



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS**  
**NATURALES**

**CARRERA DE AGRONOMÍA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA TEMPORAL DE LOS NUTRIENTES EN LA  
TERRAZA DE BANCO N. 3 DEL CAMPUS SALACHE 2026”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniera  
Agrónoma

**Autora:**

Guaita Caiza Glenda Thalia

**Tutor:**

Chancusig Francisco Hernán

**LATACUNGA-ECUADOR**

**MARZO 2026**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Guaita Caiza Glenda Thalia, con cédula de ciudadanía No. 0504624313, declaro ser autora del presente Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA TEMPORAL DE LOS NUTRIENTES EN LA TERRAZA DE BANCO N. 3 DEL CAMPUS SALACHE 2026”**, siendo el Ingeniero Mg. Francisco Hernán Chancusig, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 23 de febrero del 2026

Glenda Thalia Guaita Caiza  
C.C: 0504624313  
**ESTUDIANTE**

## **CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR**

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **GUAITA CAIZA GLENDA THALIA**, identificada con cédula de ciudadanía **0504624313** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Agronomía, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA TEMPORAL DE LOS NUTRIENTES EN LA TERRAZA DE BANCO N. 3 DEL CAMPUS SALACHE 2026”** la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

### **Historial Académico**

Inicio de la carrera: Mayo 2020 - Septiembre 2020

Finalización de la carrera: Octubre 2025 – Marzo 2026

Tutor: Ing. Francisco Hernán Chancusig, Mg.

Tema: **“EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA TEMPORAL DE LOS NUTRIENTES EN LA TERRAZA DE BANCO N. 3 DEL CAMPUS SALACHE 2026”**

**CLÁUSULA SEGUNDA.** - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA.** - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.** - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 23 días del mes de febrero del 2026.

Glenda Thalia Guaita Caiza

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

**LA CEDENTE**

**LA CESIONARIA**

## **AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

**“EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA TEMPORAL DE LOS NUTRIENTES EN LA TERRAZA DE BANCO N. 3 DEL CAMPUS SALACHE 2026”** de Guaita Caiza Glenda Thalia, de la carrera de Agronomía, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 23 de febrero del 2026

Ing. Francisco Hernán Chancusig, Mg.  
C.C: 0501883920  
**DOCENTE TUTOR**

## **AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN**

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: Guaita Caiza Glenda Thalia, con el título del Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA TEMPORAL DE LOS NUTRIENTES EN LA TERRAZA DE BANCO N. 3 DEL CAMPUS SALACHE 2026”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 23 de febrero del 2026

Ing. Jorge Fabian Troya Sarzosa PhD.  
C.C: 0501645568  
**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**

Ing. Guido Euclides Yauli Chicaiza, MsC.  
C.C: 0501604409  
**LECTOR 2 (MIEMBRO)**

Ing. Guadalupe López Castillo, Mg.  
C.C: 1801902907  
**LECTOR 3 (MIEMBRO)**

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios, por ser mi guía, mi fortaleza y mi refugio en cada momento de este proceso. Gracias por iluminar mi camino, darme sabiduría y la perseverancia necesaria para no rendirme y alcanzar esta meta tan importante en mi vida.*

*A mis queridos padres, Luis Guaita y Amada Caiza, quienes con su amor, esfuerzo y sacrificio han sido el pilar fundamental de mi formación. Gracias por enseñarme valores, por su apoyo incondicional y por creer siempre en mí. Este logro es también el fruto de todo lo que ustedes han sembrado en mi vida.*

*A mis hermanos, por su compañía, palabras de aliento y motivación constante. Su apoyo ha sido fundamental para seguir adelante en los momentos difíciles.*

*A mi pareja, por su paciencia, comprensión y respaldo incondicional durante todo este proceso. Gracias por estar a mi lado, por motivarme y celebrar conmigo cada paso alcanzado.*

*A mi pequeña hija Sofía, quien es mi mayor inspiración y el motor que impulsa cada uno de mis sueños. Tu sonrisa me dio la fuerza necesaria para continuar y superarme cada día.*

*A mi amiga Jennyfer Chanchicocha, quien al final de este camino me acompañó y me brindó su apoyo sincero. Gracias por tu ayuda, tu amistad y por estar presente en una etapa tan importante de mi vida.*

*Finalmente, a la Universidad Técnica de Cotopaxi, por abrirme sus puertas y permitirme crecer académica y profesionalmente. A sus docentes, por compartir sus conocimientos y contribuir a mi formación integral.*

*A todos ustedes, gracias por formar parte esencial de este logro que marca una etapa muy significativa en mi vida.*

**Glenda Thalia Guaita Caiza**

## **DEDICATORIA**

*A mi Dios, dedico este logro, en primer lugar, a mis padres Luis Guaita y Amada Caiza, quienes han sido mi ejemplo de esfuerzo, amor y perseverancia. Gracias por cada sacrificio realizado y por enseñarme que con constancia y fe todo es posible.*

*A mi hija, quien es la luz de mi vida y la mayor inspiración para superarme cada día. Este logro es por ti y para ti, para que siempre recuerdes que los sueños se alcanzan con dedicación y valentía.*

*A mis hermanos, por su apoyo, confianza y palabras de ánimo en cada etapa de este camino. Su compañía ha sido fundamental para no rendirme.*

*A mis queridos tíos y primos, quienes con su cariño y motivación han formado parte importante de mi crecimiento personal y profesional.*

*Con todo mi amor y gratitud, les dedico este logro que también les pertenece.*

***Glenda Thalia Guaita Caiza***

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**TÍTULO: “EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA TEMPORAL DE LOS NUTRIENTES EN LA TERRAZA DE BANCO N. 3 DEL CAMPUS SALACHE 2026”**

**Autora:**  
Guaita Caiza Glenda Thalia

**RESUMEN**

La presente investigación evaluó la dinámica temporal de la fertilidad del suelo y su relación con el régimen pluvial en la Terraza de Banco N.º 3, Campus Salache, durante el periodo 2020-2025. El suelo se caracterizó inicialmente por una reacción fuertemente alcalina (pH 9,06) y bajos contenidos de materia orgánica (1,05%). Mediante análisis de estadística descriptiva y correlación de Pearson, se identificó que elementos como el Mn, Fe, Mg, Ca y Zn presentan una volatilidad extremadamente alta, con coeficientes de variación superiores al 100% en casos como el Mn y Fe. Los resultados de la regresión lineal confirmaron una dependencia significativa entre la precipitación anual y la disponibilidad de nutrientes; el hierro ( $R^2 = 0,8031$ ) y el magnesio ( $R^2 = 0,7485$ ) mostraron los ajustes más robustos. Se concluye que, en el rango subhúmedo evaluado (416mm -618mm), la precipitación anual actúa como el principal dinamizador de la meteorización química del suelo, incrementando la liberación de cationes y micronutrientes hacia la solución del suelo lo que se quiere decir que no alcanza umbrales de lixiviación profunda.

La degradación química y la baja actividad biológica reflejada en la escasa materia orgánica indican que el