fue uno de los primeros diseños experimentales empleados en la caracterización de la fertilidad de los suelos. Desde que Salm Horstmar la utilizó en el invernadero y Georges Ville la puso en práctica en el campo, muchos otros investigadores han hecho uso extensivo en esta técnica.

Es un procedimiento rápido para la detección de carencia de nutrientes en el suelo, el cual incluye el uso de plantas indicadoras bajo condiciones de invernadero o en campo. Esta técnica se clasifica como un método biológico en el cual se usan plantas para la evaluación del comportamiento de las mismas a la variabilidad de los suelos Sánchez (1981) citado por (Curiñaupa, 2017).

Brady y Weil (1999) citado por Arotoma (2018) sostienen que el objetivo principal de esta práctica es el establecer la capacidad de un suelo de proveer los elementos nutritivos para un adecuado desarrollo.

Esta técnica se fundamenta en eliminar de la fórmula nutritiva completa que se añade a las plantas, un elemento metódicamente de tal manera que permita el análisis de esta ausencia en la planta indicadora que se usa (Briceño y Pacheco, 1984; Enríquez, *et al.*, 1995) añaden que al hacer esto, se puede comparar la respuesta de cada uno de los nutrimentos en relación con una fertilización completa y obtener información sobre problemas nutricionales presentes en el suelo a estudiar (Gutiérrez, 2016).

La técnica del elemento faltante es un procedimiento que permite generar y caracterizar las deficiencias nutricionales en las plantas; en éste el tratamiento completo recibe todos los elementos esenciales en los niveles e intervalos de tiempo adecuado. El tratamiento de eliminación consiste en excluir el elemento que se está investigando, mientras que todos los demás se están proporcionando de manera adecuada, lo que hace posible comparar los elementos Schenkel (1970) citado por (Curiñaupa, 2017).

Según Tineo (2014) citado por Quisuruco (2014) la técnica del elemento faltante y presente es una metodología para desarrollar recomendaciones de fertilización que permite ajustar la aplicación de nutrientes que se acomoden a las necesidades específicas de cada región agroclimática y que hagan uso eficiente de los nutrientes aplicados.

Según Chaminade (1972) citado por (Burneo, 2012), las pruebas biológicas se basan en la identificación de deficiencias en elementos nutritivos por medio de la técnica del elemento faltante. Esto involucra el uso de plantas indicadoras en el invernadero o en el campo en un suelo al que se le agrega un fertilizante completo, y una serie de tratamientos en los cuales se deja de agregar uno de los elementos. De esta manera, se puede observar si la no adición del elemento perjudica el desarrollo de la planta; de ser así el suelo posee dicho elemento en cantidad suficiente para el suministro adecuado del vegetal. Generalmente, las plantas se cosechan antes de su madurez los experimentos en macetas con la técnica del elemento faltante dan tres tipos de información

- Cuales elementos son deficientes.
- La importancia relativa de las deficiencias.
- La tasa en la que se agota la fertilidad.

Entre las ventajas más importantes se encuentra el relativo control que existe, bajo condiciones de invernadero, de las condiciones ambientales; tales como temperatura, luz, disponibilidad de agua, plagas, hongos, y otros. La desventaja más evidente es que esta tecnología no está al alcance de la mayoría de los agricultores, debido a que se requieren condiciones especiales para su realización. Además, debido a que se controlan las condiciones externas, sus resultados no son extrapolables al campo en forma inmediata (Bertsch, 1982), citado por (Galvis, 2017).

Curiñaupa, (2017), realizó una investigación con la técnica del elemento faltante y método químico en suelos agrícolas de Kimbiri (Cusco, Perú) bajo condiciones de vivero evaluó el estado nutricional de 13 suelos utilizando tomate (*Solanum lycopersicum* L.) como planta indicadora donde los resultados indican que el 100 % de los suelos presentan un contenido bajo de P y K, y que el método de Olsen modificado extrae el nutriente disponible cuyo nivel se correlaciona con la respuesta en el rendimiento del cultivo que expresa lo mismo.

Galvis (2017), evaluó las deficiencias nutricionales en quinua hidropónica (*Chenopodium quinoa* Willd.), las deficiencias nutricionales se indujeron mediante soluciones nutritivas usando la técnica del elemento faltante bajo invernadero con 14 tratamientos y tres repeticiones concluyendo que los elementos de mayor importancia en la nutrición del cultivo

evaluado hasta los 60 días después del trasplante fueron el N, B y K, mientras que los nutrientes Ca, Mg, Zn, Cu, Mn y Mo no presentaron síntomas de deficiencia debido a que el requerimiento de estos nutrientes estuvo por debajo de la concentración en la solución nutritiva utilizada.

Medrano (2022) utilizó la técnica del elemento faltante en plantas de espárrago (*Asparagus officinalis* L.) de un año de edad, bajo condiciones de invernadero. Los factores estudiados fueron la deficiencia nutricional (Sin deficiencia y deficiencias de N, P, K, Ca y Mg) y la dosis de solución nutritiva (50%, 100% y 150%) obteniendo como resultado que mediante una adecuada fertilización siempre mostró una buena respuesta en todos los parámetros, la deficiencia de P fue la que más afectó al espárrago.

Castaño y Morales (2008) para determinar las deficiencias nutricionales de la mora (*Rubus glaucus*) realizó una investigación mediante la técnica del elemento faltante, el experimento duró 28 semanas, y tomó como variable el peso de tallos y raíces en base seca. Observando que las plantas con mayor número de tallos fueron las que no recibieron B, las plantas carentes de Zn presentaron un crecimiento superior y el tratamiento sin N fue el único que no presentó crecimiento durante el experimento.

#### ***iv. Evaluación biológica en la UNL***

C. Valarezo (comunicación personal, 9 de julio de 2022) realizó en 1988 la primera evaluación biológica en la Universidad Nacional de Loja, al dirigir la investigación Guayllas (1988) con la adaptación de tarrinas y vasos plásticos y media de nylon para separar el suelo de la solución; para determinar cuál era el elemento faltante utilizando como planta indicadora el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en suelos de Zamora y detectaron que la deficiencia de B era lo que estaba causando todo el problema y en esas circunstancias propuso que de ahí en adelante toda tesis que se haga por el método de extracción de los elementos por medio del laboratorio con la solución de Olsen Modificado se realizará la evaluación biológica.

En los años 1973 y 1974 se ejecutó el proyecto “International soil fertility evolution and environment” que tiene que ver con la evaluación de la fertilidad del suelo con su mejoramiento, porque en cada laboratorio de suelos hacían sus determinaciones con los diferentes métodos existentes. A Ecuador llegó el profesor Olsen de la Universidad de Carolina del Norte y propuso una solución extractora para hacer aplicada en todos los suelos del país y con eso tratar de simular lo que la planta hace para extraer los nutrientes disponibles, lamentablemente no se probaron en los diferentes suelos del país, solamente que en los suelos de Carolina del Norte y no se realizó en los suelos de Loja que son de origen volcánico y actualmente se usa esta solución para extraer los nutrientes y sobre esa base se hace recomendaciones de fertilización.

C. Valarezo (comunicación personal, 9 de julio de 2022) además, mencionó, se debe hacer un análisis estadístico de los datos para verificar en que elementos realmente funciona esta solución extractora y en que suelos; porque lamentablemente, dicha solución ha sido recomendada como receta general sin haberla aplicado en diferentes tipos de suelos.

Finalmente agregó, la evaluación biológica es el método más certero, creíble y real que una solución extractora, porque es la planta la que está expresando las deficiencias, dado que en este caso los análisis de fertilidad de los suelos no son muy creíbles por que presenta valores inversos a los que la planta muestra. Aclaró que de acuerdo a los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas en evaluación biológica y al no existir correspondencia se debe cuestionar la solución extractora Olsen Modificado siendo que para los suelos de la provincia Loja o de la región sur no funciona.

#### ***v. Principio del método de la evaluación biológica***

Valarezo (1985) y Guayllas (1988) adaptaron y validaron la metodología desarrollada por VAN DIEST (1983) (técnica del elemento faltante), para evaluar biológicamente en invernadero la fertilidad actual del suelo y establecer la correspondencia con los contenidos de los nutrientes aprovechables extraídos con la Solución de Olsen Modificada, reportados por los diferentes laboratorios del país, en la perspectiva de disponer de referentes confiables y precisos para tomar las decisiones más acertadas en cuanto a la gestión integral de la fertilidad de los suelos.

El principio del método de la evaluación biológica consiste en utilizar plantas testigo; en la Universidad Nacional de Loja se han realizado varias investigaciones en las que se ha utilizado la planta de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Anexo 1) por tener una semilla pequeña, con pocas reservas nutritivas, lo que permite que en poco tiempo la planta dependa de los nutrientes disponibles en el suelo, dado que las raíces se desarrollan parte en el suelo y parte en la solución nutritiva. Las muestras de suelo tomadas en el campo se secan al aire en un ambiente cubierto, libre de impurezas. Se desagregan los terrones y se tamizan a través de una malla de 2 mm, para eliminar la gravilla y más fragmentos gruesos.

En los vasos de plástico de 250 ml, se recorta la base, y se la sustituye por un tejido de nylon circular que se sujeta con cinta adhesiva y una liga de caucho, de manera que soporte la muestra de suelo.

En las tapas de las tarrinas de 700 ml, se corta un círculo igual al diámetro inferior de los vasos que contienen el suelo, de manera de asegurar que el fondo del vaso esté en contacto con la solución nutritiva contenida en la tarrina, hasta una profundidad de 1 cm.

Se etiqueta cada tarrina y se añade 600 ml la solución nutritiva respectiva según cada tratamiento y la dosis recomendada (Tabla 2,; Solución nutritiva completa que contiene todos los macros y micro elementos (N, P, K, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B y Cu); así como, las soluciones del elemento faltante, que contienen todos los nutrientes de la solución completa, excepto el elemento eliminado: solución sin nitrógeno (-N); Solución sin fósforo (-P); Solución sin potasio (-K); solución sin magnesio (-Mg); solución sin azufre (-S); Solución sin hierro (-Fe); solución sin cobre (-Cu); solución sin zinc (-Zn); solución sin manganeso (-Mn); y solución sin boro (-B). También, se incluye el testigo absoluto, únicamente con agua destilada. Por cada solución nutritiva se realizan cuatro repeticiones, se realiza la reposición de la solución nutritiva hasta el nivel establecido, de manera de reponer el volumen que se haya consumido por evapotranspiración.

Después de 24 horas que el suelo haya estado en contacto con la solución nutritiva y que se haya humedecido completamente por efecto de la capilaridad, en cada vaso se siembra cuatro semillas de tomate (por ejemplo, variedad Flora Dade). Después de 15 días de la germinación se realiza el raleo, dejándose una planta por vaso.

Durante los 60 días se realiza un control de temperatura, humedad relativa, relleno de la solución nutritiva y altura la de planta, la medición se realiza desde la base del tallo hasta la hoja más alta, se utiliza una regla y el resultado se expresa en centímetros. Esta variable se toma desde el trasplante y se sigue realizando cada 15 días durante ocho semanas.

Transcurridos los 60 días se procede a extraer la planta eliminando el vaso que la sostiene junto con la muestra de suelo, para eliminar los residuos de suelo se lava cuidadosamente la raíz (Anexo 2); se registra el peso fresco en una balanza de precisión, se coloca en fundas de papel previamente identificadas y se llevan a la estufa a 60 °C durante cuatro días, pasado este tiempo se registra el peso seco de cada planta.

Cuando se provee de los nutrientes a la planta con tratamiento completo están no sufrirán ninguna deficiencia, debido a que los nutrimentos se encuentran ampliamente presentes en la solución nutritiva. Sin embargo, cuando uno de los elementos esenciales está ausente tanto en el suelo como en la solución nutritiva, la planta manifestará su deficiencia en cuanto a altura, coloración, número de hojas y peso, como es el caso de la planta testigo.

En la evaluación biológica para determinar la fertilidad del suelo se requiere de doce soluciones nutritivas diferentes, una de ellas será la que contenga todos los elementos

esenciales que se denomina solución completa (SC), diez soluciones nutritivas (-N, -P.-K, -S, -Mg, -Zn, -Mn -Cu, -B, -Fe) en cada una de ellas se ausentan uno de los doce elementos esenciales y un tratamiento testigo (Ts).

#### **g. Solución madre**

Son composiciones concentradas de nutrientes las cuales están formuladas por sales minerales que se emplean en un medio particular. Debido al elevado número de compuestos que incluye, ya que algunos de ellos se emplean a muy baja concentración, resulta práctico preparar soluciones madre o concentradas. La composición de una solución se debe medir en términos de volumen y masa; por lo tanto, es indispensable conocer la cantidad de soluto disuelto por unidad de volumen o masa de disolvente y la solubilidad de cada fertilizante (Mojica, 2012).

**Solubilidad:** es la máxima cantidad de un soluto que puede disolver en una cantidad establecida de solvente a una temperatura determinada se expresa en gramos de soluto por cada 100 g de solvente (Castro, 2013).

**Partes por millón (ppm):** en el caso de las soluciones nutritivas se mezclan porciones de un elemento o compuesto en un millón de partes del solvente agua; expresiones equivalentes a ppm son mg/l o mg kg/l (Favela *et al.*, 2006).

**Solución normal (N):** representa la cantidad de equivalentes de soluto disueltos en 1 litro de la solución.  $N = \text{equivalentes de soluto/Litro de solución}$  (Universidad nacional del Litoral, 2018).

**meq/l:** representa la cantidad de miliequivalentes de soluto disueltos en 1 litro de la solución. Para su cálculo es necesario saber que 1 eq es igual a 1000 meq. Se puede concluir que:  $\text{meq/l} = \text{meq/l} \times 1000$  (Universidad Nacional del Litoral, 2018).

**Solución molar (M):** la unidad más utilizada en química es la mol, por lo tanto, una solución molar expresa el número de moléculas gramo de soluto que hay en un litro de solución. Una solución 1,5 M indica que en un litro de solución existen 1,5 moléculas gramo (Castro, 2013).

Las soluciones madre es una mezcla de los fertilizantes compatibles, se concentran 100 o 200 veces más con respecto a la concentración de la solución nutritiva; por lo general, se preparan tres soluciones madre (A, B y C): en el recipiente A se mezcla los fertilizantes que contienen N, en el B se mezcla el resto de fertilizantes que aportan los micro nutrientes; el C corresponde a los fertilizantes con fosfatos (Tabla 1) (Favela *et al.*, 2006).

**Tabla 1.** Tipos de sales y concentración en g/l para preparar las soluciones madre 1 N de los macro y micro elementos.

Sales	Cantidad de 1 L Sol 1N(g/l)
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	118
KNO <sub>3</sub>	101
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	120
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	87
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	123
MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	101
CaCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	109
NaCl	58
NaFe-EDTA	32,75
MnCl <sub>2</sub> . 4H <sub>2</sub> O	1,81
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	2,86
ZnSO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O	0,22
CuSO <sub>4</sub> . 5H <sub>2</sub> O	0,16
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> . 4H <sub>2</sub> O	0,04

**Fuente:** (Mageningen, 1983)

#### **h. Solución nutritiva**

Numerosas soluciones nutritivas han sido formuladas para hacer crecer las plantas y su composición química varía ampliamente; estas soluciones fueron desarrolladas empíricamente y la mayor parte, sin consultar previamente la información precisa con respecto al requerimiento de cada cultivo y la concentración total de los fertilizantes a utilizar para lograr el crecimiento óptimo de diversas especies vegetales (Juárez *et al.*, 2006).

Es esencial que la solución nutritiva tenga la cantidad adecuada de nutrientes, necesaria para que las plantas absorban; caso contrario, se producirá un desequilibrio entre los nutrientes, que dará lugar a excesos o déficit, y afectará la producción. El pH apropiado de la solución nutritiva para el desarrollo de los cultivos se encuentra entre los valores 5,5 y 6,0; sin embargo, el pH de la solución nutritiva no es estático, depende del CO<sub>2</sub> en el ambiente, y que la solución nutritiva se encuentre en un contenedor cubierto (Favela *et al.*, 2006).

El pH de la solución nutritiva se controla con el fin de neutralizar la presencia de los bicarbonatos en el agua de riego, dado que los iones producen un pH elevado y un alto contenido de éstos en la zona radical provoca la inmovilización del P, Mn y Fe; además, con un pH alto en la solución nutritiva, el Ca y el Mg se pueden precipitar con el fosfato (Juárez *et al.*, 2006).

La temperatura de la solución nutritiva influye en la absorción de agua y nutrientes. La temperatura óptima para la mayoría de las plantas es de aproximadamente 22 °C; en la medida

que la temperatura disminuye, la absorción y asimilación de los nutrimentos también lo hace. Con temperaturas menores a 15 °C se presentan deficiencias principalmente de calcio, fosforo y hierro (Favela *et al.*, 2006).

Una solución nutritiva es la mezcla de agua y diversos fertilizantes que contienen todos los nutrientes esenciales en forma iónica disueltos; y eventualmente, de algunos compuestos orgánicos tales como los quelatos de Fe (Favela *et al.*, 2006).

La solución de macro y micro nutrientes en la solución nutritiva y las cantidades de sales para la preparación de un litro de la solución madre se presentan en la (Tabla 2).

**Tabla 2.** Soluciones madre para preparar las soluciones nutritivas.

Sales	Soluciones madre para preparar las soluciones nutritivas (ml/L)										
	SC	-N	-P	-K	-Mg	-S	-Zn	-Cu	-Mn	-B	-Fe
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	6	--	6	6	6	6	6	6	6	6	6
KNO <sub>3</sub>	2	--	2	--	2	2	2	2	2	2	2
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	2	2	--	--	2	2	2	2	2	2	2
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	--	--	--	2	--	--	--	--	--	--	--
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	--	2	2	--	1	--	--	--	--	--	--
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	1,5	1,5	1,5	1,5	--	--	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	--	--	--	--	--	1,5	--	--	--	--	--
CaCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	--	6	--	--	--	--	--	--	--	--	--
NaCl	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
NaFe-EDTA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	--
MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	1	1	1	1	1	1	1	1	--	1	1
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	--	1
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	1	1	1	1	1	1	--	1	1	1	1
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	1	1	1	1	1	1	1	--	1	1	1
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> .4H <sub>2</sub> O	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

### i. Estadística multivariada

Meneses (2019) define a la estadística multivariada como el conjunto de técnicas estadísticas que tienen como objetivo analizar e interpretar las relaciones entre distintas variables de manera simultánea, mediante la construcción de modelos estadísticos complejos que permiten distinguir la contribución independiente de cada una de ellas en el sistema de relaciones con el fin de describir, explicar o predecir los fenómenos que son objeto de interés para la investigación.



En tanto, para Figueras (2000), es el conjunto de métodos estadísticos cuya finalidad es analizar simultáneamente grupos de datos multivariantes, en el sentido que hay varias variables medidas para cada individuo u objeto de estudio. Su razón de ser radica en un mejor entendimiento del fenómeno que se analiza, obteniendo información que los métodos estadísticos univariantes y bivariantes son incapaces de conseguir.

Kachigan (1991) citado por (Closas *et al.*, 2013) define el análisis multivariante como la rama del análisis estadístico que se centra en la investigación simultánea de dos o más características (variables) medidas en un conjunto de objetos (personas, cosas o entidades).

Entre las técnicas multivariadas, destacan por su uso, entre otras: las técnicas explicativas o de dependencia y las técnicas descriptivas o de interdependencia.

#### *i. Técnicas descriptivas o de interdependencia*

En caso de encontrarse ante una situación en la que sea imposible distinguir conceptualmente entre variables dependientes e independientes, y lo que interesa es determinar cómo y por qué las variables están correlacionadas entre sí; entonces, se debe recurrir a los métodos estadísticos de interdependencia (Closas *et al.*, 2013).

**Análisis de componentes principales (CP)**, se concibe como una técnica de reducción de la dimensión, pues permite pasar de una gran cantidad de variables interrelacionadas a unas pocas componentes principales. El método consiste en buscar combinaciones lineales de las variables originales que representen lo mejor posible a la variabilidad presente en los datos. Al mismo tiempo, la forma en que se construyen las componentes y su relación con unas u otras variables originales, sirven para entender la estructura de correlación inherente a los datos (Sánchez, 2009).

El Análisis de Componentes Principales es una de las técnicas multivariantes más conocida y eficaz para reducir la dimensión de una matriz de datos de alta dimensión. Es utilizada extensamente en el procesamiento de datos (Jolliffe, 2002) citado por Taborda y González (2015).

Se utiliza con el objetivo de establecer patrones de comportamiento en los sistemas ecológicos, posee gran importancia en el campo agropecuario (Torriente y Torres, 2010).

Por medio del análisis de componentes principales el investigador puede detectar que variables pueden explicar de mejor forma ciertos fenómenos. El análisis permite estudiar la relación entre individuos y la interacción que estos tienen con las variables (Restrepo *et al.*, 2012).

**El biplot**, es una representación gráfica de datos multivariantes en una matriz  $Xn \times p$  ( $n$  individuos y  $p$  variables), las representaciones de las variables son normalmente vectores y los individuos se representan por puntos (Taborda y González, 2015).

Es una representación gráfica simultánea de los individuos (mediante puntos) y las variables (dirección), en un mismo sistema de coordenadas bidimensional construido en base a las dos primeras componentes principales.

Permite interpretar el significado de las componentes (la primera en el eje horizontal y la segunda en el eje vertical) con base a las direcciones de los vectores. A su vez, se valoran como parecidos los individuos cuyos puntos están próximos en el *biplot*. De igual modo, tendrán correlación positiva las variables con vectores semejantes. Asimismo, los individuos que se encuentran en la misma dirección tendrán observaciones altas en la variable representada aquella dirección.

Cuando el ángulo de los vectores tiende a cero, las variables están muy correlacionadas positivamente, cuando es próximo a  $90^\circ$  las variables son independientes y a  $180^\circ$  la correlación es negativa; adicionalmente, para considerar dos componentes principales la suma debe ser al menos de 70% de la variación producida.

**Análisis factorial**, también es una técnica de reducción de datos, pero el interés se centra en establecer qué variables latentes (factores) pueden estar causando la correlación entre las variables observadas. Puede verse como una técnica que pretende identificar grupos de variables de tal forma que las correlaciones entre las variables de cada grupo sean superiores a las correlaciones de las variables entre los grupos (Mariano, 2011).

**Análisis de correspondencias**, esta técnica estadística pretende representar en un espacio multidimensional reducido la relación existente entre las categorías de dos variables no métricas. En el análisis de correspondencias, el mapa perceptual que se obtiene muestra las distancias entre los distintos niveles de dos variables, por lo que suele decirse que este análisis sirve para visualizar tablas de contingencia (Closas *et al.*, 2013).

## ***ii. Técnicas explicativas o de dependencia***

Estas técnicas investigan la existencia o ausencia de relaciones entre dos grupos de variables. El objetivo de las técnicas de dependencia será establecer si el conjunto de variables independientes afecta al conjunto de variables dependientes de manera conjunta o individualmente (Closas *et al.*, 2013).

**Análisis de Regresión**, es la técnica adecuada si en el análisis hay una o varias variables dependientes métricas. A partir del análisis de regresión será posible inferir acerca de la

existencia o no de relaciones significativas entre las variables independientes y la variable criterio o respuesta, siempre dentro del marco científico establecido para la investigación en curso (Closas *et al.*, 2013).

**Análisis Discriminante**, está técnica proporciona reglas de clasificación óptimas de nuevas observaciones de las que se desconoce su grupo de procedencia basándose en la información proporcionada los valores que en ella toman las variables independientes (Closas *et al.*, 2013).

#### **j. Investigaciones sobre evaluación química y biológica**

En la Universidad Nacional de Loja se han realizado varias investigaciones sobre evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo empleando plantas indicadoras de tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

Guayllas (1988), evaluó el estado nutricional de los suelos de Cañicapac y Ñamarin, Cantón Saraguro mediante un método biológico; empleando plantas indicadoras de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y trigo (*Triticum aestivum*). Los resultados señalaron que en dichas comunidades el N y P fueron los elementos deficientes. En las dos comunidades, los mejores promedios de altura de planta de tomate se consiguieron con los tratamientos de -Zn y SC, alcanzando 33,3 y 32,6 cm de altura. El promedio más alto de materia seca correspondió a los tratamientos SC y -Zn 14,1 y 14 g. Indicándose también que los valores más bajos de materia seca se obtuvieron en los tratamientos -P y -N.

Burneo (2012), realizó la evaluación biológica de la fertilidad de un suelo del sector Panguintza, del cantón Centinela del Cóndor, desarrollado sobre andesita tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes, utilizando como planta indicadora el tomate (*Solanum lycopersicum*, L.). En esta investigación concluye que el N, P y B resultaron ser los elementos deficientes en los suelos de los 12 tratamientos y que la correlación de la biomasa seca y las concentraciones de los nutrientes extraídos con la solución de Olsen Modificado es muy baja y hasta negativa, excepto para el K y Mg ( $r = 0,68$  y  $0,56$ , respectivamente).

Mendoza (2013), realizó el experimento donde se investigó la fertilidad de 12 tratamientos de suelos desarrollado sobre arenisca cuarzosa después de haber sido tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes, en el cantón El Panguí, utilizando tomate (*Solanum lycopersicum*, L.) como planta indicadora. Donde concluye que el N, B, K y P resultaron ser los elementos deficientes. Además, se ha determinado la disponibilidad de los elementos mediante la extracción de Olsen Modificado donde el N, no presentó correlación significativa

entre el peso de la materia seca de la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico, mientras que el P manifestó una fuerte correlación y finalmente las correlaciones para el Fe, Mn y Cu fueron negativas.

Loaiza (2013), evaluó la fertilidad de 12 tratamientos instalado en un suelo desarrollado sobre granodiorita después de 18 meses de haber sido tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes en el sector La Victoria del cantón Zamora, utilizando como planta indicadora el tomate (*Solanum lycopersicum*, L.) donde concluye que el B, N y P, reflejaron ser los elementos mayormente deficientes. La correlación entre la biomasa seca y los contenidos de los nutrientes extraídos mediante la solución extractora de Olsen Modificado es muy baja y en algunos casos negativa, con excepción del Cu y K ( $r = 0,52$  y  $0,53$  respectivamente).

Quizhpe (2013), evaluó la fertilidad del suelo en la quinta experimental Punzara utilizando dos especies de pastos como planta indicadora ray grass (*lolium perenne*) y trébol blanco (*trifolium repens*) y concluye que el N y S, presentaron ser los elementos más deficientes en los suelos de todos los tratamientos. La correlación entre la biomasa seca y los contenidos de los nutrientes extraídos con la solución de Olsen Modificado no alcanzó a extraer los nutrientes en la misma proporción que la planta indicadora excepto para el K y P.

Aguirre (2017), realizó la evaluación de un suelo desarrollado sobre andesita en el sector San Vicente utilizando como planta indicadora el tomate (*Solanum lycopersicum*, L.), donde evidenció que el N y P son los elementos más deficientes. La correlación entre la biomasa seca y los elementos disponibles del análisis químico del suelo fue: elevada para el Cu, P y Mg ( $r = 0,86$ ,  $0,85$  y  $0,83$ , respectivamente), y baja para el Fe y S ( $r = 0,43$  y  $0,48$ , respectivamente).

Castillo y Salinas (2014), realizaron la evaluación biológica de la fertilidad actual de los suelos de origen volcánico en dos unidades productivas de las provincias de Los Ríos y Esmeraldas empleando como planta indicadora el tomate (*Solanum lycopersicum*, L.), en el predio Santa Marianita se evidenció que el N, P y K es bajo, mientras que en los análisis químicos determinó que el N es alto. En el predio la Cucaracha en la evaluación biológica se evidenció que el N y K es bajo, mientras que en los análisis químicos determinó alto. La correlación entre la biomasa seca de la planta indicadora y las concentraciones de los nutrientes extraídos mediante la solución de Olsen Modificado, fue moderada para el K y Zn y baja para el N, P, Fe, Mn y Cu.

Zhunaula (2016), realizó en seis unidades productivas del Sistema de riego La Era, Cantón Catamayo empleando como planta indicadora el tomate (*Solanum lycopersicum*, L.). Concluye que tanto en la evaluación biológica de la altura de la planta como el peso de la materia seca evidenciaron que el N, P y S son los elementos más deficientes, La correlación

entre la biomasa seca y los elementos disponibles del análisis químico del suelo fue: elevada para el N y S y baja para el K, Mn, Zn, P y Fe.

Zambrano (2019), realizó en los sistemas agroforestales con café de los sectores Consapamba y Pueblo Nuevo de los cantones Espíndola y Loja, utilizando como planta indicadora el tomate (*Solanum lycopersicum*, L.). Con los resultados obtenidos concluye que en la evaluación biológica el P, Zn, Mn, B, Fe, no presentó correspondencia entre la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico extraídos mediante la solución de Olsen Modificado.

Tandazo (2019), en suelo desarrollado sobre el SAF de café en el cantón Chaguarpamba, empleando como planta indicadora el tomate (*Solanum lycopersicum*, L.). En esta investigación concluyó que el N, P, S, Zn, B, y Fe no presentó correspondencia en la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico. Así mismo realizó la evaluación biológica en el Sector Lozumbe obteniendo resultados similares al sector anterior, concluyendo que el N, P, S, Mg, S, y B no presentó correspondencia entre la evaluación biológica con la concentración del nutriente en el análisis químico extraídos mediante la solución de Olsen Modificado.

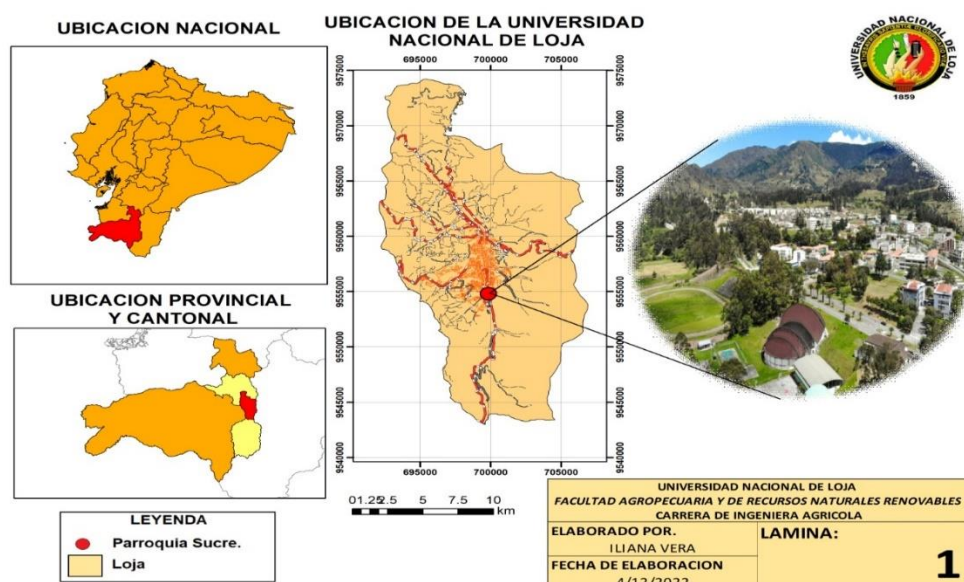
Rogel, (2021), en el sector Cucanamá en la parroquia Vilcabamba empleando como planta indicadora el tomate (*Solanum lycopersicum*, L.) concluye, que la correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico los extraídos mediante la solución de Olsen Modificado el N, P, K, Mg, S, Cu, y B, no presentó correspondencia entre sus interpretaciones, mientras que el Zn, Mn y Fe, si presentó similitud entre las interpretaciones de los dos métodos.

## 5. Metodología

### a. Ubicación

La investigación se desarrolló en la Universidad Nacional de Loja; perteneciente a la parroquia Punzara del cantón y provincia de Loja (Figura 2). Los datos se obtuvieron de 15 sectores correspondientes a cuatro provincias del Ecuador: Esmeraldas, Los Ríos, Zamora Chinchipe y Loja.

**Figura 2.** Ubicación del proyecto de investigación.



FUENTE: La autora

### b. Materiales y equipos

Para el desarrollo de la investigación se revisó 12 tesis, libros y artículos científicos; entre los equipos: computadora y calculadora; material de impresión y suministro; Software libre procesador de textos, hoja electrónica e *Infostat* (2020).

### c. Metodología para el primer objetivo

#### **Sistematización de la información de los resultados de la evaluación biológica y el del análisis químico del suelo.**

Se ubicó los documentos de tesis de pregrado referente a estudios de evaluación biológica y se recabó información sobre: lugar, coordenadas geográficas, variables meteorológicas,

propiedades físicas y químicas del suelo, resultados del análisis químico de laboratorio y la evaluación biológica (altura y biomasa de la planta indicadora).

**i. Recolección de datos**

Se elaboró una base de datos con el registro de cada uno de los autores, datos generales del uso del suelo de cada investigación, resultados del análisis químico del laboratorio y de la evaluación biológica. Cabe anotar que en ciertas tesis no se dispuso de todos los datos, para cubrir los mismos se recurrió a la búsqueda en fuentes secundarias como INAMHI, tesis, PDOT de los GAD parroquiales, entre otros.

**d. Metodología para el segundo objetivo**

**Relaciones entre las variables meteorológicas, características químicas, físicas y biológicas del suelo, resultados de los análisis químicos y evaluación biológica.**

Para establecer las posibles relaciones entre las diferentes variables reportadas en los informes de investigación (meteorológicas, características física y químicas del suelo y los resultados del análisis químico del laboratorio y de la evaluación biológica), se procedió a calcular la correlación entre la altura y biomasa de la planta indicadora tomate (*Solanum lycopersicum* L.); y, entre el análisis químico y de la evaluación biológica.

**i. Correlación entre altura y biomasa de la planta indicadora**

Se realizaron sendos cálculos de correlación entre altura y biomasa de la planta indicadora tomate (*Solanum lycopersicum* L.), para cada una de las soluciones nutritivas utilizadas (Tabla 3).

**Tabla 3.** Correlación entre altura y biomasa de la planta indicadora.

<b>Variable</b>	<b>Soluciones nutritivas</b>											
Altura	SC	-N	-P	-K	-Mg	-S	-Zn	-Cu	-Mn	-B	-Fe	Testigo
Biomasa	SC	-N	-P	-K	-Mg	-S	-Zn	-Cu	-Mn	-B	-Fe	Testigo
Correlación	r <sub>SC</sub>	r <sub>-N</sub>	r <sub>-P</sub>	r <sub>-K</sub>	r <sub>-Mg</sub>	r <sub>-S</sub>	r <sub>-Zn</sub>	r <sub>-Cu</sub>	r <sub>-Mn</sub>	r <sub>-B</sub>	r <sub>-Fe</sub>	r <sub>-Testigo</sub>

**ii. Correlación entre los resultados del análisis químico y la evaluación biológica.**

Se calculó la correlación entre los resultados del análisis químico del laboratorio y la evaluación biológica para cada una de las soluciones nutritivas utilizadas (Tabla 4).

**Tabla 4.** Correlación entre los del análisis químico y de la evaluación biológica.

Variable	Soluciones nutritivas									
	N	P	K	Mg	S	Zn	Cu	Mn	B	Fe
Químico	N	P	K	Mg	S	Zn	Cu	Mn	B	Fe
Biológico	-N	-P	-K	-Mg	-S	-Zn	-Cu	-Mn	-B	-Fe
Correlación	r <sub>N</sub>	r <sub>P</sub>	r <sub>K</sub>	r <sub>Mg</sub>	r <sub>S</sub>	r <sub>Zn</sub>	r <sub>Cu</sub>	r <sub>Mn</sub>	r <sub>B</sub>	r <sub>Fe</sub>

Para el cálculo se utilizó la expresión matemática para el coeficiente de correlación de Pearson:

$$r = \frac{Cov(x_i, y_i)}{\sqrt{\sigma_x^2 \sigma_y^2}}$$

Donde:

- r** Coeficiente de correlación de Pearson entre las variables x e y.
- Cov(x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub>)** Covarianza entre las variables x e y.
- σ<sub>x</sub><sup>2</sup>** Varianza de la variable x
- σ<sub>y</sub><sup>2</sup>** Varianza de la variable y

Hipótesis estadísticas para el coeficiente de correlación (ρ) con un nivel de significación del 0,05.

$$H_0: \rho = 0$$

$$H_1: \rho \neq 0$$

### iii. Cantidad de nutrientes en la solución nutritiva

Para el cálculo de la cantidad de cada nutriente que contiene la solución nutritiva se procedió de la siguiente manera:

Se consideró las sales minerales utilizadas en las investigaciones (Tabla 1), la cantidad de meq/L de las sales para preparar las soluciones nutritivas o *stock* (Tabla 2), el equivalente químico (Anexo 3) y la concentración de cada sal (Anexo 4).

Mediante relaciones se calculó la cantidad de nutrientes o requerimiento del cultivo de tomate para el periodo de 60 días, para cada una de las 11 soluciones nutritivas.

#### Solución completa (SC)

Para el cálculo del requerimiento de N se utilizaron tres sales: nitrato de calcio [(CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 4H<sub>2</sub>O], nitrato de potasio [KNO<sub>3</sub>] y molibdato de amonio tetrahidratado [(NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>(Mo<sub>7</sub>O)<sub>24</sub> · 4H<sub>2</sub>O].

Propiedades	Sales minerales
-------------	-----------------



	<b>(CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. 4H<sub>2</sub>O</b>	<b>KNO<sub>3</sub></b>	<b>(NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub> (Mo<sub>7</sub>O)<sub>24</sub>. 4H<sub>2</sub>O</b>	<b>Ver</b>
Cantidad (ml/l o meq/l)	6	2	0,02	Tabla 2
Peso molecular (g)	236,15	101,11	1 235,3	Anexo 3
Equivalente químico	118,08	101,11	1 235,3	Anexo 3
Concentración en la sal (%)	15,5	13,5	7	Anexo 4

<b>(CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. 4H<sub>2</sub>O</b>			<b>KNO<sub>3</sub></b>		
<b>Pasar los 6 meq/l de N a ppm</b>			<b>Pasar los 2 meq/L de N a ppm</b>		
N meq/L		Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> . 4H <sub>2</sub> O ppm o mg/l	N meq/l		KNO <sub>3</sub> ppm o mg/l
1	→	118,08	1	→	101,11
6	→	X =	2	→	X =
$X = \frac{6 * 118,08}{1} = 708,48 \text{ ppm}$			$X = \frac{2 * 101,11}{1} = 202,22 \text{ ppm}$		
<b>Cálculo del 15,5 % de N en (CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. 4H<sub>2</sub>O</b>			<b>Cálculo del 13,5 % de N en KNO<sub>3</sub></b>		
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> . 4H <sub>2</sub> O ppm		N ppm	KNO <sub>3</sub> ppm		N ppm
100	→	15,5	100	→	13,5
708,48	→	X =	202,22	→	X =
$X = \frac{708,48 * 15,5}{100} = 109,81 \text{ ppm N}$			$X = \frac{202,22 * 13,5}{100} = 27,30 \text{ ppm N}$		
<b>(NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub> (Mo<sub>7</sub>O)<sub>24</sub>. 4H<sub>2</sub>O</b>					
<b>Pasar los g de N a ppm</b>			<b>Cálculo del 7 % de N en (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub> (Mo<sub>7</sub>O)<sub>24</sub>. 4H<sub>2</sub>O</b>		
N g		(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> (Mo <sub>7</sub> O) <sub>24</sub> . 4H <sub>2</sub> O mg	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> (Mo <sub>7</sub> O) <sub>24</sub> . 4H <sub>2</sub> O ppm		N ppm
14	→	1235,3	1,76	→	7
0,02	→	X	$X = \frac{1,76 * 7}{100} = 0,12 \text{ ppm N}$		
$X = \frac{0,02 * 1235,3}{14} = 1,76 \text{ ppm}$					
<b>Requerimiento total de N de la planta indicadora</b>					
= 109,81+ 27,30+ 0,12= 137.23 ppm de N					



Para el cálculo del requerimiento de P se utilizó la sal: fosfato mono potásico [ $KH_2PO_4$ ].

Propiedades	Sal mineral	
	$KH_2PO_4$	Ver
Peso molecular (g)	136,09	Anexo 3
Equivalente químico	136,09	Anexo 3
Concentración en la sal (%)	22,36	Anexo 4
Cantidad (ml/L o meq/L)	2	Tabla 2

$KH_2PO_4$			
Pasar los 2 meq/l de P a ppm			Cálculo del 22,36 % de P en $KH_2PO_4$
$KH_2PO_4$ meq/L		$KH_2PO_4$ ppm o mg/l	$KH_2PO_4$ ppm
1	→	136,09	→
2	→	X =	→
$X = \frac{2 * 136,09}{1} = 272,18 \text{ ppm}$			$X = \frac{272,18 * 22,36}{100} = 60,86 \text{ ppm P}$
<b>Requerimiento total de P de la planta indicadora</b> = 60,86 ppm de P			

Para el cálculo del requerimiento de K se utilizó las sales: nitrato de potasio [ $KNO_3$ ] y fosfato mono potásico [ $KH_2PO_4$ ].

Propiedades	Sales minerales		
	$KH_2PO_4$	$K_2SO_4$	Ver
Cantidad (ml/l o meq/l)	2	2 y 1	Tabla 2
Peso molecular (g)	136,09	174,27	Anexo 3
Equivalente químico	136,09	174,27	Anexo 3
Concentración en la sal (%)	28,22	41,5	Anexo 4

<b><math>KH_2PO_4</math></b>			<b><math>KNO_3</math></b>		
<b>Pasar los 2 meq/l de K a ppm</b>			<b>Pasar los 2 meq/l de K a ppm</b>		
$KH_2PO_4$ meq/L		$KH_2PO_4$ ppm o mg/l	$KNO_3$ meq/L		$KNO_3$ ppm o mg/l
1	→	136,09	1	→	101,11
2	→	X =	2	→	X =
$X = \frac{2 * 136,09}{1} = 272,18 \text{ ppm}$			$X = \frac{2 * 101,11}{1} = 202,22 \text{ ppm}$		

<b>Cálculo del 22,36 % de K en <math>KH_2PO_4</math></b>			<b>Cálculo del 38,18 % de K en <math>KNO_3</math></b>		
$KH_2PO_4$ ppm		K ppm	$KNO_3$ ppm		K ppm
100	→	28,22	100	→	38,18
272,18	→	X =	202,22	→	X =
$X = \frac{272,18 * 28,22}{100} = 76,80 \text{ ppm K}$			$X = \frac{202,22 * 38,18}{100} = 77,20 \text{ ppm K}$		

<b>Requerimiento total de K de la planta indicadora</b>	
= 76,80 + 77,20 = 154,02 ppm de K	

Para el cálculo de S se utilizó las sales: sulfato de magnesio [ $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ], sulfato de cobre [ $CuSO_4 \cdot 7H_2O$ ] y sulfato de zinc [ $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ].

Propiedades	Sales minerales			
	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	$CuSO_4 \cdot 7H_2O$	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	Ver
Cantidad (ml/l o meq/l)	2	1	1	Tabla 1
Peso molecular (g)	246,48	250	287,5	Anexo 3
Equivalente químico	123,24	125	143,5	Anexo 3
Concentración en la sal (%)	28,22	38,18	41,5	Anexo 4

$MgSO_4 \cdot 7H_2O$				$CuSO_4 \cdot 7H_2O$			
<b>Pasar los 2 meq/l de S a ppm</b>				<b>Pasar los 2 meq/l de S a ppm</b>			
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ meq/L		$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ppm o mg/l		$CuSO_4 \cdot 7H_2O$		$CuSO_4 \cdot 7H_2O$ ppm o mg/l	
1	→	123,24		1	→	125	
1,5	→	X =		1	→	X =	
$X = \frac{1,5 * 123,24}{1} = 184,86 \text{ ppm}$				$X = \frac{1 * 125}{1} = 125 \text{ ppm}$			
<b>Cálculo del 13 % de S en <math>MgSO_4 \cdot 7H_2O</math></b>				<b>Cálculo del 13 % de S en <math>CuSO_4 \cdot 7H_2O</math></b>			
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ppm		S ppm		$CuSO_4 \cdot 7H_2O$ ppm		S ppm	
100	→	18		100	→	12	
184,86	→	X =		125	→	X =	
$X = \frac{184,86 * 13}{100} = 24,03 \text{ ppm S}$				$X = \frac{125 * 12}{100} = 15 \text{ ppm S}$			
<b><math>ZnSO_4 \cdot 7H_2O</math></b>							
<b>Pasar 1 meq/l de S a ppm</b>				<b>Cálculo del 13 % de S <math>ZnSO_4 \cdot 7H_2O</math></b>			
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ppm		$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ppm o mg/l		$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ppm		S ppm	
1	→	143,5		100	→	13	
1	→	X =		143,5	→	X =	
$X = \frac{1 * 143,5}{1} = 143,5 \text{ ppm}$				$X = \frac{143,5 * 13}{100} = 18,65 \text{ ppm S}$			
<b>Requerimiento total de S de la planta indicadora</b>							
= 24,03 + 15 + 18,65 = 57,69 ppm de S							

Para el cálculo del requerimiento de Mg se utilizó la sal: sulfato de magnesio [ $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ],

Propiedades	Sal mineral	
	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	Ver
Cantidad (ml/l o meq/l)	1	Tabla 2
Peso molecular (g)	246,48	Anexo 3
Equivalente químico	123,24	Anexo 3
Concentración de en la sal (%)	9,6	Anexo 4

$MgSO_4 \cdot 7H_2O$					
Pasar 1 meq/l de Mg a ppm			Cálculo del 9,6% de Mg en $MgSO_4 \cdot 7H_2O$		
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$		$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$		Mg
ppm		ppm o mg/l	ppm		ppm
1	→	123,24	100	→	9,6
1	→	X =	17,75	→	X =
$X = \frac{1 \times 123,24}{1} = 123,24 \text{ ppm}$			$X = \frac{100 \times 9,6}{17,75} = 535,63 \text{ ppm}$		
<b>Requerimiento total de Mg de la planta indicadora</b> = 17,75 ppm de Mg					

Para el cálculo del requerimiento de Cu se utilizó la sal: sulfato de cobre [ $CuSO_4 \cdot 7H_2O$ ]

Propiedades	Sale mineral	
	$CuSO_4 \cdot 7H_2O$	Ver
Cantidad (ml/l o meq/l)	0,04	Tabla 1
Peso molecular (g)	249,65	Anexo 3
Equivalente químico	25	Anexo 3
Concentración de en la sal (%)	25	Anexo 4

<b><i>CuSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O</i></b>		
<b>Pasar los g de Cu a ppm</b>		<b>Cálculo del 13 % de Cu en <i>CuSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O</i></b>
Cu g		<i>CuSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O</i> mg/l
63,54	→	249,65
0,04	→	X =
$X = \frac{0,04 * 249,65}{63,54} = 0,1571 \text{ ppm}$		
<i>CuSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O</i> ppm		Cu ppm
0,078	→	25
$X = \frac{0,15 * 25}{100} = 0,037 \text{ ppm Cu}$		
<b>Requerimiento total de Cu de la planta indicadora</b> = 0,037 ppm de Cu		

Para el cálculo del requerimiento de Zn se utilizó la sal: sulfato de zinc [*ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O*].

<b>Propiedades</b>	<b>Sal mineral</b>	
	<b><i>ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O</i></b>	<b>Ver</b>
Cantidad (ml/l o meq/l)	0,05	Tabla 1
Peso molecular (g)	287,5	Anexo 3
Equivalente químico	143,5	Anexo 3
Concentración de en la sal (%)	23	Anexo 4

<b><i>ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O</i></b>		
<b>Pasar los g de Zn a ppm</b>		<b>Cálculo del 13 % de S <i>ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O</i></b>
Zn g		<i>ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O</i> mg/l
65,38	→	287,5
0,05	→	X =
$X = \frac{0,05 * 287,5}{65,38} = 0,21 \text{ ppm}$		
<i>ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O</i> ppm		Zn ppm
0,109	→	23
$X = \frac{0,21 * 23}{100} = 0,048 \text{ ppm Zn}$		
<b>Requerimiento total de Zn de la planta indicadora</b> = 0,048 ppm de Zn		

Para el cálculo del requerimiento de B se utilizó la sal: ácido Bórico [ $H_3BO_3$ ].

Propiedades	Sal mineral	
	$H_3BO_3$	Ver
Cantidad (ml/l o meq/l)	0,5	Tabla 1
Peso molecular (g)	62	Anexo 3
Equivalente químico	62	Anexo 3
Concentración de en la sal (%)	17,5	Anexo 4

$H_3BO_3$			
Pasar los g de B a ppm			Cálculo del 13 % de B en $H_3BO_3$
B		$H_3BO_3$	
g		ppm o mg/l	
10,81	→	62	
0,5	→	X =	
$X = \frac{0,5 \times 62}{10,81} = 2,86 \text{ ppm}$			
		$H_3BO_3$	B
		ppm	ppm
		2,86	→ 17,5
$X = \frac{2,86 \times 17,5}{100} = 0,50 \text{ ppm B}$			
<b>Requerimiento total de B de la planta indicadora</b> = 0,50 ppm de B			

Para el cálculo del requerimiento de Mn se utilizó la sal: cloruro de manganeso [ $(MnCl)_2 \cdot 6H_2O$ ].

Propiedades	Sal mineral	
	$(MnCl)_2 \cdot 6H_2O$	Ver
Cantidad (ml/l o meq/l)	0,5	Tabla 1
Peso molecular (g)	197,9	Anexo 3
Equivalente químico	98,95	Anexo 3
Concentración de en la sal (%)	28	Anexo 4



<b><math>(MnCl)_2 \cdot 6H_2O</math></b>		
<b>Pasar los g de Mn a ppm</b>		<b>Cálculo del 13 % de Mn en <math>(MnCl)_2 \cdot 6H_2O</math></b>
Mn g		$(MnCl)_2 \cdot 6H_2O$ mg/l
54,93	→	197,9
0,5	→	X =
$X = \frac{0,5 \times 197,9}{54,93} = 1,63 \text{ ppm}$		
$(MnCl)_2 \cdot 6H_2O$ ppm		Mn ppm
0,90	→	28
$X = \frac{1,63 \times 28}{100} = 0,46 \text{ ppm Mn}$		
<b>Requerimiento total de Mn de la planta indicadora</b> = 0,46 ppm de Mn		

Para el cálculo del requerimiento de Fe se realizó partir de la sal: quelato de hierro [NaFe-EDTA].

<b>Propiedades</b>	<b>Sal mineral</b>	
	<b>NaFe-EDTA</b>	<b>Ver</b>
Cantidad (ml/l o meq/l)	1	Tabla 1
Peso molecular (g)	430	Anexo 3
Equivalente químico	430	Anexo 3
Concentración de en la sal (%)	13	Anexo 4

<b>NaFe-EDTA</b>		
<b>Pasar los 1 meq/l de Fe a ppm</b>		<b>Cálculo del 13 % de Fe en NaFe-EDTA</b>
NaFe-EDTA ppm		NaFe-EDTA ppm o mg/l
1	→	430
1	→	X =
$X = \frac{1 \times 430}{1} = 430 \text{ ppm}$		
NaFe-EDTA ppm		Fe ppm
100	→	13
430	→	X =
$X = \frac{430 \times 13}{100} = 30,1 \text{ ppm Fe}$		
<b>Requerimiento total de Fe de la planta indicadora</b> = 30,10 ppm de Fe		

En la Tabla 5, se presenta la cantidad (ppm) de los elementos de la solución nutritiva para preparar la solución completa.

**Tabla 5.** Cantidad de elementos químicos en las sales utilizadas en las soluciones nutritivas.

Sales	Cantidad de elementos químicos en las soluciones nutritivas (ppm)									
	N	P	K	Mg	S	Zn	Cu	Mn	B	Fe
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	109,81									
KNO <sub>3</sub>	27,30		77,21							
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>		60,86	76,81							
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O				17,75	24,03					
NaFe-EDTA										30,1
MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O								0,50		
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>									0,50	
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O					18,66	0,048				
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O					15,00		0,037			
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> .4H <sub>2</sub> O	0,12									
<b>Total, de la SC</b>	<b>137,23</b>	<b>60,86</b>	<b>154,02</b>	<b>17,75</b>	<b>57,69</b>	<b>0,05</b>	<b>0,04</b>	<b>0,50</b>	<b>0,50</b>	<b>30,10</b>

De igual forma se calculó la cantidad de nutrimento para cada una de las soluciones nutritivas obteniendo el total de cada elemento que se aplica a la solución completa (Tabla 6).

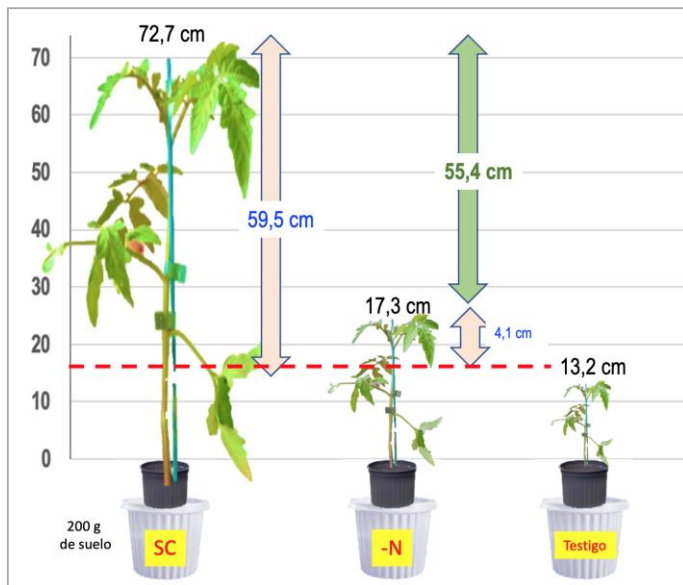
**Tabla 6.** Cantidad de elementos químicos para preparar las soluciones nutritivas.

Elementos	Soluciones nutritivas (ppm)										
	SC	-N	-P	-K	-Mg	-S	-Zn	-Cu	-Mn	-B	-Fe
<b>N</b>	137,23		137,23	137,23	137,23	137,23	137,23	137,23	137,23	137,2	137,23
<b>P</b>	60,86,	60,86,		60,86,	60,86,	60,86,	60,86,	60,86,	60,86,	60,86,	60,86,
<b>K</b>	154,02	221,5	144,6		226,3	154,02	154,02	154,02	154,02	154	154,02
<b>Mg</b>	17,75	17,75	17,75	17,75		17,75	17,75	17,75	17,75	17,75	17,75
<b>S</b>	57,69	120,4	120,4	57,7	65		57,69	57,69	57,69	57,69	57,69
<b>Zn</b>	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05			0,05	0,05	0,05
<b>Cu</b>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04		0,04	0,04	0,04
<b>Mn</b>	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		0,5	0,5
<b>B</b>	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		0,5
<b>Fe</b>	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	

iv. *Contenido de nutrientes del suelo expresados por la altura de la planta indicadora de tomate (Solanum lycopersicum L.).*

Para calcular el contenido de macro y micronutrientes del suelo expresados por la planta indicadora se procedió con la información de la Figura 3.

**Figura 3.** Altura de la planta indicadora en la solución completa.



FUENTE: La autora

Altura de planta con solución completa (SC) = 72,7 cm

Altura de planta con solución nutritiva menos nitrógeno (-N) = 17,3 cm

Altura de planta sin solución nutritiva (testigo) = 13,2 cm (efecto de los nutrientes presentes en el suelo).

Efecto de la SC menos testigo =  $72,7 - 13,2 = 59,5$  cm

Efecto de - N menos testigo =  $17,3 - 13,2 = 4,1$  cm

Déficit de N =  $59,5 - 4,1 = 55,4$  cm

**Déficit de N en el suelo**

N (ppm)		Altura (cm)	
137	→	59,5	
X	←	55,4	$= \frac{137 \times 55,4}{59,5} = 127 \text{ ppm N}$
			<b>N disponible en el suelo = <math>137 - 127 = 10</math> ppm</b>

En los 60 día del ciclo del cultivo en la solución completa la planta indicadora de tomate consume 137 ppm de N puro que toma por medio de la solución nutritiva y el suelo aporta 10 ppm de nitrógeno disponible.

De igual forma se calculó la cantidad de nutrientes disponible en el suelo para los nueve elementos restantes tomando los datos de la Tabla 5.

#### *v. Análisis de componentes principales y Biplot*

Componentes principales, es una técnica de exploratoria que tiene como objetivo resumir un conjunto complejo de datos; se aplica cuando se tiene un conjunto de variables cuantitativas, donde no se distingue entre variables dependientes y variables independientes. Además, permite identificar las variables interrelacionadas entre si ¿cómo lo hacen y por qué? no se plantean hipótesis, pero si preguntas, ejemplo ¿qué sectores de las investigaciones se caracterizan por las diferentes variables meteorológicas y edafológicas?

Cuando el ángulo de los vectores (variables) tiende a cero, las variables están muy correlacionadas positivamente, cuando es próximo a  $90^\circ$  las variables son independientes y a  $180^\circ$  la correlación es negativa.

La segunda característica de los vectores, en cuanto a la aportación a las componentes principales (CP), las variables que tienen más peso o dan mayor aporte a la construcción de la CP, los vectores que se alejan al origen y más cercanos a la componente dan mayor aportación; para considerar dos CP al menos la suma debe dar el 70% de la variación producida o explicada. La información que reúne la CP 1 no se repite en la CP 2, puesto que forman un ángulo de 90 grados, esto se ve en la tabla de autovalores.

En **auto vectores** la CP1 se construye a partir de la combinación lineal de las variables transformadas para comprobar.

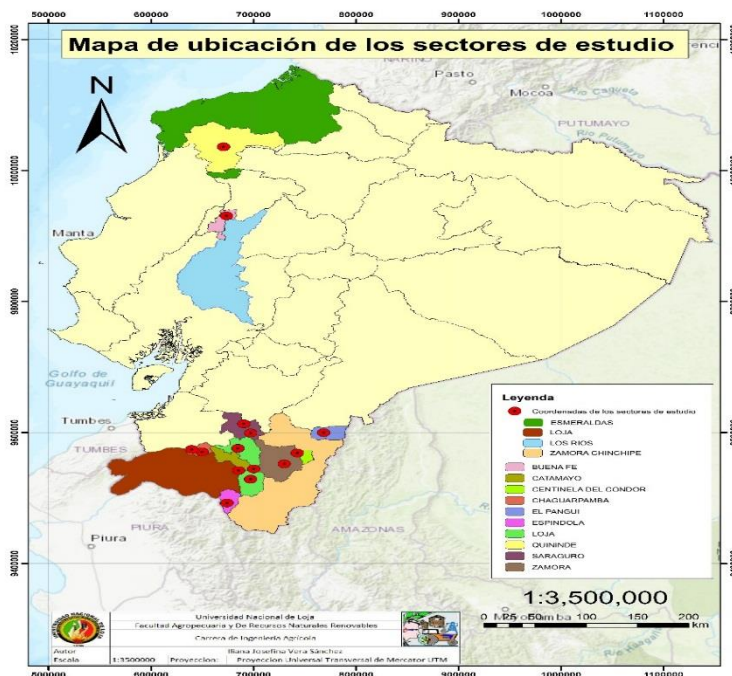
## 6. Resultados

### a. Sistematización de la información de los resultados de la evaluación biológica y el del análisis químico del suelo.

#### i. Ubicación de los sectores donde se tomaron las muestras.

En la Figura 4, se muestra los lugares donde se realizaron las investigaciones sobre evaluación biológica; el mayor número predomina en la provincia de Loja; es decir, en esta provincia se han realizado más estudios sobre análisis de fertilidad del suelo en el periodo analizado (1988 a 2022).

**Figura 4.** Ubicación geográfica de los sectores de estudio.



#### ii. Base de datos de las investigaciones sobre evaluación biológica

#### iii. Investigaciones sobre evaluación biológica.

En la Tabla 7 se expone los datos generales de los autores, directores y temas de los trabajos de investigación sobre evaluación biológica.

**Tabla 7.** Investigaciones sobre evaluación biológica.

<b>Año</b>	<b>Autor</b>	<b>Director</b>	<b>Tema</b>
1988	Francisco Javier Guayllas Guayllas	Ing. Carlos Valarezo Manoslavas, M.Sc.	Estado nutricional de los suelos Cañicapac y Ñamarin mediante el método biológico.
2012	Patricio Leonardo Burneo Castillo	Ing. Carlos Valarezo Manoslavas, M.Sc.	Evaluación biológica de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre andesita tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes en el sur de la Amazonia Ecuatoriana.
2013	Gabriela Estefanía Loaiza Silva	Ing. Miguel Ángel Villamagua, M.Sc.	Evaluación biológica de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre granodiorita, tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes en el suelo de la Amazonía Ecuatoriana.
2013	Orly Milthon Mendoza Aguirre	Ing. Carlos Valarezo Manoslavas, M.Sc.	Evaluación biológica de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre arenisca y cuarzosa, tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes en San Francisco - El Pangui.
2013	Marco Vinicio Alemán Quishpe	Dr. Dubal Antonio Jumbo Jimbo, M.Sc.	Evaluación biológica de la fertilidad del suelo de la quinta experimental punzara utilizando dos especies de pastos ray grass ( <i>Lolium perenne</i> ) y trébol blanco ( <i>Trifolium repens</i> )”
2014	Fernando Mauricio Castillo Cevallos José Francisco Salinas Landy	Ing. Miguel Ángel Villamagua, M.Sc.	Correspondencia entre la evaluación química y biológica de la fertilidad actual de suelos de origen volcánico en dos unidades productivas de las provincias de Los Ríos y Esmeraldas.
2016	Wilmer Geovanny Zhunaula Angamarca	Ing. Miguel Ángel Villamagua, M.Sc.	Evaluación química y biológica de la fertilidad actual de un suelo, desarrollado sobre andesita en el suelo en el sistema de riego La Era, Cantón Catamayo.
2017	Valeria Stefanía Aguirre Vasquez	Ing. Miguel Ángel Villamagua, M.Sc.	Evaluación química y biológica de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre andesita en el sector San Vicente de la parroquia, cantón Loja.
2019	Paola Lourdes Zambrano Sarango	Ing. Miguel Ángel Villamagua, M.Sc.	Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo con café de los sectores Consapamba y Pueblo Nuevo de los cantones Espíndola y Loja
2019	Karina Fabiola Tandazo Tandazo	Ing. Miguel Ángel Villamagua, M.Sc.	Evaluación química y biológica de la fertilidad de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café de los sectores Chaguarpamba y Lozumbe.
2021	Sofía Lizbeth Rogel Peñaloza	Ing. Miguel Ángel Villamagua M.Sc.	Evaluación biológica de fertilidad del suelo en el sector Cucanamá Alto perteneciente a la parroquia Vilcabamba

A continuación, se presenta datos de los sectores de muestreo del suelo, identificación, variables meteorológicas, características físicas y químicas del suelo, análisis químico del suelo y evaluación biológica.

#### ***iv. Identificación de los sectores de muestreo.***

En la Tabla 8, se presenta los datos de altitud, temperatura, precipitación, humedad relativa coordenadas y sectores donde se tomaron las muestras para la evaluación biológica.

La evaluación biológica o método del elemento faltante se ha realizado en distintos sectores del país, siendo la provincia de Loja el lugar con mayor número de estudios realizados seguido de la provincia de Zamora Chinchipe y la provincia de Esmeraldas y Los Ríos.

La ubicación geográfica en las coordenadas planas de los sectores de estudio va desde 674 299 E y 9 492 435 N que corresponden al sector Consapamba que se encuentra en la región sur y 67 001 00 E y 4 002 N al sector de la Cucaracha ubicado en parte noreste del país. Para los diferentes sitios de estudio la altitud oscila de 153 a 2 071 msnm.

Los factores meteorológicos que caracteriza el clima de los sectores de estudio son: precipitación que oscila de 41 mm en Vilcabamba a 1 813,5 mm en el cantón El Panguí. La humedad relativa tiene valores comprendidos entre el 65 en la parroquia Chuquiribamba y el 88 % en la provincia de Zamora cuentan con temperaturas que oscila entre 12 °C en Chuquiribamba a 28 °C en la provincia de Los Ríos con un promedio de temperatura de 12,5 °C.

#### ***1.1.1. Análisis químico del suelo.***

Los datos de los resultados del análisis químico de los sectores de muestreo se exponen en la Tabla 9.

Los datos indican que el método de Olsen Modificado extrajo las cantidades disponibles de macro y microelementos de los diferentes tipos de suelos, para la provincia de Loja se presentan cantidades muy variables de nutrientes donde se evidencia mayor disponibilidad de P, S, Fe, Mn y Zn mientras que los nutrientes N, K, Ca, Mg, Cu y B se encuentran en bajas cantidades en comparación a los suelos de Zamora que presentan contenidos más elevados de Fe, Mn, N, P y Ca, estos últimos suelos presentan una desorción muy baja de K, Mg, B y S; en tanto, los contenidos de N, P, K y Fe en los suelos de Esmeraldas y Los Ríos son altos y las cantidades extraídas en menor cantidad es Mg y B.

**Tabla 8.** Ubicación de sectores de muestreo y variables meteorológicas.

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Coordenadas		Altitud msnm	Temperatura °C	Precipitación mm	Humedad relativa %
				Longitud E	Latitud N				
Loja	Catamayo	El Tambo	La Era	685558	9542018	1685	25	403,3	68
	Espíndola	Bellavista	Consapamba	674299	9492435	1805	34	755	66
		Chaguarpamba	Romerillos	649885	9570496	1462	22	123	86
	Chaguarpamba	Santa Rufina	Lozumbe	639805	9574025	863	22	123	86
		Vilcabamba	Cucanamá	649885	9570496	1532	16	41	75
	Loja	Malacatos	El Cristal	700 429	9544493	2071	20	681,2	80
		Chuquiribamba	San Vicente	684909	9575879	2634	12	800	65
	Saraguro	San Pablo de Tenta	Cañicapac	690758	9613338	2520	19	768	71
		Saraguro	Saraguro	Ñamarin	672200	9632792	2520	19	768
Zamora Chinchiipe	Centinela del Condor	Panguintza	Los Zapotes	741868	95668160	875	22	1,945	88
	Zamora	Zamora	La Victoria	730 195	9 552 202	950	22	1945	88
	El Pangui	Pangui	San Francisco Alto	768554,94	99599864	1400	23	1813,5	87
Esmeraldas	Quinindé	Rosa Zárate	La Cucaracha	6700100	4002	153	28	2896	87
Los Ríos	Buena Fe	Buena Fe	Santa Marianita	673747	9930865	185	29	1873	82



**Tabla 9.** Características físicas del suelo.

Sector	Uso de suelo	Características físicas del suelo														
		Orden	Textura	Color	Pendiente %	Profundidad (cm)	Da (g cm <sup>-3</sup> )	Sat (%)	CC (%)	PMP (%)	AA (%)	VS (%)	VPFI (%)	CA	Zona	Clase
La Era	Maíz + zarandaja	Ultisol	Ar	Pardo grisáceo oscuro	35	25	1,3	52	40	30	10	48	78	M	I	MP
	Caña	Ultisol	Ar	Pardo grisáceo oscuro	35	25	1	60	57	36	21	41	76	MB	I	MP
	Pimiento	Ultisol	Ar	Pardo grisáceo oscuro	35	25	1,1	58	50	36	14	42	78	B	I	MP
	Yuca	Ultisol	FArA	Pardo grisáceo oscuro	35	25	1,5	46	30	24	6	55	78	A	I	MP
	Pastos	Ultisol	FA	Pardo grisáceo oscuro	35	25	1,2	56	45	34	11	44	78	M	I	MP
	Huerta	Ultisol	Far	Pardo grisáceo oscuro	35	25	1,2	54	42	24	18	46	70	M	II	P
Consapamba	Pendiente 15 %	Entisol	FArA	Pardo muy oscuro	15	25	1,1	51	46	7,2	39	48,8	55,9	B	I	MP
	Pendiente 20 %	Entisol	FArA	Pardo muy oscuro	20	25	1,2	51	45	12,7	32,7	49,5	62,2	B	I	MP
	20 %, bajo canal de riego	Entisol	FArA	Pardo muy oscuro	20	25	1,1	52	47	9	37,8	47,8	56,8	B	II	P

Sector	Uso de suelo	Características físicas del suelo														
		Orden	Textura	Color	Pendiente %	Profundidad (cm)	Da (g cm <sup>-3</sup> )	Sat (%)	CC (%)	PMP (%)	AA (%)	VS (%)	VPFI (%)	CA	Zona	Clase
Romerillos	Café var. Geisha	Alfisol	FArL	Pardo oscuro	25	25	1,1	57	50	9	41	43	52	B	II	P
	Café var. Catuai	Alfisol	FArL	Pardo oscuro	38	25	1,1	58	44	11	33	43	53	M	III	M
	Café var. Villalobos	Alfisol	FArL	Pardo fuerte	26	25	1,1	58	45	6	40	42	48	M	III	M
Lozumbe	Pendiente 60 %	Alfisol	FArL	Pardo grisáceo muy oscuro	60	25	1,3	47	42	12	30	53	65	B	I-II	MP
	Pendiente 26 %	Alfisol	FArL	Pardo muy oscuro	26	25	1,3	50	46	14	32	50	65	MB	I	MP
Cucanamá	Sector 1	Alfisol	FL	Pardo oscuro	3	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Sector 2	Alfisol	FL	Pardo oscuro	3	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Sector 3	Alfisol	FL	Pardo oscuro	3	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
El Cristal	Zona 1	Ultisol	Fo	Marrón grisáceo oscuro	40	25	1,2	47	42	10	33	53	62	B	II	P
	Zona 2	Ultisol	Fo	Marrón grisáceo oscuro	40	25	1,2	54	49	13	36	46	58	B	II	P
	Zona 3	Ultisol	Fo	Marrón grisáceo oscuro	40	25	1,2	54	49	13	36	46	58	B	II	P

Sector	Uso de suelo	Características físicas del suelo														
		Orden	Textura	Color	Pendiente %	Profundidad (cm)	Da (g cm <sup>-3</sup> )	Sat (%)	CC (%)	PMP (%)	AA (%)	VS (%)	VPFI (%)	CA	Zona	Clase
San Vicente	Maíz bloque 1	Alfisol	FAr	Pardo oscuro	8	25	1,3	36	34	18	18	ND	79	MB	I	MP
	Maíz bloque 2	Alfisol	FAr	Pardo oscuro	8	25	1,3	39	36	19	17	ND	79	MB	I	MP
	Maíz bloque 3	Alfisol	Fo	Pardo oscuro	8	25	1,3	36	34	18	18	ND	79	MB	I	MP
	Fresa bloque 1	Alfisol	FAr	Pardo oscuro	2	25	1,2	49	47	27	20	ND	76	MB	I	MP
	Fresa bloque 2	Alfisol	FAr	Pardo oscuro	2	25	1,2	48	45	27	18	ND	78	MB	I	MP
	Fresa bloque 3	Alfisol	FAr	Pardo oscuro	2	25	1,2	48	45	27	18	ND	78	MB	I	MP
Quinta Punzará	Ray grass P2	Ultisol	Fo	Marrón grisáceo oscuro	40	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Ray grass P8	Ultisol	Fo	Marrón grisáceo oscuro	40	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Ray grass P10	Ultisol	Fo	Marrón grisáceo oscuro	40	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Ray grass P11	Ultisol	Fo	Marrón grisáceo oscuro	40	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Trébol blanco P2	Ultisol	Fo	Marrón grisáceo oscuro	40	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Trébol blanco P8	Ultisol	Fo	Marrón grisáceo oscuro	40	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Trébol blanco P10	Ultisol	Fo	Marrón grisáceo oscuro	40	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Trébol blanco P11	Ultisol	Fo	Marrón grisáceo oscuro	40	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Sector	Uso de suelo	Características físicas del suelo														
		Orden	Textura	Color	Pendiente %	Profundidad (cm)	Da (g cm <sup>-3</sup> )	Sat (%)	CC (%)	PMP (%)	AA (%)	VS (%)	VPFI (%)	CA	Zona	Clase
Cañicapac	4 t - Tomate	Inceptisol	FAr	Castaño oscuro	40	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	8 t - Tomate	Inceptisol	FAr	Castaño oscuro	40	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	4 t - Trigo	Inceptisol	FAr	Castaño oscuro	40	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	8 t - Trigo	Inceptisol	FAr	Castaño oscuro	40	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ñamarin	3 t - Tomate	Inceptisol	FAr	Castaño oscuro	40	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	6 t - Tomate	Inceptisol	FAr	Castaño oscuro	40	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	3 t - Trigo	Inceptisol	FAr	Castaño oscuro	40	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	6 t - Trigo	Inceptisol	FAr	Castaño oscuro	40	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Sector	Uso de suelo	Características físicas del suelo														
		Orden	Textura	Color	Pendiente %	Profundidad (cm)	Da (g cm <sup>-3</sup> )	Sat (%)	CC (%)	PMP (%)	AA (%)	VS (%)	VPI (%)	CA	Zona	Clase
Los Zapotes	Tratamiento 1	Ultisol	FArL	Pardo amarillento oscuro	60	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 2	Ultisol	FArL	Pardo amarillento oscuro	60	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 3	Ultisol	FArL	Pardo amarillento oscuro	60	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 4	Ultisol	FArL	Pardo amarillento oscuro	60	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 5	Ultisol	FArL	Pardo amarillento oscuro	60	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 6	Ultisol	FArL	Pardo amarillento oscuro	60	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 7	Ultisol	FArL	Pardo amarillento oscuro	60	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 8	Ultisol	FArL	Pardo amarillento oscuro	60	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 9	Ultisol	FArL	Pardo amarillento oscuro	60	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 10	Ultisol	FArL	Pardo amarillento oscuro	60	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

	Tratamiento 11	Ultisol	FArL	Pardo amarillento oscuro	60	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 12	Ultisol	FArL	Pardo amarillento oscuro	60	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
La Victoria	Tratamiento 1	Ultisol	FA	Gris muy oscuro	15	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 2	Ultisol	FA	Gris muy oscuro	15	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 3	Ultisol	FA	Gris muy oscuro	15	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 4	Ultisol	FA	Gris muy oscuro	15	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 5	Ultisol	FA	Gris muy oscuro	15	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 6	Ultisol	FA	Gris muy oscuro	15	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 7	Ultisol	FA	Gris muy oscuro	15	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 8	Ultisol	FA	Gris muy oscuro	15	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 9	Ultisol	FA	Gris muy oscuro	15	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 10	Ultisol	FA	Gris muy oscuro	15	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 11	Ultisol	FA	Gris muy oscuro	15	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 12	Ultisol	FA	Gris muy oscuro	15	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
San Francisco Alto	Tratamiento 1	Ultisol	ArL	Gris claro	15	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 2	Ultisol	ArL	Gris claro	15	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 3	Ultisol	ArL	Gris claro	15	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 4	Ultisol	ArL	Gris claro	15	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

	Tratamiento 5	Ultisol	ArL	Gris claro	15	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 6	Ultisol	ArL	Gris claro	15	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 7	Ultisol	ArL	Gris claro	15	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 8	Ultisol	ArL	Gris claro	15	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 9	Ultisol	ArL	Gris claro	15	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 10	Ultisol	ArL	Gris claro	15	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 11	Ultisol	ArL	Gris claro	15	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tratamiento 12	Ultisol	ArL	Gris claro	15	25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
La Cucaracha	Huerta escarpado	Inceptisol	FA	Casataño grisáceo muy oscuro	52	20	0,96	60	49,3	13,69	35,61	40	53,69	M	II	P
	Cacao plano	Inceptisol	FA	Castaño oscuro	0	20	1,09	53,4	49,2	18,96	30,24	46,6	65,56	MB	I	MP
	Bambú plano	Inceptisol	Fo	Café muy oscuro	0	15	1,12	52,51	47	17,86	29,13	47,49	65,36	B	II	P
	Bambú escarpado	Inceptisol	FA	Castaño oscuro	43	15	0,92	79,8	43,6	16,69	26,91	20,2	36,89	MA	V	MB
	Teca escarpada	Inceptisol	FA	Castaño oscuro	69	20	0,97	59,3	51,2	14,84	36,36	40,7	55,55	B	II	P
	Pasto plano	Inceptisol	FA	Castaño oscuro	0	20	1,07	52,45	44,3	16,57	27,73	47,5	64,07	B	II	P
	Pasto colinado	Inceptisol	FARa	Casataño grisáceo muy oscuro	36	20	1,02	55,7	47,3	18,35	28,95	44,3	62,65	B	II	P
	Pasto escarpado	Inceptisol	FL	Casataño grisáceo muy oscuro	42	25	1,09	52,7	48,5	19,25	29,25	47,3	66,55	MB	I	MP
Santa Marianita	Palma plano	Inceptisol	FA	Castaño oscuro	0	20	0,95	54,38	43,2	16,09	27,11	45,61	61,7	M	III	M

Palma Colinado	Inceptisol	FA	Castaño oscuro	18	35	0,98	54,75	50,25	14,07	36,18	45,24	59,32	MB	I	MP
Melina plano	Inceptisol	FA	Castaño grisáceo muy oscuro	0	20	0,99	54,13	46,36	17,28	29,07	45,86	63,15	B	II	P
Melina escarpado	Inceptisol	FA	Castaño muy oscuro	43	21	1,09	56,9	46,36	17,28	28,96	46,35	65,12	B	II	P
Teca escarpada	Inceptisol	FA	Castaño muy oscuro	47	20	0,86	58,17	42,14	16,14	26	41,82	57,97	A	IV	B
Maíz plano	Inceptisol	FA	Casatño amarillento oscuro	1	20	0,87	58	44,99	16,69	28,3	41,99	58,69	M	III	M



**Tabla 10.** Características químicas del suelo.

Sector	Uso de suelo	Características químicas del suelo											
		PH H2O	C.E (ds/m)	C.I.C (cmol/kg)	M.O (%)	Cationes cambiabiles cmol kg-1			Saturación de bases (%)				
						k	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	K	Na
La Era	Maíz + zarandaja	7	0,4	19	0,8	45	ND	ND	ND	45	ND	ND	8
	Caña	6,2	0,8	21	0,3	9	ND	ND	ND	9	ND	ND	5,6
	Pimiento	7	0,5	17	2	42	ND	ND	ND	42	ND	ND	9
	Yuca	7	0,4	22	2	36	ND	ND	ND	36	ND	ND	10,2
	Pastos	7	2	15	1	46	ND	ND	ND	46	ND	ND	7,7
	Huerta	7	0,5	24	1	38	ND	ND	ND	38	ND	ND	7,4
Consapamba	Pendiente 15 %	7,1	ND	16,2	1,6	0,3	18,6	3,9	0,2	80,7	16,7	1,3	ND
	Pendiente 20 %	ND	ND	16,2	1,6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	20 %, bajo canal de riego	ND	ND	16,2	1,6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Romerillos	Café var. Geisha	4,8	ND	25,7	5,9	0,3	6,9	1,9	0,6	55	15	2	ND
	Café var. Catuai	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Café var. Villalobos	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Lozumbe	Pendiente 60 %	6,4	ND	25,9	4,7	0,2	25,7	3,7	0,1	86	12	1	ND
	Pendiente 26 %		ND	25,9	4,7	0,2	25,7	3,7	0,1	86	12	1	ND
Cucanamá	Sector 1	7,06	ND	17	8,5	0,64	16	3,4	ND	77,7	16,5	3,1	2,52
	Sector 2	6,12	ND	13,7	3,6	0,19	11,6	2,7	ND	84	19,6	1,4	3,3
	Sector 3	6,65	ND	14,4	5,4	0,4	11,1	2,1	ND	79,3	15	2,9	3,1

Sector	Uso de suelo	Características químicas del suelo											
		PH H2O	C.E (ds/m)	C.I.C (cmol/kg)	M.O (%)	Cationes cambiabiles cmol kg-1			Saturación de bases (%)				
						k	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	K	Na
El Cristal	Zona 1	5	ND	7	8	0,5	1,9	0,8	0,1	35,3	14,5	8,5	ND
	Zona 2	5	ND	7	8	0,5	1,9	0,8	0,1	35,3	14,5	8,5	ND
	Zona 3	5	ND	7	8	0,5	1,9	0,8	0,1	35,3	14,5	8,5	ND
San Vicente	Maíz bloque 1	6	0,403	36,4	5,18	10,2	10,2	10,2	10,2	ND	ND	ND	ND
	Maíz bloque 2	5,5	0,331	29,6	4,81	10,4	10,4	10,4	10,4	ND	ND	ND	ND
	Maíz bloque 3	4,95	0,429	31,8	3,88	6,8	6,8	6,8	6,8	ND	ND	ND	ND
	Fresa bloque 1	6,58	0,865	42,6	5,55	13,2	13,2	13,2	13,2	ND	ND	ND	ND
	Fresa bloque 2	6,4	1,17	34,4	5,55	11,8	11,8	11,8	11,8	ND	ND	ND	ND
	Fresa bloque 3	6,33	1,184	32,6	5,55	10,9	10,9	10,9	10,9	ND	ND	ND	ND
Quinta Punzará	Ray grass P2	6	ND	18	ND	12,9	3,2	3,2	ND	ND	ND	ND	ND
	Ray grass P8	ND	ND	17,6	ND	8,3	3,8	3,8	ND	ND	ND	ND	ND
	Ray grass P10	ND	ND	13,9	ND	6,8	3	3	ND	ND	ND	ND	ND
	Ray grass P11	ND	ND	14,1	ND	10,6	2,7	2,7	ND	ND	ND	ND	ND
	Trébol blanco P2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Trébol blanco P8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Trébol blanco P10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Trébol blanco P11	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cañicapac	4 t - Tomate	4,8	ND	ND	3,53	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	8 t - Tomate	4,8	ND	ND	3,53	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	4 t - Trigo	4,8	ND	ND	3,53	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	8 t - Trigo	4,8	ND	ND	3,53	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Sector	Uso de suelo	Características químicas del suelo											
		PH H2O	C.E (ds/m)	C.I.C (cmol/kg)	M.O (%)	Cationes cambiabiles cmol kg-1			Saturación de bases (%)				
						k	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	K	Na
Ñamarin	3 t - Tomate	4,9	ND	ND	3,09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	6 t - Tomate	4,9	ND	ND	3,09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	3 t - Trigo	4,9	ND	ND	3,09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	6 t - Trigo	4,9	ND	ND	3,09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Los Zapotes	Tratamiento 1	4,5	ND	9,75	ND	ND	ND	ND	ND	1,88	2,32	0,12	ND
	Tratamiento 2	ND	ND	11,56	ND	ND	ND	ND	ND	2,59	2,95	0,18	ND
	Tratamiento 3	ND	ND	10,99	ND	ND	ND	ND	ND	2,51	2,3	0,13	ND
	Tratamiento 4	ND	ND	14	ND	ND	ND	ND	ND	4,13	3,16	0,25	ND
	Tratamiento 5	ND	ND	10,55	ND	ND	ND	ND	ND	2,64	2,29	0,14	ND
	Tratamiento 6	ND	ND	10,74	ND	ND	ND	ND	ND	4,62	3,17	0,24	ND
	Tratamiento 7	ND	ND	12,05	ND	ND	ND	ND	ND	4,15	2,96	0,25	ND
	Tratamiento 8	ND	ND	12,1	ND	ND	ND	ND	ND	3,72	4,39	0,22	ND
	Tratamiento 9	ND	ND	11,76	ND	ND	ND	ND	ND	2,53	2,91	0,19	ND
	Tratamiento 10	ND	ND	14,34	ND	ND	ND	ND	ND	6,21	5,12	0,43	ND
	Tratamiento 11	ND	ND	10,92	ND	ND	ND	ND	ND	3,45	3,22	0,22	ND
	Tratamiento 12	ND	ND	12,96	ND	ND	ND	ND	ND	5,42	4,68	0,42	ND

Sector	Uso de suelo	Características químicas del suelo											
		PH H2O	C.E (ds/m)	C.I.C (cmol/kg)	M.O (%)	Cationes cambiabiles cmol kg-1			Saturación de bases (%)				
						k	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	K	Na
La Victoria	Tratamiento 1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,37	0,48	0,15	ND
	Tratamiento 2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,72	0,9	0,18	ND
	Tratamiento 3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,32	0,43	0,15	ND
	Tratamiento 4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,75	0,76	0,16	ND
	Tratamiento 5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,46	0,54	0,2	ND
	Tratamiento 6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,17	0,91	0,22	ND
	Tratamiento 7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,52	0,71	0,16	ND
	Tratamiento 8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,26	1,51	0,2	ND
	Tratamiento 9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,4	0,48	0,14	ND
	Tratamiento 10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,64	0,75	0,17	ND
	Tratamiento 11	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,58	0,46	0,14	ND
	Tratamiento 12	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,08	0,74	0,16	ND
San Francisco Alto	Tratamiento 1	4,37	ND	28,39	ND	ND	ND	ND	ND	1,54	0,99	0,16	ND
	Tratamiento 2	4,49	ND	26,65	ND	ND	ND	ND	ND	1,83	1,63	0,18	ND
	Tratamiento 3	4,58	ND	25,78	ND	ND	ND	ND	ND	2,25	1,37	0,16	ND
	Tratamiento 4	5,45	ND	25,94	ND	ND	ND	ND	ND	11,49	1,62	0,2	ND
	Tratamiento 5	6,02	ND	27,5	ND	ND	ND	ND	ND	20,64	2,3	0,23	ND
	Tratamiento 6	5,29	ND	26,5	ND	ND	ND	ND	ND	11,63	1,68	0,19	ND
	Tratamiento 7	4,48	ND	27,11	ND	ND	ND	ND	ND	1,48	1,11	0,18	ND
	Tratamiento 8	4,41	ND	24,26	ND	ND	ND	ND	ND	1,68	1,25	0,16	ND
	Tratamiento 9	4,47	ND	28,95	ND	ND	ND	ND	ND	2,44	1,01	0,15	ND
	Tratamiento 10	5,63	ND	31,89	ND	ND	ND	ND	ND	12,58	1,79	0,19	ND
	Tratamiento 11	5,51	ND	25,71	ND	ND	ND	ND	ND	14,94	1,9	0,22	ND
	Tratamiento 12	5,85	ND	26,2	ND	ND	ND	ND	ND	15,67	1,75	0,22	ND

Sector	Uso de suelo	Características químicas del suelo											
		PH H2O	C.E (ds/m)	C.I.C (cmol/kg)	M.O (%)	Cationes cambiables cmol kg-1			Saturación de bases (%)				
						k	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	K	Na
La Cucaracha	Huerta escarpado	6,16	ND	35,4	ND	3,55	29,91	9,76	ND	ND	ND	ND	ND
	Cacao plano	ND	ND	38,6	ND	3,52	27,47	10	ND	ND	ND	ND	ND
	Bambú plano	ND	ND	27,86	ND	3,56	25,26	7,78	ND	ND	ND	ND	ND
	Bambú escarpado	ND	ND	37,96	ND	2,9	24,21	8,95	ND	ND	ND	ND	ND
	Teca escarpada	ND	ND	34,68	ND	1,88	26,49	9,4	ND	ND	ND	ND	ND
	Pasto plano	ND	ND	40,8	ND	3,45	19,43	8,07	ND	ND	ND	ND	ND
	Pasto colinado	ND	ND	40,5	ND	3,58	22,3	8,79	ND	ND	ND	ND	ND
	Pasto escarpado	5,57	ND	42,14	ND	2,72	21,65	7,78	ND	ND	ND	ND	ND
Santa Marianita	Palma plano	5,13	ND	19,1	ND	0,69	5,33	2,99	ND	ND	ND	ND	ND
	Palma Colinado	ND	ND	21,9	ND	0,71	7,74	5,22	ND	ND	ND	ND	ND
	Melina plano	5,63	ND	17,4	ND	0,7	5	4,01	ND	ND	ND	ND	ND
	Melina escarpado	ND	ND	27,96	ND	3,22	22,8	9,18	ND	ND	ND	ND	ND
	Teca escarpada	ND	ND	44,04	ND	3,09	22,7	8,89	ND	ND	ND	ND	ND
	Maíz plano	5,21	ND	15,66	ND	1,98	6,84	3,43	ND	ND	ND	ND	ND

**Tabla 11.** Análisis químico del suelo.

Sector	Uso de suelo	Evaluación química (ppm)										
		N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Cu	Zn	B	Fe
La Era	Maíz + zarandaja	0,4	19	0,4	17	7	17	4	3	0,6	0,4	17
	Caña	0,1	36	0,8	17	4	71	16	7	1,5	1	37
	Pimiento	0,011	0,04	22	17	5	24	15	3	1,3	0,4	16
	Yuca	14	11	0,42	17	5	27	13	3	1,3	0,4	26
	Pastos	1	13	0,7	18	3	91	10	4	0,6	2	24
	Huerta	11	120	1	17	4	10	6	4	2	0,4	17
Consapamba	Pendiente 15 %	0,13	53	0,51	ND	3	12	14	4	4	0,4	160
	Pendiente 20 %	0,08	30	0,29	ND	2,4	11	13	4	4	0,4	51
	20 %, bajo canal de riego	0,1	22	0,38	ND	3,1	11	12	3	3	0,4	32
Romerillos	Café var. Geisha	0,3	12	0,39	ND	2,8	31	74	14	5	0,55	429
	Café var. Catuai	0,29	10	0,3	ND	1,8	31	84	11	3	0,85	436
	Café var. Villalobos	0,28	11	0,47	ND	2,2	30	105	10	4	0,5	329
Lozumbe	Pendiente 60 %	0,25	23	0,19	ND	1,2	15	29	7	22	0,5	56
	Pendiente 26 %	0,22	14	0,21	ND	1,8	16	34	10	15	0,5	48
Cucanamá	Sector 1	158	31	0,5	ND	3,2	4	6	4	3	0,3	214
	Sector 2	169	74	0,7	ND	2,3	6	7	5	5	0,4	264
	Sector 3	169	45	0,7	ND	2,8	3	10	5	3	0,5	199

Sector	Uso de suelo	Evaluación química (ppm)										
		N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Cu	Zn	B	Fe
El Cristal	Zona 1	0,2	15	0,22	ND	0,24	20	5	3	2	0,4	552
	Zona 2	0,24	16	0,16	ND	0,15	22	5	4	2	0,4	570
	Zona 3	0,2	19	0,19	ND	0,3	22	15	5	2	0,4	517
San Vicente	Maíz bloque 1	74	92	39	ND	2	31	14	11	14	0,4	69
	Maíz bloque 2	73	83	231	ND	2	30	ND	12	10	0,4	51
	Maíz bloque 3	78	58	59	ND	2	30	5	17	10	0,4	63
	Fresa bloque 1	62	129	304	ND	2	43	ND	12	10	0,4	51
	Fresa bloque 2	73	33	77	ND	2	103	4	13	5	0,4	54
	Fresa bloque 3	59	111	251	ND	2	38	ND	3	7	0,4	50
Quinta Punzará	Ray grass P2	69,4	33,7	0,2	1,8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Ray grass P8	148,5	47,2	0,29	2,1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Ray grass P10	93,1	19,4	0,41	2,1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Ray grass P11	99,3	36,3	0,1	1,8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Trébol blanco P2	69,4	33,7	0,2	1,8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Trébol blanco P8	148,5	47,2	0,29	2,1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Trébol blanco P10	93,1	19,4	0,41	2,1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Trébol blanco P11	99,3	36,3	0,1	1,8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cañicapac	4 Tn - Tomate	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	8 Tn- Tomate	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	4 Tn- Trigo	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	8 Tn - Trigo	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Sector	Uso de suelo	Evaluación química (ppm)										
		N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Cu	Zn	B	Fe
Ñamarin	3 Tn - Tomate	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	6 Tn - Tomate	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	3 Tn - Trigo	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	6 Tn - Trigo	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Los Zapotes	Tratamiento 1	28	7	0	11	1	ND	24	6	8	ND	1018
	Tratamiento 2	30	8	0	23	3	ND	35	5	9	ND	790
	Tratamiento 3	24	7	0	18	2	ND	34	5	8	ND	881
	Tratamiento 4	28	12	0	29	3	ND	31	6	9	ND	790
	Tratamiento 5	25	9	0	12	2	ND	29	6	7	ND	904
	Tratamiento 6	27	12	0	29	3	ND	17	5	10	ND	904
	Tratamiento 7	24	8	0	13	2	ND	33	4	9	ND	928
	Tratamiento 8	29	12	0	23	3	ND	33	5	9	ND	608
	Tratamiento 9	26	4	0	11	2	ND	19	4	7	ND	836
	Tratamiento 10	28	10	0	20	2	ND	22	3	8	ND	699
	Tratamiento 11	28	10	0	17	2	ND	34	3	7	ND	1133



Sector	Uso de suelo	Evaluación química (ppm)										
		N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Cu	Zn	B	Fe
La Victoria	Tratamiento 1	9	5	2	1	1	ND	3	2	1	ND	409
	Tratamiento 2	9	23	3	7	1	ND	5	2	1	ND	602
	Tratamiento 3	8	5	2	1	1	ND	3	2	0	ND	400
	Tratamiento 4	10	19	3	8	1	ND	4	3	1	ND	474
	Tratamiento 5	8	12	3	1	1	ND	3	3	1	ND	394
	Tratamiento 6	9	18	3	9	1	ND	5	3	1	ND	489
	Tratamiento 7	9	9	2	1	1	ND	3	3	1	ND	450
	Tratamiento 8	8	30	3	6	1	ND	5	3	1	ND	552
	Tratamiento 9	8	3	2	1	1	ND	3	3	0	ND	452
	Tratamiento 10	9	27	3	8	1	ND	4	3	1	ND	534
	Tratamiento 11	6	3	2	2	1	ND	3	2	0	ND	453
	Tratamiento 12	8	24	2	8	1	ND	4	2	1	ND	489
San Francisco Alto	Tratamiento 1	7	10	0	2	1	ND	13	3	1	ND	253
	Tratamiento 2	8	8	0	1	2	ND	11	2	1	ND	251
	Tratamiento 3	8	6	0	2	2	ND	10	2	1	ND	169
	Tratamiento 4	10	54	0	7	1	ND	6	2	5	ND	136
	Tratamiento 5	8	84	0	8	3	ND	6	2	5	ND	126
	Tratamiento 6	8	74	0	6	1	ND	6	2	3	ND	211
	Tratamiento 7	5	10	0	1	1	ND	12	3	1	ND	249
	Tratamiento 8	7	8	0	1	1	ND	12	3	1	ND	242
	Tratamiento 9	10	7	0	2	1	ND	8	2	1	ND	228
	Tratamiento 10	15	89	0	8	2	ND	4	2	6	ND	177
	Tratamiento 11	9	56	0	7	2	ND	4	2	8	ND	194
	Tratamiento 12	8	96	0	7	2	ND	4	2	7	ND	202

Sector	Uso de suelo	Evaluación química (ppm)										
		N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Cu	Zn	B	Fe
La Cucaracha	Huerta escarpado	0,03	8	567	13	2	4	7	5	6	0,6	29
	Cacao plano	54	16	289	10	1	5	6	4	8	0,7	43
	Bambú plano	59	10	260	19	1	6	10	4	5	0,6	48
	Bambú escarpado	51	9	189	12	2	4	12	4	7	0,5	31
	Teca escarpada	49	13	389	12	2	4	6	4	7	0,4	9
	Pasto plano	43	13	414	9	1	5	10	5	7	0,9	51
	Pasto colinado	48	9	364	9	1	4	8	5	8	0,6	47
Pasto escarpado	50	9	455	12	1	5	9	5	6	0,5	28	
Santa Marianita	Palma plano	56	15	106	5	0	7	1	3	1	0,6	22
	Palma Colinado	59	19	143	4	0	9	2	3	3	0,7	26
	Melina plano	61	14	191	3	0	8	2	4	5	0,9	34
	Melina escarpado	59	23	174	17	1	7	3	3	5	0,7	32
	Teca escarpada	58	24	169	6	1	6	3	4	4	0,5	39
	Maíz plano	46	27	79	5	0	7	2	3	4	0,5	22

### ***1.1.1. Evaluación biológica del suelo.***

Los datos de altura y biomasa seca de la planta indicadora de los sectores de muestreo se exponen en las Tablas 10 y 11.

En los datos de altura y biomasa seca de la planta indicadora existe una variación que van desde 3 a 100 cm y 0,1 a 25 g debido a que los suelos estudiados pertenecen a unidades edafológicas distintas y poseen diferentes contenidos de nutrimentos. En las investigaciones realizadas en la provincia de Loja los valores son altos en comparación con los de la provincia de Zamora Chinchipe, Esmeraldas y Los Ríos que tienen valores más bajos.

En la provincia de Loja predominan los suelos de orden alfisoles, los mismos que poseen reservas importantes de nutrientes y un alto contenido de materia orgánica que proporciona buenas condiciones de fertilidad a diferencia de los suelos de Zamora Chinchipe que pertenece a la orden de los ultisoles mismo que presentan poca fertilidad.

**Tabla 12.** Altura de la planta indicadora.

Sector	Uso de suelo	Evaluación Biológica (Altura cm)											
		SC	N	P	K	Mg	S	Zn	Cu	Mn	B	Fe	Testigo
La Era	Maíz + zarandaja	44	8	10	26	31	13	39	30	21	20	34	ND
	Caña	40	15	13	33	36	30	39	29	39	36	33	ND
	Pimiento	51	12	13	35	47	22	48	47	42	44	39	ND
	Yuca	47	10	13	36	46	21	46	43	45	45	46	ND
	Pastos	46	10	6	33	36	42	45	41	40	32	36	ND
	Huerta	43	8	14	32	39	13	36	41	42	40	32	ND
Consapamba	Pendiente 15 %	70	28	58	57	67	37	63	63	60	68	65	14
	Pendiente 20 %	68	23	40	55	61	33	65	48	53	64	43	10
	20 %, bajo canal de riego	66	18	44	58	62	35	61	44	56	60	59	12
Romerillos	Café var.Geisha	100	12	7	60	54	53	73	61	72	59	69	5
	Café var. Catuai	100	11	6	35	61	61	69	64	53	49	63	5
	Café var. Villalobos	100	11	7	35	40	54	67	80	80	83	61	4
Lozumbe	Pendiente 60 %	100	19	16	17	60	36	79	87	84	59	55	10
	Pendiente 26 %	100	13	26	25	37	30	75	78	86	47	91	12
Cucanamá	Sector 1	100	31	47	65	76	58	87	79	91	82	87	14
	Sector 2	100	27	46	65	73	52	86	76	93	82	91	12
	Sector 3	100	25	29	59	67	44	83	71	93	76	87	15

Sector	Uso de suelo	Evaluación Biológica (Altura cm)											
		SC	N	P	K	Mg	S	Zn	Cu	Mn	B	Fe	Testigo
El Cristal	Zona 1	83	14	13	37	41	31	58	53	66	38	66	7
	Zona 2	73	13	9	30	28	29	44	50	52	28	54	7
	Zona 3	62	11	9	26	23	24	32	45	66	16	39	5
San Vicente	Maíz bloque 1	64	18	13	32	54	38	22	51	53	44	57	11
	Maíz bloque 2	70	24	23	44	60	56	44	54	46	45	59	18
	Maíz bloque 3	68	19	8	28	49	60	45	39	45	29	48	7
	Fresa bloque 1	75	31	45	44	57	56	63	60	61	57	56	29
	Fresa bloque 2	77	36	47	43	58	55	62	66	65	50	53	20
	Fresa bloque 3	77	31	34	47	46	57	73	66	51	49	46	26
Quinta Punzará	Ray grass P2	34	7	17,7	18,3	17	9,3	24	23	27,7	25,7	30	ND
	Ray grass P8	32	9,7	15	19,3	25	9,7	24,7	25,3	17,3	18	28,3	ND
	Ray grass P10	32,7	10	26	22,3	20,3	11,3	21	24	20,7	22	19,3	ND
	Ray grass P11	32	10	19	24	16,7	14	23	25	24	25	25,7	ND
	Trébol blanco P2	13	5,1	10,3	10,8	9,7	5,5	12	11	10,2	9,8	9,9	ND
	Trébol blanco P8	11,9	5,2	9,7	10,7	9,7	6	11	9,5	9,7	9,8	9,3	ND
	Trébol blanco P10	13,7	5,4	10,3	10,8	10,3	6	11,5	11,1	10,2	11	11,3	ND
	Trébol blanco P11	14	5,2	11	11,7	10,5	5,6	12,3	10,3	11	9,8	12,7	ND
Cañicapac	4 t - Tomate	31	12	15	23	26	26	35	ND	ND	ND	ND	ND
	8 t - Tomate	31	10	17	28	30	28	32	ND	ND	ND	ND	ND
	4 t - Trigo	61	42	47	48	55	54	59	ND	ND	ND	ND	ND
	8 t - Trigo	62	41	48	57	61	52	59	ND	ND	ND	ND	ND

Sector	Uso de suelo	Evaluación Biológica (Altura cm)											
		SC	N	P	K	Mg	S	Zn	Cu	Mn	B	Fe	Testigo
Ñamarin	3 t - Tomate	30	11	10	26	30	25	32	ND	ND	ND	ND	ND
	6 t - Tomate	33	10	8	28	29	27	33	ND	ND	ND	ND	ND
	3 t - Trigo	44	36	28	48	42	55	46	ND	ND	ND	ND	ND
	6 t - Trigo	64	42	41	57	52	62	58	ND	ND	ND	ND	ND
Los Zapotes	Tratamiento 1	29	3	4	14	20	13	16	16	17	4	22	ND
	Tratamiento 2	30	7	4	17	18	16	17	23	18	5	28	ND
	Tratamiento 3	32	5	3	15	19	16	14	18	12	5	25	ND
	Tratamiento 4	32	12	4	21	29	30	26	26	30	6	27	ND
	Tratamiento 5	28	4	4	9	14	22	22	17	17	4	22	ND
	Tratamiento 6	31	16	5	29	28	28	31	31	28	7	29	ND
	Tratamiento 7	33	8	4	16	20	18	18	27	17	5	29	ND
	Tratamiento 8	36	12	6	27	28	29	28	33	28	7	28	ND
	Tratamiento 9	31	4	4	26	22	19	21	23	24	5	22	ND
	Tratamiento 10	45	18	17	32	32	32	36	32	31	26	32	ND
	Tratamiento 11	30	4	5	13	19	20	19	19	22	5	23	ND
	Tratamiento 12	41	16	6	32	22	30	33	28	30	20	22	ND

Sector	Uso de suelo	Evaluación Biológica (Altura cm)											
		SC	N	P	K	Mg	S	Zn	Cu	Mn	B	Fe	Testigo
La Victoria	Tratamiento 1	30	4	7	5	6	7	13	9	16	5	9	ND
	Tratamiento 2	39	8	5	28	12	13	29	31	28	12	28	ND
	Tratamiento 3	32	6	6	5	18	14	13	12	5	5	7	ND
	Tratamiento 4	36	6	5	15	24	24	23	26	22	9	29	ND
	Tratamiento 5	35	4	4	4	4	6	6	10	7	4	14	ND
	Tratamiento 6	43	5	5	30	28	15	27	29	31	28	21	ND
	Tratamiento 7	42	5	5	13	26	25	34	32	33	8	29	ND
	Tratamiento 8	37	5	4	22	27	32	37	35	31	13	31	ND
	Tratamiento 9	36	5	5	24	26	17	30	23	28	5	16	ND
	Tratamiento 10	37	5	6	15	28	12	29	21	18	7	22	ND
	Tratamiento 11	39	9	4	19	23	31	29	5	33	4	11	ND
	Tratamiento 12	40	6	6	16	30	17	24	34	35	10	29	ND
San Francisco Alto	Tratamiento 1	31	13	14	23	20	14	23	18	16	3	16	ND
	Tratamiento 2	34	16	17	22	26	20	28	21	29	16	30	ND
	Tratamiento 3	31	14	29	22	33	33	33	31	30	8	32	ND
	Tratamiento 4	33	15	29	26	34	34	25	31	31	20	30	ND
	Tratamiento 5	35	15	27	22	31	34	35	30	32	16	34	ND
	Tratamiento 6	32	8	18	15	9	9	26	20	15	2	16	ND
	Tratamiento 7	27	10	12	18	25	17	24	20	28	4	19	ND
	Tratamiento 8	27	10	17	20	20	24	26	30	20	16	28	ND
	Tratamiento 9	33	16	32	27	30	34	34	29	35	4	37	ND
	Tratamiento 10	31	20	27	26	33	26	28	34	34	4	37	ND
	Tratamiento 11	30	20	27	26	33	26	33	35	34	27	36	ND
	Tratamiento 12	30	4	7	5	6	7	13	9	16	5	9	ND

Sector	Uso de suelo	Evaluación Biológica (Altura cm)											
		SC	N	P	K	Mg	S	Zn	Cu	Mn	B	Fe	Testigo
La Cucaracha	Huerta escarpado	57	6	5	15	47	28	48	38	40	50	36	ND
	Cacao plano	42	30	7	24	26	24	37	39	39	34	40	ND
	Bambú plano	52	22	7	36	49	37	31	38	39	33	38	ND
	Bambú escarpado	61	22	6	44	51	42	42	42	50	50	39	ND
	Teca escarpada	52	24	6	35	42	34	36	40	43	39	39	ND
	Pasto plano	49	23	6	27	38	32	38	36	39	40	45	ND
	Pasto colinado	54	23	6	35	43	36	39	39	44	43	41	ND
	Pasto escarpado	52	24	6	32	41	34	38	39	42	41	42	ND
Santa Marianita	Palma plano	19	10	6	9	13	11	12	13	8	7	12	ND
	Palma Colinado	26	11	5	14	17	17	16	13	8	12	12	ND
	Melina plano	40	10	6	19	23	18	19	23	30	36	33	ND
	Melina escarpado	26	9	8	9	18	12	19	15	12	13	14	ND
	Teca escarpada	30	13	6	16	20	23	26	14	14	18	14	ND
	Maíz plano	34	11	6	13	27	23	25	27	9	12	13	ND



**Tabla 13.** Biomasa seca de la planta indicadora.

Sector	Uso de suelo	Evaluación Biológica (Altura cm)											
		SC	N	P	K	Mg	S	Zn	Cu	Mn	B	Fe	Testigo
La Era	Maíz + zarandaja	44	8	10	26	31	13	39	30	21	20	34	ND
	Caña	40	15	13	33	36	30	39	29	39	36	33	ND
	Pimiento	51	12	13	35	47	22	48	47	42	44	39	ND
	Yuca	47	10	13	36	46	21	46	43	45	45	46	ND
	Pastos	46	10	6	33	36	42	45	41	40	32	36	ND
	Huerta	43	8	14	32	39	13	36	41	42	40	32	ND
Consapamba	Pendiente 15 %	70	28	58	57	67	37	63	63	60	68	65	14
	Pendiente 20 %	68	23	40	55	61	33	65	48	53	64	43	10
	20 %, bajo canal de riego	66	18	44	58	62	35	61	44	56	60	59	12
Romerillos	Café var. Geisha	100	12	7	60	54	53	73	61	72	59	69	5
	Café var. Catuai	100	11	6	35	61	61	69	64	53	49	63	5
	Café var. Villalobos	100	11	7	35	40	54	67	80	80	83	61	4
Lozumbe	Pendiente 60 %	100	19	16	17	60	36	79	87	84	59	55	10
	Pendiente 26 %	100	13	26	25	37	30	75	78	86	47	91	12
Cucanamá	Sector 1	100	31	47	65	76	58	87	79	91	82	87	14
	Sector 2	100	27	46	65	73	52	86	76	93	82	91	12
	Sector 3	100	25	29	59	67	44	83	71	93	76	87	15

Sector	Uso de suelo	Evaluación Biológica (Altura cm)											
		SC	N	P	K	Mg	S	Zn	Cu	Mn	B	Fe	Testigo
El Cristal	Zona 1	83	14	13	37	41	31	58	53	66	38	66	7
	Zona 2	73	13	9	30	28	29	44	50	52	28	54	7
	Zona 3	62	11	9	26	23	24	32	45	66	16	39	5
San Vicente	Maíz bloque 1	64	18	13	32	54	38	22	51	53	44	57	11
	Maíz bloque 2	70	24	23	44	60	56	44	54	46	45	59	18
	Maíz bloque 3	68	19	8	28	49	60	45	39	45	29	48	7
	Fresa bloque 1	75	31	45	44	57	56	63	60	61	57	56	29
	Fresa bloque 2	77	36	47	43	58	55	62	66	65	50	53	20
	Fresa bloque 3	77	31	34	47	46	57	73	66	51	49	46	26
Quinta Punzará	Ray grass P2	34	7	17,7	18,3	17	9,3	24	23	27,7	25,7	30	ND
	Ray grass P8	32	9,7	15	19,3	25	9,7	24,7	25,3	17,3	18	28,3	ND
	Ray grass P10	32,7	10	26	22,3	20,3	11,3	21	24	20,7	22	19,3	ND
	Ray grass P11	32	10	19	24	16,7	14	23	25	24	25	25,7	ND
	Trébol blanco P2	13	5,1	10,3	10,8	9,7	5,5	12	11	10,2	9,8	9,9	ND
	Trébol blanco P8	11,9	5,2	9,7	10,7	9,7	6	11	9,5	9,7	9,8	9,3	ND
	Trébol blanco P10	13,7	5,4	10,3	10,8	10,3	6	11,5	11,1	10,2	11	11,3	ND
	Trébol blanco P11	14	5,2	11	11,7	10,5	5,6	12,3	10,3	11	9,8	12,7	ND
Cañicapac	4 t - Tomate	31	12	15	23	26	26	35	ND	ND	ND	ND	ND
	8 t - Tomate	31	10	17	28	30	28	32	ND	ND	ND	ND	ND
	4 t - Trigo	61	42	47	48	55	54	59	ND	ND	ND	ND	ND
	8 t - Trigo	62	41	48	57	61	52	59	ND	ND	ND	ND	ND

Sector	Uso de suelo	Evaluación Biológica (Altura cm)											
		SC	N	P	K	Mg	S	Zn	Cu	Mn	B	Fe	Testigo
Ñamarin	3 t - Tomate	30	11	10	26	30	25	32	ND	ND	ND	ND	ND
	6 t -Tomate	33	10	8	28	29	27	33	ND	ND	ND	ND	ND
	3 t - Trigo	44	36	28	48	42	55	46	ND	ND	ND	ND	ND
	6 t - Trigo	64	42	41	57	52	62	58	ND	ND	ND	ND	ND
Los Zapotes	Tratamiento 1	29	3	4	14	20	13	16	16	17	4	22	ND
	Tratamiento 2	30	7	4	17	18	16	17	23	18	5	28	ND
	Tratamiento 3	32	5	3	15	19	16	14	18	12	5	25	ND
	Tratamiento 4	32	12	4	21	29	30	26	26	30	6	27	ND
	Tratamiento 5	28	4	4	9	14	22	22	17	17	4	22	ND
	Tratamiento 6	31	16	5	29	28	28	31	31	28	7	29	ND
	Tratamiento 7	33	8	4	16	20	18	18	27	17	5	29	ND
	Tratamiento 8	36	12	6	27	28	29	28	33	28	7	28	ND
	Tratamiento 9	31	4	4	26	22	19	21	23	24	5	22	ND
	Tratamiento 10	45	18	17	32	32	32	36	32	31	26	32	ND
	Tratamiento 11	30	4	5	13	19	20	19	19	22	5	23	ND
	Tratamiento 12	41	16	6	32	22	30	33	28	30	20	22	ND

Sector	Uso de suelo	Evaluación Biológica (Altura cm)											
		SC	N	P	K	Mg	S	Zn	Cu	Mn	B	Fe	Testigo
La Victoria	Tratamiento 1	30	4	7	5	6	7	13	9	16	5	9	ND
	Tratamiento 2	39	8	5	28	12	13	29	31	28	12	28	ND
	Tratamiento 3	32	6	6	5	18	14	13	12	5	5	7	ND
	Tratamiento 4	36	6	5	15	24	24	23	26	22	9	29	ND
	Tratamiento 5	35	4	4	4	4	6	6	10	7	4	14	ND
	Tratamiento 6	43	5	5	30	28	15	27	29	31	28	21	ND
	Tratamiento 7	42	5	5	13	26	25	34	32	33	8	29	ND
	Tratamiento 8	37	5	4	22	27	32	37	35	31	13	31	ND
	Tratamiento 9	36	5	5	24	26	17	30	23	28	5	16	ND
	Tratamiento 10	37	5	6	15	28	12	29	21	18	7	22	ND
	Tratamiento 11	39	9	4	19	23	31	29	5	33	4	11	ND
	Tratamiento 12	40	6	6	16	30	17	24	34	35	10	29	ND
San Francisco Alto	Tratamiento 1	31	13	14	23	20	14	23	18	16	3	16	ND
	Tratamiento 2	34	16	17	22	26	20	28	21	29	16	30	ND
	Tratamiento 3	31	14	29	22	33	33	33	31	30	8	32	ND
	Tratamiento 4	33	15	29	26	34	34	25	31	31	20	30	ND
	Tratamiento 5	35	15	27	22	31	34	35	30	32	16	34	ND
	Tratamiento 6	32	8	18	15	9	9	26	20	15	2	16	ND
	Tratamiento 7	27	10	12	18	25	17	24	20	28	4	19	ND
	Tratamiento 8	27	10	17	20	20	24	26	30	20	16	28	ND
	Tratamiento 9	33	16	32	27	30	34	34	29	35	4	37	ND
	Tratamiento 10	31	20	27	26	33	26	28	34	34	4	37	ND
	Tratamiento 11	30	20	27	26	33	26	33	35	34	27	36	ND
	Tratamiento 12	30	4	7	5	6	7	13	9	16	5	9	ND

Sector	Uso de suelo	Evaluación Biológica (Altura cm)											
		SC	N	P	K	Mg	S	Zn	Cu	Mn	B	Fe	Testigo
La Cucaracha	Huerta escarpado	57	6	5	15	47	28	48	38	40	50	36	ND
	Cacao plano	42	30	7	24	26	24	37	39	39	34	40	ND
	Bambú plano	52	22	7	36	49	37	31	38	39	33	38	ND
	Bambú escarpado	61	22	6	44	51	42	42	42	50	50	39	ND
	Teca escarpada	52	24	6	35	42	34	36	40	43	39	39	ND
	Pasto plano	49	23	6	27	38	32	38	36	39	40	45	ND
	Pasto colinado	54	23	6	35	43	36	39	39	44	43	41	ND
	Pasto escarpado	52	24	6	32	41	34	38	39	42	41	42	ND
Santa Marianita	Palma plano	19	10	6	9	13	11	12	13	8	7	12	ND
	Palma Colinado	26	11	5	14	17	17	16	13	8	12	12	ND
	Melina plano	40	10	6	19	23	18	19	23	30	36	33	ND
	Melina escarpado	26	9	8	9	18	12	19	15	12	13	14	ND
	Teca escarpada	30	13	6	16	20	23	26	14	14	18	14	ND
	Maíz plano	34	11	6	13	27	23	25	27	9	12	13	ND

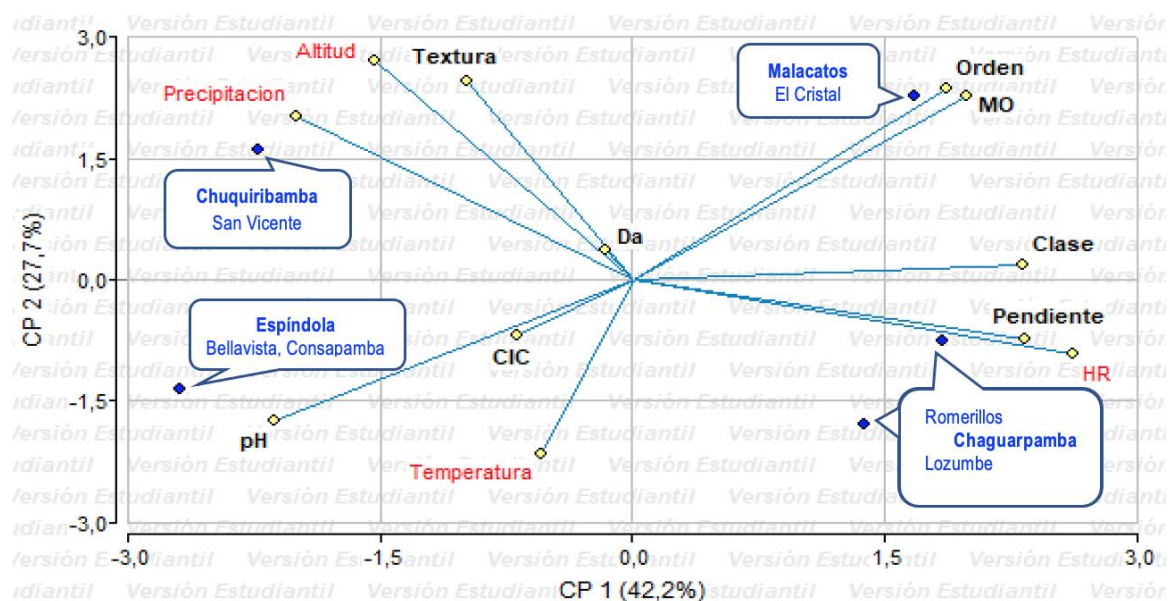
ND Dato no disponible.

**b. Relaciones entre las variables meteorológicas, características químicas, físicas y biológicas del suelo, resultados de los análisis químicos y evaluación biológica.**

**i. Relación entre variables meteorológicas y características físicas y químicas del suelo.**

La serie de datos de las parroquias Malacatos, Chuquiribamba, Chaguarpamba del cantón Loja y Bellavista del cantón Espíndola, en las dos primeras componentes principales, se aprecia una marcada diferenciación entre territorios de mayor contraste en sus características edáficas y climáticas (Figura 5). Es notorio la similitud de características entre el suelo de los sectores Lozumbe y Romerillos del cantón Chaguarpamba.

**Figura 5.** Componentes principales y biplot de las características de los sectores de muestreo.



En la Tabla 14, se presenta las correlaciones entre las dos primeras componentes principales (CP 1 y CP 2) con las variables para caracterizar los sitios de muestreo. Para la CP 1, las variables con mayor correlación son: humedad relativa, pendiente, clase y pH, materia orgánica y precipitación; para la CP 2, altitud, textura y orden del suelo.

**Tabla 14.** Correlación de las componentes principales con las variables para caracterizar los sitios de muestreo.

<b>Variab</b> les	<b>CP 1</b>	<b>CP 2</b>
Temperatura	-0,20	-0,64
Precipitación	<b>-0,73</b>	0,60
pH	<b>-0,78</b>	-0,52
MO	<b>0,73</b>	0,67
CIC	-0,25	-0,20
HR	<b>0,96</b>	-0,27
Textura	-0,36	<b>0,73</b>
Pendiente	<b>0,85</b>	-0,22
Clase	<b>0,85</b>	0,06
Da	-0,06	0,11
Altitud	-0,56	<b>0,80</b>
Orden	0,69	<b>0,70</b>

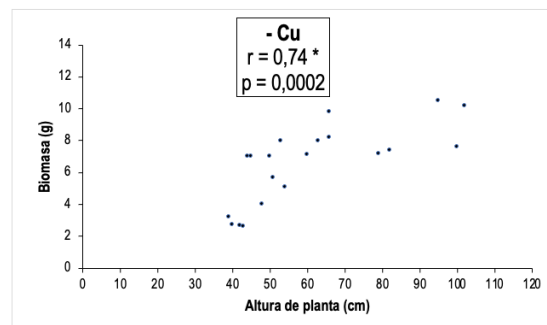
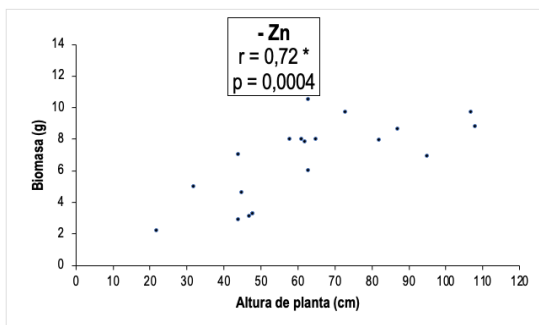
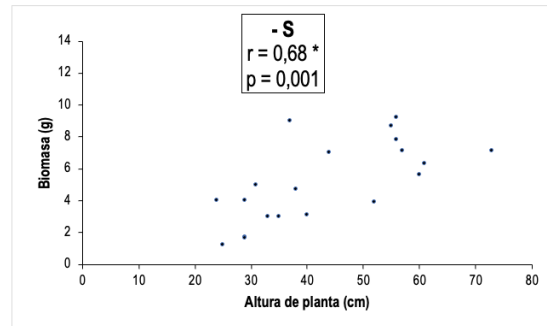
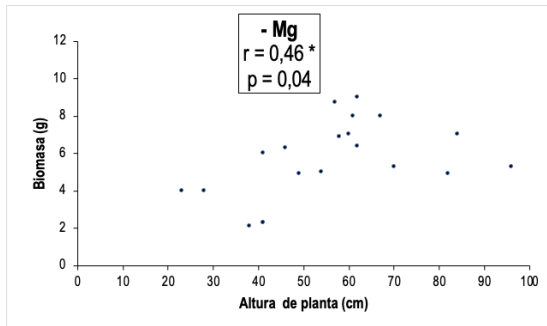
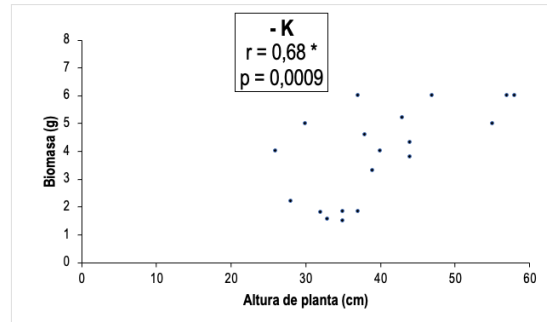
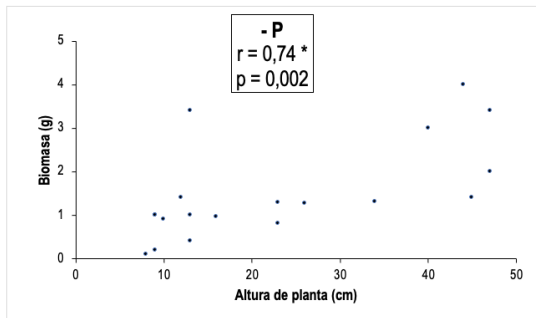
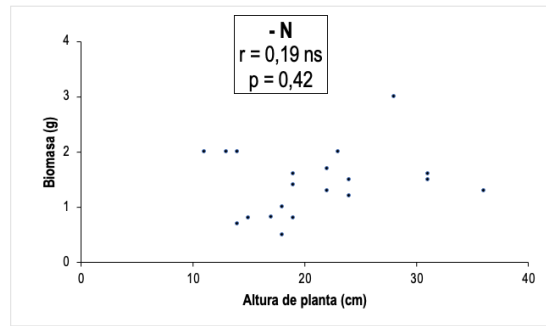
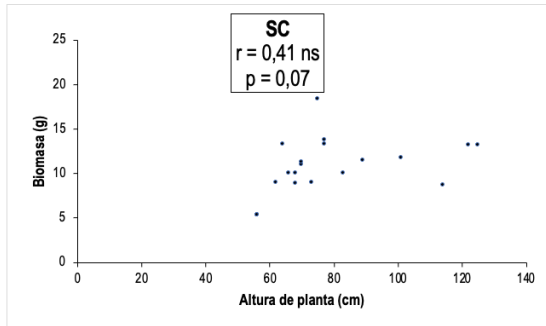
*ii. Correlación entre altura y biomasa seca de la planta indicadora.*

De las investigaciones realizadas, en la Figura 6, se observa la correlación entre altura y biomasa seca de la planta indicadora (*Solanum lycopersicum*, L). En la Tabla 15, se presenta las correlaciones con el nivel de significancia (p) al cual se rechaza la hipótesis nula de no existencia de correlación. A excepción de la solución completa, solución con ausencia de N y para el testigo, para las otras soluciones existe correlación significativa, con valores que oscilan de 0,68 a 0,79; es necesario destacar, para la solución sin Mg se obtiene una correlación baja (0,46).

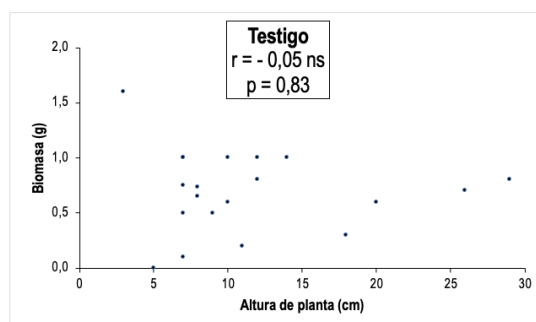
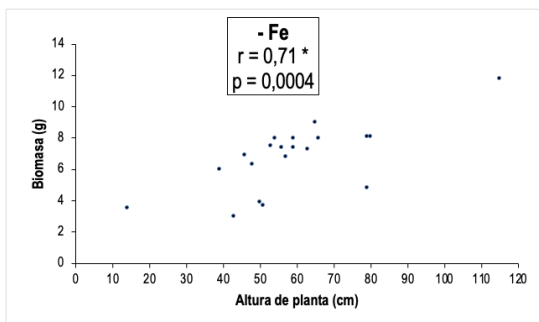
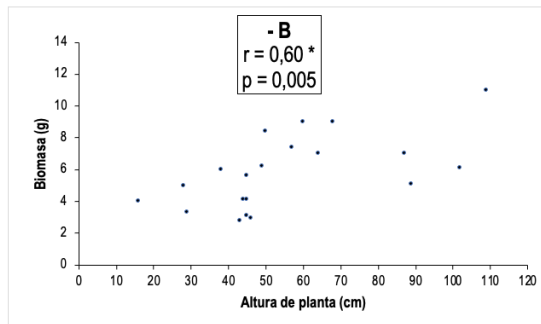
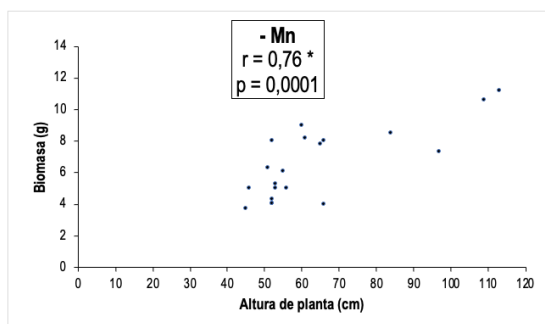
**Tabla 15.** Correlación entre altura y biomasa seca de la planta indicadora.

	<b>SC</b>	<b>-N</b>	<b>-P</b>	<b>-K</b>	<b>-Mg</b>	<b>-S</b>	<b>-Zn</b>	<b>-Cu</b>	<b>-Mn</b>	<b>-B</b>	<b>-Fe</b>	<b>Testigo</b>
<b>r =</b>	0,41	0,19	<b>0,74</b>	<b>0,68</b>	<b>0,46</b>	<b>0,68</b>	<b>0,72</b>	<b>0,74</b>	<b>0,76</b>	<b>0,60</b>	<b>0,71</b>	-0,05
<b>p =</b>	0,07	0,42	< 0,001	< 0,001	0,04	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,005	< 0,001	0,83
	ns	ns	*	*	*	*	*	*	*	*	*	ns
ns	No significativo para un nivel de significación ( $\alpha = 0,05$ )											
*	Significativo para un nivel de significación ( $\alpha = 0,05$ )											

**Figura 6.** Correlación entre altura y biomasa seca de la planta indicadora.







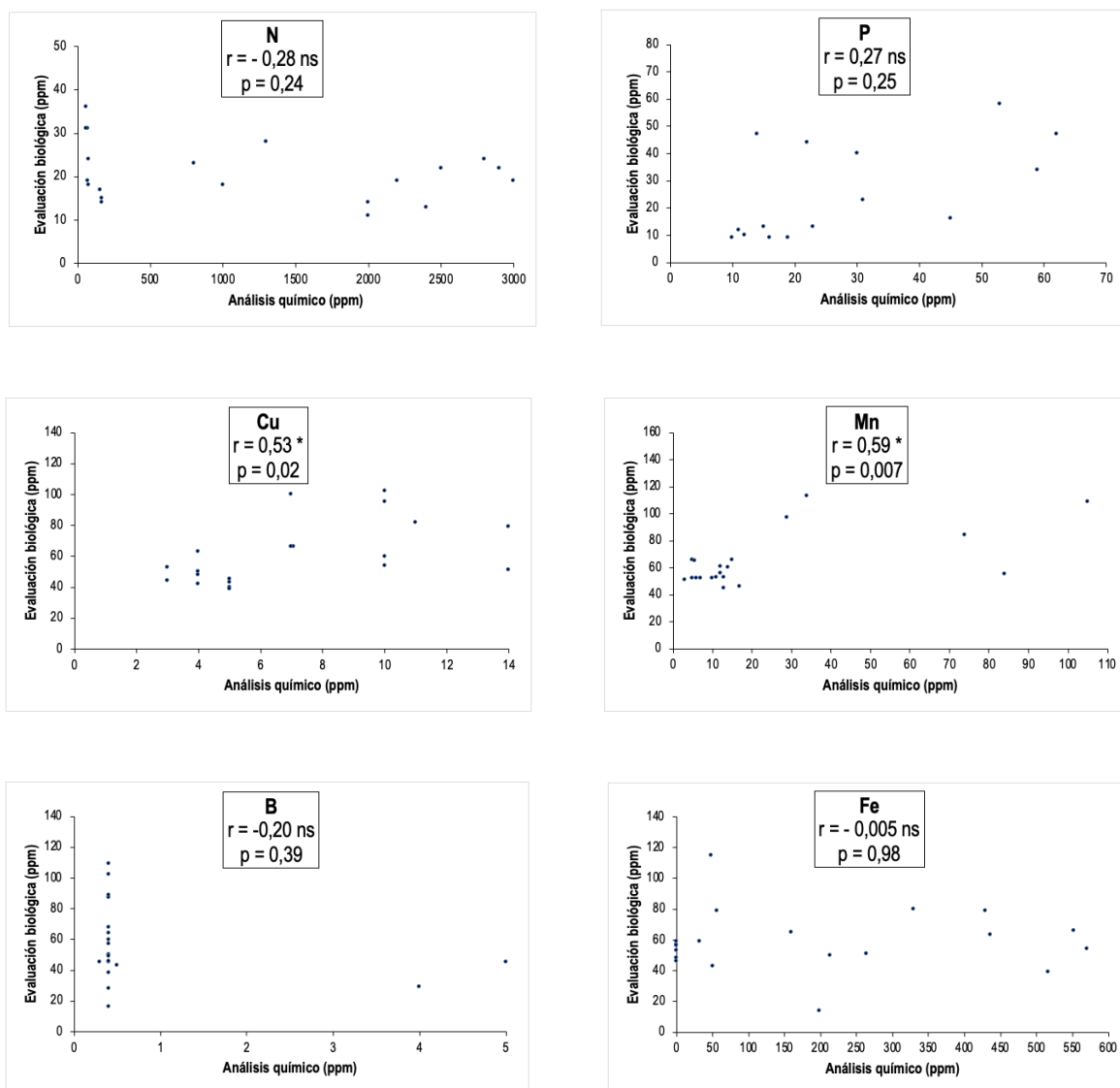
*iii. Correlación entre los resultados del análisis químico y la evaluación biológica.*

En la Figura 7, se observa la correlación entre los resultados del análisis químico y la evaluación biológica. En la Tabla 16, se presenta las correlaciones con el nivel de significancia (p) al cual se rechaza la hipótesis nula de no existencia de correlación; únicamente para el Cu y Mn existe correlación significativa de 0,53 y 0,59, respectivamente.

**Tabla 16.** Correlación entre los resultados del análisis químico y la evaluación biológica.

	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>B</b>	<b>Fe</b>
<b>r =</b>	-0,28	0,27	-0,03	-0,06	0,08	-0,17	<b>0,53</b>	<b>0,59</b>	-0,20	-0,005
<b>p =</b>	0,24	0,25	0,87	0,81	0,73	0,48	0,02	0,007	0,39	0,98
	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns
ns	No significativo para un nivel de significación ( $\alpha = 0,05$ )									
*	Significativo para un nivel de significación ( $\alpha = 0,05$ )									

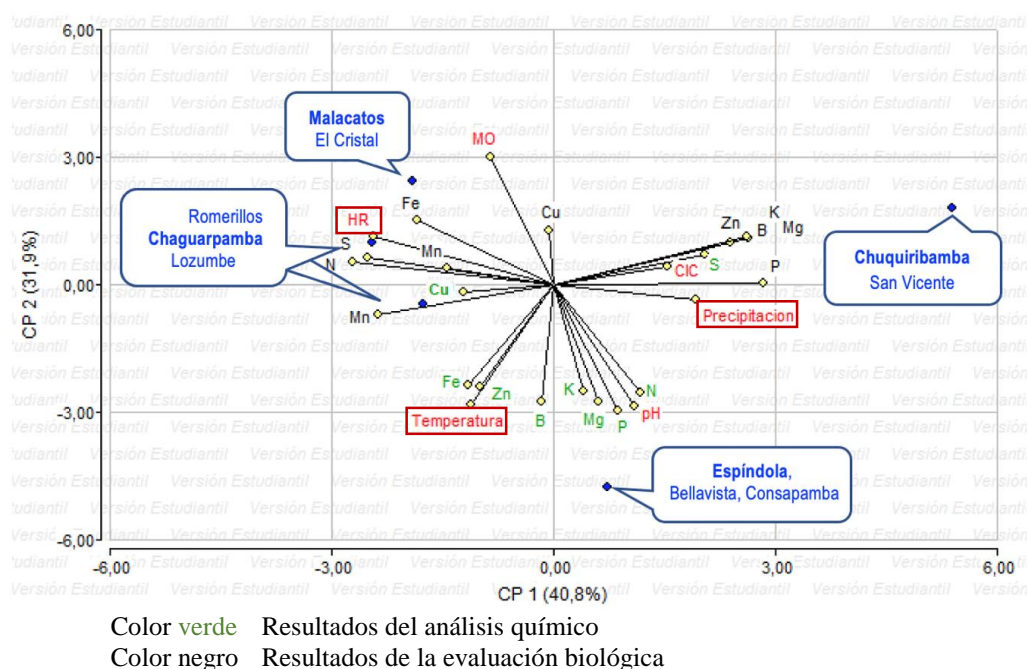
**Figura 7.** Correlación entre los resultados del análisis químico y la evaluación biológica.



***iv. Relación entre variables meteorológicas, características del suelo, resultados del análisis químico y evaluación biológica.***

No existe correlación entre los resultados del análisis químico del laboratorio con los resultados de la evaluación biológica (Figura 8); los valores de correlación entre un procedimiento y otros son bajos, a excepción de 0,74, que corresponde al cobre (Tabla 17).

**Figura 8.** Componentes principales y biplot para variables meteorológicas, características del suelo, resultados del análisis químico y la evaluación biológica.



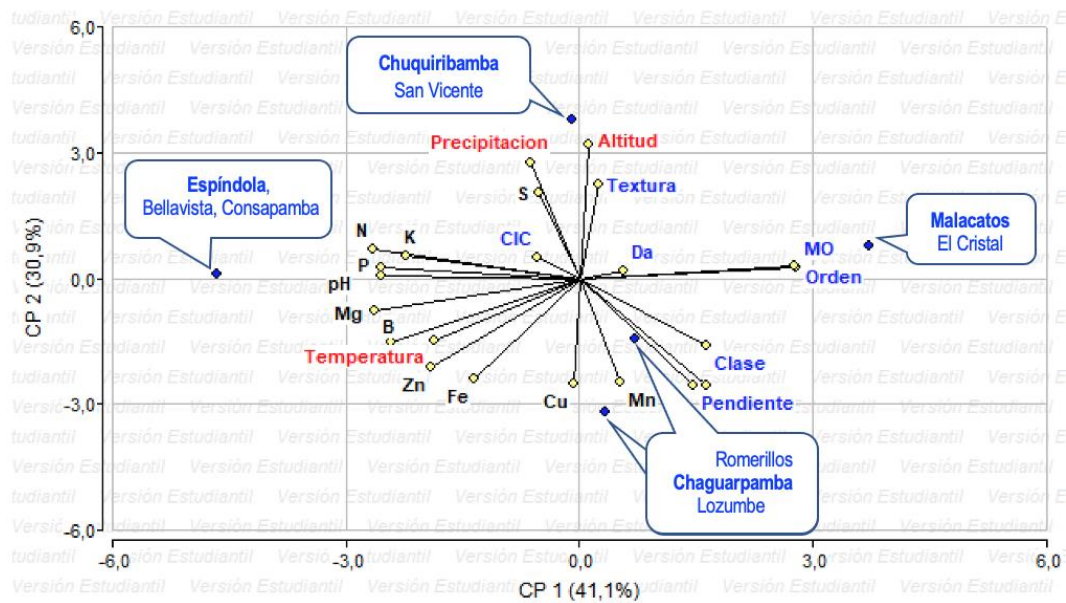
**Tabla 17.** Correlación entre los resultados del laboratorio de suelos y los resultados de la evaluación biológica.

Elemento	N	P	K	Mg	S	Zn	Cu	Mn	B	Fe
<b>Correlación</b>	-0,49	0,31	-0,17	-0,02	-0,36	-0,4	<b>0,74</b>	-0,01	-0,28	-0,35

**1.1.1. Relación entre variables meteorológicas, características del suelo y resultados de la evaluación biológica.**

Se observa que no existe una asociación entre las variables meteorológicas, las características del suelo y los resultados de la evaluación biológica (Figura 9).

**Figura 9.** Componentes principales y biplot para las características del suelo y los resultados de la evaluación biológica.



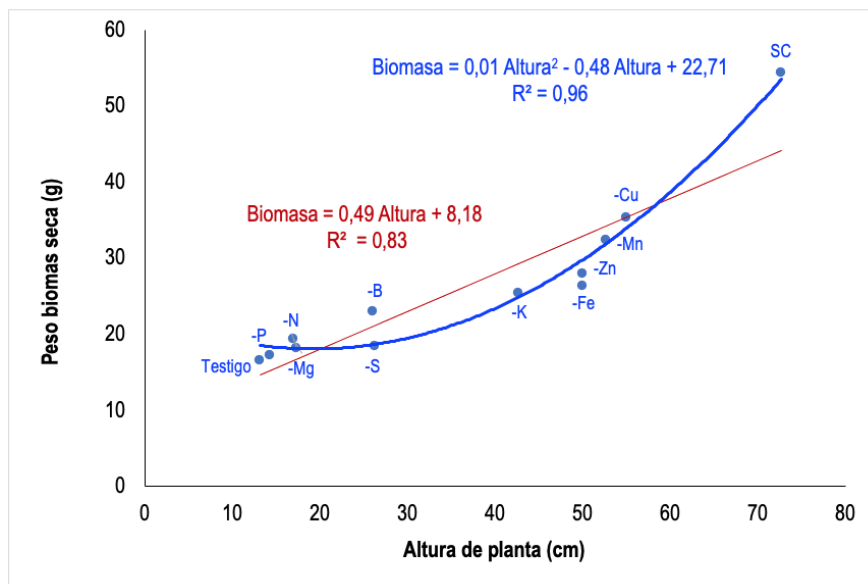
### c. Estudio de caso

Con los datos del experimento realizado en el sector El Cristal de la parroquia Malacatos en el 2022, se procedió a calcular las correlaciones siguientes:

#### *i. Modelo de regresión para biomasa en función de altura de la planta indicadora.*

En la Figura 10, se exponen el modelo de regresión lineal y polinómico de segundo grado del peso de la biomasa seca en función de la altura de la planta. Para el modelo lineal, el 83 % de la biomasa se explica por la altura de la planta indicadora, con un incremento de 0,49 g de biomasa seca por cada centímetro de altura de la planta. No obstante, el modelo polinómico explica el 96 % de la biomasa seca en función de la altura de planta indicadora.

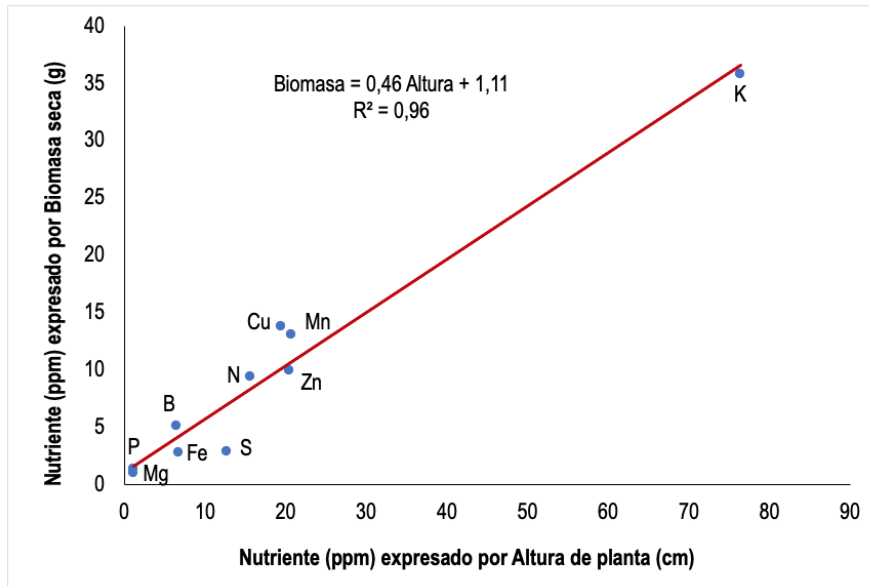
**Figura 10.** Regresión para biomasa en función de la altura de la planta indicadora.



*ii. Modelo de regresión para el contenido de nutriente expresado por biomasa seca en función de altura de la planta indicadora*

En la Figura 11, se exponen el modelo de regresión lineal del peso, para el contenido de nutriente expresado por biomasa seca en función de altura de la planta indicadora. Es evidente que el 96 % del contenido de nutriente (ppm) expresado por la biomasa seca se explica por el contenido de nutriente (ppm) expresado por la altura de la planta indicadora, con un incremento de 0,46 ppm de biomasa seca por cada ppm de altura de la planta, empezando con un valor de biomasa seca de 1,11 ppm.

**Figura 11.** Regresión para el contenido de nutriente expresado por biomasa seca en función de la altura de la planta indicadora.

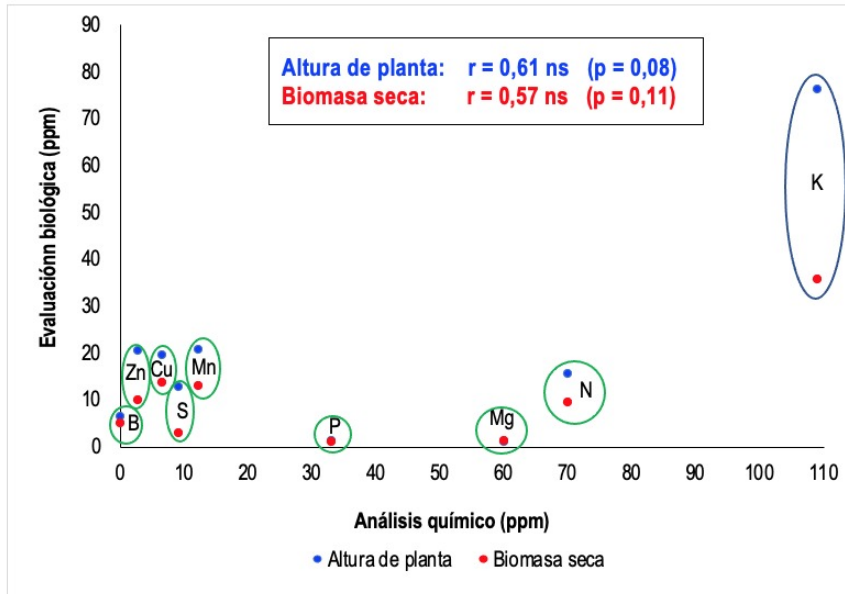


### 1.1.2. Correlación para el contenido de nutriente del análisis químico y el expresado por la altura de la planta y la biomasa seca

En la Figura 12, se observa la correlación entre los resultados del contenido de nutriente del análisis químico y el expresado por la altura de la planta y la biomasa seca; es evidente los valores bajos de correlación lineal; tanto para el valor expresado por la altura de la planta (0,57) y la biomasa seca (0,61), por lo que se declara no significativa para un error de tipo I de 0,05.

Se debe destacar, para una mejor interpretación en la Figura 11, no consta el valor del Fe, que presenta valores para el análisis químico de 966 ppm, para la evaluación biológica con altura de planta de 7 ppm y con biomasa 3 ppm.

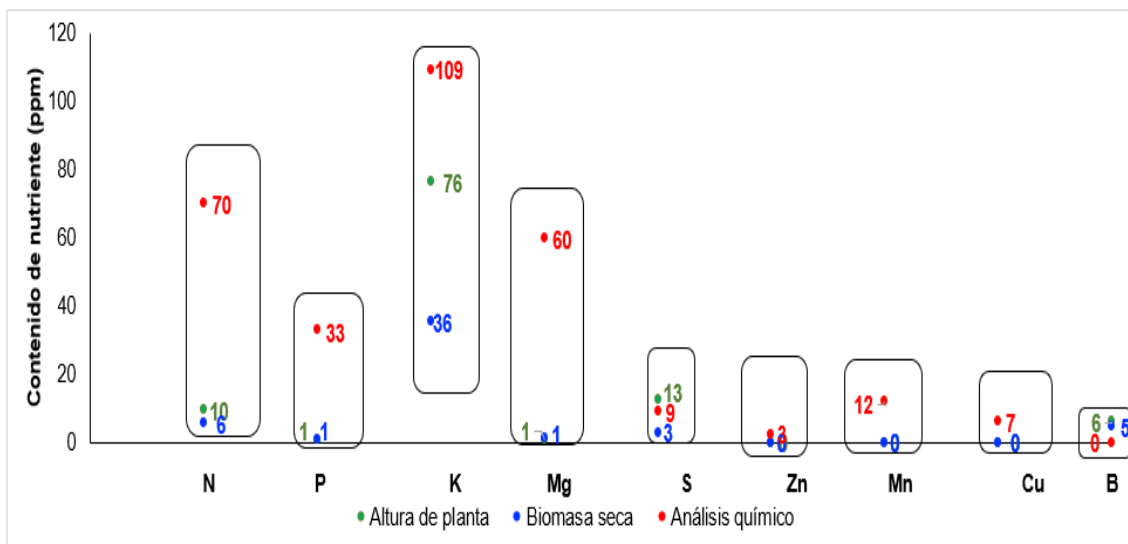
**Figura 12.** Correlación entre el contenido de nutriente del análisis químico y el expresado por la altura de la planta y la biomasa seca.



**1.1.3. Contenido de nutriente del análisis químico y el expresado por la altura de planta y biomasa seca**

El método de extracción de Olsen Modificado con respecto al método de la evaluación biológica reporta valores mayores para N, P, K y Mg; y, valores menores para S, Zn, Mn, Cu y B (Figura 13). Al comparar la evaluación biológica, por lo general, con altura de planta se extrae más nutriente que con lo calculado con la biomasa seca.

**Figura 13.** Contenido de nutriente del análisis químico y el expresado por la altura de la planta y la biomasa seca.



## 7. Discusión

### a. Sistematización de la información de los resultados de la evaluación biológica y el del análisis químico del suelo.

Con la información proveniente de las investigaciones sobre evaluación biológica, se construyó una base de datos, relacionada con aspectos generales, variables meteorológicas, características químicas, físicas y biológicas del suelo, resultados de los análisis químicos y evaluación biológica. En el periodo analizado (1988 a 2022), el mayor número de investigaciones se han realizado en la provincia de Loja.

### b. Relaciones entre las variables meteorológicas, características químicas, físicas y biológicas del suelo, resultados de los análisis químicos y evaluación biológica.

#### i. *Correlación entre altura y biomasa seca de la planta indicadora (tomate).*

En general, de forma natural debería existir correlación directa entre la altura y la biomasa seca de la planta y en particular de la planta indicadora utilizada en la evaluación biológica; no obstante, a excepción de la solución completa, solución con ausencia de N y el testigo (Figura 13), para las otras soluciones existe correlación significativa, con valores que oscilan de 0,68 a 0,79; es necesario destacar, para la solución sin Mg se obtiene una correlación baja (0,46).

El suelo está sometido a la influencia de factores genéticos y ambientales como el material parental, clima, macro y microorganismos y topografía (Jaramillo, 2002). En este sentido, la falta de correlación se ve afectada, entre otros aspectos, por el pH; al respecto FAO (2019) indica, en suelos ácidos la actividad de los organismos del suelo se inhibe, el pH ideal para los cultivos es de 6,5. La acidificación del suelo inhibe el crecimiento de las plantas, debido a una disminución en la disponibilidad de algunos nutrientes como Ca, Mg, K y P, que contribuye a la disolución de los elementos tóxicos en el suelo, perjudicando las plantas, estos elementos pueden ser tanto Al como Mn (Rivera *et al.*, 2018).

#### ii. *Correlación entre los resultados del análisis químico y la evaluación biológica.*

En la Figura 7, se observa la correlación entre los resultados del análisis químico y la evaluación biológica; únicamente para el Cu y Mn existe correlación significativa de 0,53 y 0,59, respectivamente.



La ausencia de correlación entre los resultados reportados por el laboratorio de análisis químico del suelo y los de la evaluación biológica se debe a que la fertilidad química, como refiere Ibáñez (2008), es la capacidad que tiene el suelo de proveer nutrientes esenciales a los cultivos, aquellos que de faltar determinan reducciones en el crecimiento y/o desarrollo del cultivo. En este sentido, se evalúa la disponibilidad de nutrientes en el suelo a través de análisis de suelos y/o plantas a través de un proceso de diagnóstico y posteriormente se definen estrategias de fertilización; para López, (2013), el propósito del análisis de suelos es determinar el estado de fertilidad e identificar los nutrimentos que podrían limitar el rendimiento de las plantas, ya sea por encontrarse en exceso o en deficiencia.

Según Tamargo (2017), el análisis de suelo es una técnica compleja que une diversos métodos analíticos con sus respectivas extracciones, básicamente remueve los nutrientes más importantes del suelo y mide su disponibilidad para la planta.

Varios son los procedimientos analíticos para determinar el grado de fertilidad del suelo, los cuales varían según las características, tales como mineralogía de arcillas, tipo de carga iónica, CIC, pH, entre otros. Muchos de esos procedimientos fueron diseñados para condiciones específicas del suelo; por esta razón, se debe establecer en cada región estudios de calibración y correlación de análisis de suelos con el fin de escoger el método más apropiado para las condiciones de suelos que predominen (E. Molina, 2007).

Para Sela (2021), algunos métodos de extracción son más adecuados para condiciones específicas del suelo; en este sentido, diferentes laboratorios pueden proporcionar resultados diferentes para la misma muestra de suelo.

Bertsch *et al.* (2005) señalan, las soluciones extractoras, para poder ser adoptadas como metodologías útiles, deben presentar; ante todo, una correlación satisfactoria con el rendimiento de las plantas, de modo que concentraciones bajas extraídas con la solución deben coincidir con rendimientos bajos y concentraciones altas con rendimientos altos.

Cabalceta y Molina (2006) concluyen, los ácidos diluidos se utilizan en suelos ácidos, mientras que las bases diluidas, como carbonatos y bicarbonatos, se utilizan principalmente en suelos alcalinos.

Ramos (2003) manifiesta, la correspondencia entre los valores de extracción de un elemento con los valores de absorción del mismo elemento determina el nivel de eficiencia de la solución extractora.

En Costa Rica se utiliza la solución Olsen Modificado para análisis de P, K, Fe, Cu, Zn, y Mn disponibles, y el KCl para acidez intercambiable, Ca y Mg (Díaz-Romeu y Hunter 1978). También se ha propuesto el uso de la solución Mehlich II para el análisis simultáneo de todos

los nutrientes (Cabalceta y Molina 2006), aunque todavía no hay convencimiento que pueda sustituir a Olsen. Los niveles críticos con estos procedimientos han sido establecidos en condiciones de invernadero para los suelos del país (Bertsch *et al.*, 2005).

El método Olsen Modificado es más adecuado para suelos calcáreos, particularmente aquellos con mayor a 2 % de carbonato de calcio; pero se ha demostrado, que es razonablemente efectivo para suelos alcalinos con pH de 8,5; el método se basa en el uso del  $\text{HCO}_3$  (Kovar, 2009).

Molina (2007) indica, la solución Olsen Modificado presenta varias desventajas, tiende a sobrestimar la disponibilidad de los micronutrientes, debido a que el extractante ataca la materia orgánica liberando parte del Fe y Mn que se encuentra adherido en ella; asimismo, Cabalceta y Molina (2006) manifiestan, debido a su viscosidad obstruye las mangueras de los equipos y se da una interferencia generada por el color amarillo proveniente de la materia orgánica.

Según Tineo (2014) citado por Quisuruco (2014) la evaluación biológica o técnica del elemento faltante y presente, es una metodología para desarrollar recomendaciones de fertilización que permite ajustar la aplicación de nutrientes que se acomoden a las necesidades específicas de cada región agroclimática y que hagan uso eficiente de los nutrientes aplicados.

El extractante para suelos de uso generalizado en la Costa y Sierra ecuatoriana es Olsen Modificado con el que se extrae previo a su cuantificación el contenido disponible de los macro elementos P, K, Ca y Mg y micro elementos Zn, Cu, Fe y Mn, lo cual ha dado como resultado que no sea atractivo comercialmente preparar materiales de referencia certificados debido a que esta solución funciona correctamente para suelos de pH neutro a alcalino (Aucatoma, 2017).

Pese a que la función más importante del **nitrógeno**, es la acción directa sobre el incremento de la masa seca porque favorece el desarrollo del tallo, follaje y contribuye en la formación de frutos y granos (Rodríguez y Flórez, 2004), no se evidenció correlación entre la altura de planta y la biomasa seca. Al respecto, Durán (2016) señala, el exceso de N es perjudicial, supone un crecimiento exagerado, con tejidos débiles que atraen las plagas y facilita la entrada de hongos, adicionalmente induce a una menor floración.

El **fósforo** se considera factor de precocidad, activa el desarrollo inicial del cultivo y favorece la maduración; la carencia provoca un retraso general en el crecimiento y un aumento de la vulnerabilidad de la planta a los posibles ataques de parásitos (García *et al.*, 2010) esto explica la falta de correlación.

El **potasio** es un macronutriente absorbido por las plantas en grandes cantidades, siendo superado sólo por el N y, a veces por el Ca. El K, es el nutriente que menores problemas de disponibilidad presenta; en general, la provisión de este elemento en los suelos es aceptable. (Sanzano, 2016), también se observa falta de correlación.

El **Magnesio** es absorbido por las plantas como un catión divalente ( $Mg^{2+}$ ), su absorción puede ser afectada por relaciones altas de Ca/Mg, en cuyo caso las plantas absorben menos Mg. La deficiencia puede acentuarse con dosis altas de K; tiene funciones importantes dentro de la planta, la deficiencia de Mg se caracteriza por una clorosis de las hojas bajas (Rodríguez y Flórez, 2004), no se evidenció correlación.

La deficiencia de **azufre** se manifiesta cuando toda la planta se torna amarilla; las hojas más altas toman un color amarillento aun siendo jóvenes y la madurez del cultivo se retrasa (FAO, 2002a), se reporta ausencia de correlación.

La escasez de **cobre** se observa primero en las hojas jóvenes, presentando deformación y clorosis; también puede dificultar la normal lignificación del tallo (Durán, 2016), existe una correlación de 0,53.

El **manganeso** se absorbe sobre todo como catión manganeso ( $Mn^{2+}$ ), aunque en el suelo también puede existir como  $Mn^{3+}$  o  $Mn^{4+}$ , óxidos insolubles y quelatos. El manganeso es soluble a pH ácidos y en suelos encharcados. Su solubilidad se reduce en suelos alcalinos o ácidos con alto contenido de materia orgánica. Es un elemento poco móvil en la planta y su deficiencia se manifiesta primero en las hojas jóvenes (Rodríguez y Flórez, 2004), se observó una correlación de 0,59.

El **zinc** es absorbido por la planta como catión divalente ( $Zn^{2+}$ ) o quelato vía radical o foliar. La deficiencia de zinc comienza en las hojas jóvenes, las cuales presentan un amarillamiento progresivo y disminución del tamaño de la hoja (Rodríguez y Flórez, 2004), no existe correlación.

El **Hierro**, suele ser muy abundante en los suelos, esto está acorde con lo encontrado en las investigaciones, pero su solubilidad depende, sobre todo, del pH; en medio ácido es muy soluble, por tanto, puede ser asimilado fácilmente por las plantas. En medio básico es muy poco soluble; en este caso las excreciones ácidas de las raíces favorecen la solubilidad del hierro y la absorción por las plantas (Cerisola, 2015). La deficiencia de Fe se caracteriza porque las plantas desarrollan clorosis intervenal pronunciada. Debido a que este elemento es poco móvil dentro de la planta, los síntomas de deficiencia aparecen en las hojas jóvenes (Rodríguez y Flórez, 2004) no se evidenció correlación.

El **boro** es un micronutriente esencial para plantas vasculares, diatomeas y algunas especies de algas verdes. El boro es absorbido por las plantas principalmente bajo la forma de ácido bórico  $H_3BO_3$  no disociado, fundamentalmente mediante los mecanismos de flujo de masas (65%) y difusión (32%). Aunque parece que en alguna extensión se absorbe de forma activa, como anión borato  $B(OH)_4^-$ . El boro es relativamente poco móvil en el interior de las plantas y los contenidos son superiores en las partes basales respecto a las partes más altas de las plantas, especialmente si el boro está en exceso (Alarcón, 2001) también se observa falta de correlación.

***iii. Relación entre variables meteorológicas, características químicas, físicas y biológicas del suelo, los resultados de los análisis químicos y la evaluación biológica.***

El sector El Cristal (Malacatos) se caracteriza por suelos con alto contenido de materia orgánica (Clase 1), en contraposición al suelo de Consapamba (Bellavista, Espíndola) caracterizados por valores altos de Ca y pH. El sector Romerillos (Chaguarpamba) con alta humedad relativa y suelos con alta pendientes contrasta con las características del sector San Vicente (Chuquiribamba) con valores altos de las variables climáticas de precipitación y altitud; en cuanto a las variables edáficas, valores altos de CIC. Lozumbe (Chaguarpamba) destaca por valores altos de temperatura y conductividad eléctrica (Figura 4).

La evaluación biológica es el método más certero, creíble y real que una solución extractora, porque es la planta la que está expresando las deficiencias, dado que en este caso los análisis de fertilidad de los suelos no son muy creíbles por que presenta valores inversos a los que la planta muestra; de acuerdo a los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas y al no existir correspondencia se debe cuestionar la solución extractora Olsen Modificado siendo que para los suelos de la provincia Loja o de la región sur no funciona. (C. Valarezo, comunicación personal, 09 de julio de 2022)

A la luz de los resultados, de manera general, es necesario aclarar, con la información completa de las 17 investigaciones, para las correlaciones entre las variables meteorológicas, características físicas y químicas del suelo, resultados de los análisis químicos y los resultados con la evaluación biológica; no se evidencia asociaciones entre las variables. No obstante, en el estudio de caso, considerando los resultados de la investigación realizada en el sector El Cristal (Malacatos), el modelo de regresión polinomial de segundo grado ( $R^2 = 0,96$ ) para el contenido de biomasa seca en función de la altura de planta.

## 8. Conclusiones

- Se construyó una base de datos, relacionada con aspectos generales de las zonas de estudio, variables meteorológicas, características físicas del suelo, resultados de los análisis químicos y evaluación biológica; la mayoría de los resultados tienen datos inconsistentes y con ausencia del tratamiento testigo.
- La evaluación biológica es el método más confiable que una solución extractora, dado que la planta expresa las deficiencias nutricionales.
- De acuerdo a los resultados obtenidos, al no existir correspondencia entre el análisis químico y la evaluación biológica, es cuestionable el uso de la solución extractora Olsen Modificado, debido que extrae solo ciertos elementos (P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn y B) siendo el N extraído por el método de Kjeldahl y puesto que para los suelos de la provincia Loja o de la región sur no funciona.
- En la investigación realizada en el sector El Cristal de la parroquia Malacatos, se evidenció una asociación funcional polinomial entre el contenido de biomasa seca en función de la altura de planta.

## 9. Recomendaciones

- En futuras investigaciones para determinar la fertilidad del suelo con el método de la evaluación biológica, se debe utilizar otras soluciones extractoras en función de las características físicas del suelo tomando en cuenta que cada solución extractora ha sido planteada para un tipo de suelo determinado.
- Analizar otros posibles parámetros como la variedad de la planta de tomate o planta indicadora, el consumo diario de la solución nutritiva y el tiempo que transcurre desde que se toma la muestra de suelo hasta la ejecución del experimento ya que esto puede alterar la concentración de los nutrimentos en los suelos y afectar el rendimiento de la planta.
- Calcular los requerimientos nutricionales de la planta indicadora para las condiciones climáticas, edafológicas y ambientales del suelo en el que se plantará el cultivo.
- En suelos ácidos no utilizar la solución de Olsen Modificado debido a que este método es apropiado específicamente para la extracción del elemento P y funciona con mayor precisión en suelos de origen calcáreos con pH neutro a alcalino.
- Realizar investigaciones para suelos representativos de la región sur del Ecuador, con el procedimiento del análisis químico y el método del elemento faltante, luego realizar las recomendaciones de fertilización, para finalmente comparar los resultados.



- Boschetti, G., Quintero, C., Diaz, M., & Barraco, M. (2003). *Determinación del fósforo disponible en el suelo por el método de Bray*. [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/944882894AB02039852579990061D95D/\\$FILE/Boschetti%20-%20Determinacion-P.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/944882894AB02039852579990061D95D/$FILE/Boschetti%20-%20Determinacion-P.pdf)
- Burbano, H. (2010). *EL SUELO AL SERVICIO DE LA SOCIEDAD Y SU ROL EN EL CONTEXTO DE LOS CAMBIOS GLOBALES*. XI(2), 53-62.
- Burneo, P. (2012). *Evaluación biológica de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre andesita tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes en el sur de la Amazonía Ecuatoriana*.
- Cabalceta, G., & Cordero, A. (1994). *NIVELES CRITICOS DE FOSFORO EN ULTISOLES, INCEPTISOLES, VERTISOLES Y ANDISOLES DE COSTA RICA 1/\**. [https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:0pciJ1W3PF0J:https://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v18n02\\_147.pdf&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:0pciJ1W3PF0J:https://www.mag.go.cr/rev_agr/v18n02_147.pdf&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec)
- Cabalceta, G., & Molina, E. (2006). *NIVELES CRÍTICOS DE NUTRIMENTOS EN SUELOS DE COSTA RICA UTILIZANDO LA SOLUCIÓN EXTRACTORA MEHLICH 3*. [https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:kji\\_lpc0gD4J:https://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v30n02\\_031.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:kji_lpc0gD4J:https://www.mag.go.cr/rev_agr/v30n02_031.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec)
- Carrero, A. (2015). *Redalyc. Comparación de dos métodos de extracción de fósforo disponible en un suelo ácido*. <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:6qRd-iUmo-4J:https://www.redalyc.org/pdf/933/93343104006.pdf&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Castaño, C., & Morales, C. (2008). *EVALUACIÓN DE LAS DEFICIENCIAS NUTRICIONALES EN EL CULTIVO DE LA MORA (Rubus glaucus) EN CONDICIONES CONTROLADAS PARA BOSQUE MONTANO BAJO - PDF Free Download*. <https://docplayer.es/21855256-Evaluacion-de-las-deficiencias-nutricionales-en-el-cultivo-de-la-mora-rubus-glaucus-en-condiciones-controladas-para-bosque-montano-bajo.html>
- Castillo, F., & Salinas, L. (2014). *Repositorio Digital—Universidad Nacional de Loja: Correspondencia entre la evaluación química y biológica de la fertilidad actual de suelos de origen volcánico en dos unidades productivas de las provincias de Los Ríos y Esmeraldas*. <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:bp033wl2n68J:https://dspac.e.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/12501&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Castro, Juana. (2013). *MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA LA PREPARACIÓN DE SOLUCIONES EN LOS LABORATORIOS DE CARACTERIZACIÓN Y CALIDAD DEL AGUA Y OPERACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS*. <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/26030/1/PREPARACION%20DE%20SOLUCIONES%20%28bueno%29.pdf>
- Cerisola, C. (2015). *FERTILIDAD QUÍMICA*. [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/75204/mod\\_resource/content/1/UD%20D8.1%20Fertilidad%20Qu%C3%ADmica%20.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/75204/mod_resource/content/1/UD%20D8.1%20Fertilidad%20Qu%C3%ADmica%20.pdf)
- Chan, I. (2023). Facultad de Ciencias Agropecuarias apoya a productores en el análisis de suelo para mejores resultados en la preparación de la tierra. *Revista Hacia la Luz*.



- <https://uphacialaluz.com/2023/05/08/facultad-de-ciencias-agropecuarias-apoya-a-productores-en-el-analisis-de-suelo-para-mejores-resultados-en-la-preparacion-de-la-tierra/>
- Chávez, F. (2011). *Determinación multielemental de macro y micronutrientes catiónicos en suelos por espectropía de emisión por acoplamiento de plasma inductivo y detección óptica de ICP-OES*.  
<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:QXfXprzlh-YJ:repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/4757&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Closas, A., Arriola, E., Zening, C., Amarilla, M., & Jovanovich, E. (2013). Análisis multivariante, conceptos y aplicaciones en Psicología Educativa y Psicometría. *Enfoques*, 25(1), Article 1.
- Closas, A. H., Arriola, E. A., Kuc Zening, C. I., Amarilla, M. R., & Jovanovich, E. C. (2013). Análisis multivariante, conceptos y aplicaciones en Psicología Educativa y Psicometría. *Enfoques*, 25(1), 65-92.
- Cueva, A. (2019). *Repositorio Digital: Determinación físico—Química de un suelo en dos sistemas de labranza y tres niveles de fertilización en maíz Zea mays L*.  
<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:G1-n4gBQ68YJ:www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19229+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Curiñaupa, E. (2017). *Uso de la técnica del elemento faltante en la evaluación del estado nutricional de suelos agrícolas de Kimbiri, Cusco. 2015*.
- Díaz, R., & Hunter, A. (1978). *Metodologías de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigaciones en invernadero*.  
<https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/3115>
- Díaz-Romeu, R., & Hunter, A. (1978). *Metodologías de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigaciones en invernadero*.  
<https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/3115>
- Durán, J. (2016, octubre 17). *Los 13 nutrientes imprescindibles para la salud de tus plantas*. Jose el jardinero. <https://www.joseeljardinero.com/nutrientes-imprescindibles-plantas/>
- FAO. (2002a). *Los fertilizantes y su uso: Una guía de bolsillo para los oficiales de extensión*. FAO. <https://www.fao.org/documents/card/es/c/b0f8bfc5-4c95-54b0-80cd-96b810006037/>
- FAO. (2002b). *Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas*.  
<https://www.fao.org/3/w1309s/w1309s04.htm>
- FAO. (2016). *Propiedades Físicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- FAO. (2019). *Propiedades Químicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>
- Favela, E., Preciado, P., & Benavides, A. (2006). *MANUAL PARA LA PREPARACIÓN DE SOLUCIONES NUTRITIVAS - PDF Free Download*. <https://docplayer.es/5493410-Manual-para-la-preparacion-de-soluciones-nutritivas.html>

- Fertilab. (2019). *Julio-2019 Nota técnica Fertilab 19- 025*.  
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:h95gxqZfs00J:https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/NTF-19-025-La-salinidad-del-suelo-y-su-fertilidad.pdf+&cd=30&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Figueras, S. (2018). *Estadística: «Introducción al Análisis Multivariante»*, por Manuel Salvador Figueras, profesor de la Universidad de Zaragoza.  
<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Ypn5i1f4bCsJ:www.ciberconta.unizar.es/leccion/anamul/inicio.html+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Galvis, A. (2017). *Repositorio Digital: Evaluación de deficiencias nutricionales en quinua Hidropónica (chenopodium quinoa willd.), mediante la Técnica del elemento faltante bajo invernadero*.  
<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ejQdl4AwUAoJ:www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/11806&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- García, P., Lucena, J., Ruano, S., & Nogales, M. (2010). *GUÍA PRÁCTICA DE LA FERTILIZACIÓN RACIONAL DE LOS CULTIVOS EN ESPAÑA*.  
[https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/publicaciones/01\\_FERTILIZACION%20RACIONAL%20DE%20LOS%20CULTIVOS%20EN%20ESPAÑA\\_tcm30-57890.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/publicaciones/01_FERTILIZACION%20RACIONAL%20DE%20LOS%20CULTIVOS%20EN%20ESPAÑA_tcm30-57890.pdf)
- Guayllas, J. (1988). *Estado nutricional de los suelos de Cañicapac y Ñamarin, mediante un método biológico*. Loja.
- Guerra, C. R., & Lozano, S. (2014). *El suelo de cultivo y las condiciones climáticas*. Editorial Elearning, S.L.  
[https://books.google.com.ec/books?id=bFpWDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=bFpWDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Gutiérrez, A. (2016). *Caracterización de la fertilidad de los suelos con fines agrícolas del distrito de Huata provincia de Huaylas departamento de Ancash*.  
<https://1library.co/document/q5emgj7q-caracterizacion-fertilidad-agricolas-distrito-provincia-huaylas-departamento-ancash.html>
- Ibañez, J. (2008). *¿Qué es la Fertilidad del Suelo?: Fertilidad Física, Química y Biológica—Un Universo invisible bajo nuestros pies*.  
<https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/01/29/83481>
- Infoagro. (2017, marzo 29). El calcio en el suelo. *Revista InfoAgro México*.  
<https://mexico.infoagro.com/el-calcio-en-el-suelo/>
- Infostat—Software estadístico. (2020). <https://www.infostat.com.ar/>
- INTAGRI. (2015). *La Capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo | Intagri S.C.*  
<https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>
- INTAGRI. (2017a). *Los Factores de Formación del Suelo | Intagri S.C.*  
<https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/los-factores-de-formacion-del-suelo>
- INTAGRI. (2017b). *Propiedades Físicas del Suelo y el Crecimiento de las Plantas | Intagri S.C.* <https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas>

- Jaramillo J., D. F. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias.  
<https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/147701>
- Jaramillo, R. (2018). LA RED NACIONAL DE LABORATORIOS DE SUELOS BUSCA REFORZAR EL SERVICIO DE CALIDAD PARA LOS PRODUCTORES ECUATORIANOS: *ECUADOR ES CALIDAD*, 5(1), Article 1.  
<https://revistaecuadorestcalidad.agrocalidad.gob.ec/revistaecuadorestcalidad/index.php/revista/article/view/56>
- Juárez Hernández, M. D. J., Baca Castillo, G. A., Lorenzo, A., Navarro, A., Sánchez García, P., Tirado Torres, J. L., Sahagún Castellanos, J., & Colinas De León, M. T. (2006). Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal. *Interciencia*, 31(4), 246-253.
- Kovar, J. (2009). *Métodos de Análisis de Fósforo para Suelos, Sedimentos, Residuos y Aguas Segunda edición*.  
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:qVF9gIG4wRMJ:https://sera17dotorg.files.wordpress.com/2015/02/sera-17-methods-for-p-2009.pdf+&cd=2&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Loaiza, G. (2013). *Repositorio Digital—Universidad Nacional de Loja: Evaluación biológica de la fertilidad del suelo desarrollado sobre granodiorita, tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes en el sur de la Amazonia Ecuatoriana*.  
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:wYmKrE8iuX8J:https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/11367&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- López, E. P. (2013). Análisis de fertilidad de suelos en el laboratorio de Química del Recinto de Grecia, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*, XIV(29), 6-18.
- Mariano, P. (2011). *Análisis Factorial Santiago de la Fuente Fernández*.  
[https://www.academia.edu/44141582/An%C3%A1lisis\\_Factorial\\_Santiago\\_de\\_la\\_Fuente\\_Fern%C3%A1ndez](https://www.academia.edu/44141582/An%C3%A1lisis_Factorial_Santiago_de_la_Fuente_Fern%C3%A1ndez)
- Martínez, G., & Segovia, F. (2012). *ETSIAMN. Universitat Politècnica de València*.  
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16338/Determinaci%C3%B3n%20de%20proteinas.pdf>
- Martínez, J., & Gallardo, R. (2017). *Manejando la fertilidad del suelo*.  
<https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/66838>
- Medrano, S. (2022). *Técnica del elemento faltante en plantas de Espárrago (Asparagus officinalis L.) de un año de edad, bajo condiciones de invernadero*.  
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:X5nP1PeUTi8J:https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5447&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Mehlich, A. (1978). New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 9(6), 477-492. <https://doi.org/10.1080/00103627809366824>
- Mehlich, A. (1984). Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15(12), 1409-1416.  
<https://doi.org/10.1080/00103628409367568>

- Mendoza, O. (2013). *Repositorio Digital—Universidad Nacional de Loja: Evaluación biológica de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre arenisca cuarzosa, tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes en San Francisco—El Pangui*.  
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:urvFGumjGj0J:https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/11382&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Meneses, J. (2019). *Introducción al análisis multivariante*.  
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:sMMV0q6McNcJ:https://femrecerca.cat/meneses/publication/introduccion-analisis-multivariante/introduccion-analisis-multivariante.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Mojica, A. (2012, febrero 26). BIOTECNOLOGÍA: 2.1.5 Preparación y manejo de soluciones Stock. *BIOTECNOLOGÍA*. <http://webcache.googleusercontent.com/search>
- Molina, E. (2007). *Análisis de suelos*.  
<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:mxtq1F6fzmIJ:www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Suelos/SUELOS-AMINOGROWanalisisinterpretacion.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Molina, J. (2012). Métodos de laboratorio para la extracción de fósforo disponible en el suelo. *Monografias.com*. <https://www.monografias.com/trabajos91/metodos-laboratorio-extraccion-fosforo-disponible-suelo/metodos-laboratorio-extraccion-fosforo-disponible-suelo>
- Morales, F. C. (2021, abril 18). *Origen de la agricultura*. Economipedia.  
<https://economipedia.com/definiciones/origen-de-la-agricultura.html>
- Padilla, W. (2009). *GCA - Métodos Químicos*.  
<https://www.grupoclinicagricola.com/metodos-quimicos.html>
- Perez, M., Dannel Guerra, L., Storniolo, R., Vanzolini, J., & Kloster, N. (2019). Comparación de métodos para determinación de fósforo extraíble en suelos de la región semiárida pampeana. *Ciencia del suelo*, 37(1), 11-20.
- Quisurco Gutiérrez, E. G. (2014). Aplicación de la técnica del elemento faltante y presente en la cuantificación de la dosis óptima de N,P,K en cebolla (*Allium cepa* L. var. Roja Arequipeña) en Canaán 2750 msnm, Ayacucho. *Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga*. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/2075>
- Quizhpe, M. (2013). *Repositorio Digital—Universidad Nacional de Loja: Evaluación biológica de la fertilidad del suelo de la quinta experimental punzara utilizando dos especies de pastos ray grass (*lolium perenne*) y trebol blanco (*trifolium repens*)*.  
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:1vafZphUH-0J:https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/5457&cd=2&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Ramos, N. (2003a). *EVALUACIÓN DEL FÓSFORO EXTRAÍDO CON DOS SOLUCIONES EXTRACTORAS EN 19 SUELOS DEL ALTIPLANO OCCIDENTAL DE GUATEMALA*. [UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE AGRONOMIA INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS]. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_2124.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2124.pdf)
- Ramos, N. (2003b). *UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA*.  
[http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:nI8iTFLhDJkJ:biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_2124.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:nI8iTFLhDJkJ:biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2124.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec)

- Restrepo, L., Posada, S., & Noguera, R. (2012). Aplicación del análisis por componentes principales en la evaluación de tres variedades de pasto. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 25(2), Article 2. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.324753>
- Rivera, E., Sánchez, M., & Hercilia, D. (2018). *pH como factor de crecimiento en plantas pH as a growth factor in plants*.  
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:MRWF1dlcCVYJ:https://core.ac.uk/download/pdf/234019718.pdf+&cd=16&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Rodríguez, M., & Flores, V. (2004). *ELEMENTOS ESENCIALES Y BENEFICIOSOS*.  
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:6hhPk5C0Zt4J:https://core.ac.uk/download/pdf/143458034.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Rogel, S. (2021). *Repositorio Digital—Universidad Nacional de Loja: Evaluación biológica de fertilidad del suelo en el sector Cucanamá Alto perteneciente a la parroquia Vilcabamba*.  
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:f8s8c7BYDggJ:https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/24489&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Salazar, A. M. (2016). *Implementación del Método Kjeldahl para la determinación de proteína para diferentes matrices en el Laboratorio ECUACHEMLAB Cía. Ltda.* [bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería Bioquímica].  
<https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/23816>
- Salazar, L. (2015). *CALIBRACIÓN DE DOS MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO DE LA FERTILIDAD DE SUELOS CULTIVADOS CON YUCA (Manihot esculenta Crantz) EN EL TR*. [https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:aE-mWQV7IDQJ:https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6465/calibracion\\_dos\\_metodos\\_diagnostico\\_fertilidad\\_suelos\\_cultivados\\_yuca.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy+&cd=2&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:aE-mWQV7IDQJ:https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6465/calibracion_dos_metodos_diagnostico_fertilidad_suelos_cultivados_yuca.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy+&cd=2&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec)
- Sánchez, C. (2009). *Tema 5. Análisis de componentes principales*.  
[http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:PLeyEGmbigkJ:eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP/MATERIALESMATER/Mat\\_14\\_master0809multi-tema5.pdf&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:PLeyEGmbigkJ:eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP/MATERIALESMATER/Mat_14_master0809multi-tema5.pdf&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec)
- Sanzano, A. (2016). *El Potasio del suelo Xi\_Edafologia.qxd*.  
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:kuCV9ma9r9AJ:https://s9a0d11af78cd478d.jimcontent.com/download/version/1494945225/module/7956241476/name/EI%2520Potasio%2520del%2520suelo.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Sela, G. (2019, febrero 11). *Los nutrientes esenciales de las plantas | Cropaia*.  
<https://cropaia.com/es/blog/nutrientes-de-plantas/>
- Sela, G. (2021). *El análisis de suelo | Cropaia*.  
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Ivs1Sh5ZqEoJ:https://cropaia.com/es/blog/el-analisis-de-suelo/+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Smyth, J. T., Alvarado, A., Iturriaga, I., Portuguez, E., & Ureña, J. M. (2009). Efecto Residual Del Fertilizante Fosfatado Adicionado Al Cultivo De La Papa En Un Andisol De Juan Viñas, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 33(1), 63-76.

- Taborda, A., & González, N. (2015). *Análisis de componentes principales Sparse: Formulación, algoritmos e implicaciones en el análisis de datos*.  
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1448.1360>
- Tamargo, A. (2017). *La importancia del análisis de suelos agrícolas—AGQ Labs Colombia*.  
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:PO0z-PxXieYJ:https://agqlabs.co/2017/02/03/la-importancia-del-analisis-suelos-agricolas/+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Tandazo, K. (2019). *Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café de los sectores Chaguarpamba y Lozumbe* [bachelorThesis, Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/22567>
- Torriente, D., & Torres, V. (2010). EL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES EN LA INTERPRETACIÓN DE SISTEMAS AGROECOLÓGICOS PARA EL MANEJO DE RIZOBACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL PARA EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR. *Idesia (arica)*, 28.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-34292010000100004>
- Universidad nacional del Litoral. (2018). *Físico-química biológica*.  
[http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:tALBNsswkzcJ:www.unl.edu.ar/ingreso/cursos/medicina/wp-content/uploads/sites/8/2017/10/Quimica\\_05.pdf&cd=11&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:tALBNsswkzcJ:www.unl.edu.ar/ingreso/cursos/medicina/wp-content/uploads/sites/8/2017/10/Quimica_05.pdf&cd=11&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec)
- Vargas, M., Bertsch, F., & Cordero, A. (1992). *COMPARACION DE METODOS DE EXTRACCION DE FOSFORO, POTASIO, CALCIO Y MAGNESIO DISPONIBLE EN VERTISOLES DE GUANACASTE, COSTA RICA*.  
[https://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v16n01\\_115.pdf](https://www.mag.go.cr/rev_agr/v16n01_115.pdf)
- Videgaín, M. (2018). *FERTILIDAD Y FERTILIZACIÓN BIOLÓGICA*.  
[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:vzDX3wh3s4cJ:https://www.coiaanpv.org/recursos/files/web/documentacion/articulos\\_de\\_colegiados/prensa\\_escrita/2018/fertilidad\\_y\\_fertilizacion\\_biologica\\_maria\\_videgain.pdf+&cd=7&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:vzDX3wh3s4cJ:https://www.coiaanpv.org/recursos/files/web/documentacion/articulos_de_colegiados/prensa_escrita/2018/fertilidad_y_fertilizacion_biologica_maria_videgain.pdf+&cd=7&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec)
- Wang, J., Harrell, D., Henderson, R., & Bell, P. (2004). Comparison of Soil-Test Extractants for Phosphorus, Potassium, Calcium, Magnesium, Sodium, Zinc, Copper, Manganese, and Iron in Louisiana Soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis - COMMUN SOIL SCI PLANT ANAL*, 35, 145-160. <https://doi.org/10.1081/CSS-120027640>
- Zambrano, P. (2019). *Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café de los sectores Consapamba y Pueblo Nuevo de los cantones Espindola y Loja*. [bachelorThesis, Loja].  
<https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/22576>
- Zhunaula, W. (2016). *Repositorio Digital—Universidad Nacional de Loja: Evaluación química y biológica de la fertilidad actual de un suelo, desarrollado sobre andesita en el sistema de riego la Era, cantón Catamayo*.  
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:tU1a-vDQJcAJ:https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/10313+&cd=2&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>

## 11. Anexos

**Anexo 1.** Evaluación biológica utilizando tomate (*Solanum lycopersicum*, L) como planta indicadora.



FUENTE: La autora

**Anexo 2.** Limpieza de las plantas para ser llevadas a la estufa.



FUENTE: La autora

**Anexo 3.** Equivalente químico de las sales.

Fertilizante	Peso Molecular g	eq	Solubilidad g/L	Fertilizante	Peso Molecular g	eq	Solubilidad g/L
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> . 4H <sub>2</sub> O	236,15	118,08	1020	NH <sub>4</sub> Cl	53,50	53,5	--
KNO <sub>3</sub>	101,11	101,11	133	KCl	74,56	74,5	255
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	115,03	115,03	282	CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	147,02	147,02	75
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	246,48	123,24	260	MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	203,30	101,65	--
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	80,04	80,04	183	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	142,05	142,05	--
Mg (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	256,41	128,21	423	NaCl	58,45	58,45	--
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136,09	136,09	269	Fe-EDTA	430	430	90
Mg(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .3H <sub>2</sub> O	272,33	136,00	--	MnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	169	84,5	39
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	132,15	132,15	760	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	62	31	5,7
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	174,27	174,27	110	ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	287	143,5	86
NaNO <sub>3</sub>	85,00	85,00	--	CuSO <sub>4</sub> . 5H <sub>2</sub> O	250	125	32
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	119,90	119,9	--	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> 4H <sub>2</sub> O	1236	1236	63,5



**Anexo 4.** Concentración de los fertilizantes para preparar las soluciones nutritivas.

Concentración de los fertilizantes (%)																		
Fertilizante/Nutriente	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	S	MgO	Ca	P	K	Mg	Zn	B	Fe	Mn	Mo	Cu	CL	Na
Azufre micro ionizado					90													
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>												18						
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>		52	34					22,36	28,22									
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> . 4H <sub>2</sub> O	7														54			
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> . 4H <sub>2</sub> O	15,5			26			19											
KNO <sub>3</sub>	13,5		46						38,18									
Fe-EDTA													13					
CuSO <sub>4</sub> . 5H <sub>2</sub> O					12											25		
MgSO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O					13	16				9,6								
ZnSO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O					13						23							
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	21				24									25				
MnSO <sub>4</sub> . H <sub>2</sub> O					18													
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			50		18				41,5									
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>		60						26,2										
Mg (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	11									9								
CaCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O							19										29	
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>					18				45									
NaCl																	60	40
MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O														28			36	
MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O										12							35	
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>								26										20

## Anexo 5. Certificación de Abstract.

Lic. Denise Estefanía Robalino S.  
0968190698  
[denise.robalino@educación.gob.ec](mailto:denise.robalino@educación.gob.ec)  
Loja - Ecuador

Loja, 29 de septiembre del 2023

La suscrita, Lic. Denise Estefanía Robalino Sánchez, **DOCENTE EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN MENCIÓN IDIOMA INGLÉS**, a petición de la parte interesada y en forma legal,

### **CERTIFICA:**

Que, la traducción del trabajo de titulación, **“Interpretación de los análisis de la fertilidad del suelo con la solución extractora de Olsen modificado y el método del elemento faltante”**, de autoría de la señorita **Iliana Josefina Vera Sánchez**, con cédula de ciudadanía No. **1150354072**, ha sido realizado y aprobado por mi persona, LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN MENCIÓN IDIOMA INGLÉS, con número de registro del título en la Senescyt 1008 – 2018 – 1987009. El apartado del Abstract es una traducción textual del Resumen aprobado en español.

Particular que comunico en honor a la verdad para los fines académicos pertinentes, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.



Lic. Denise E. Robalino Sánchez  
**ENGLISH TEACHER**

LIC. DENISE E. ROBALINO S.  
DOCENTE DE  
IDIOMA INGLÉS  
REGISTRO SENESCYT: 1008-2018-1987009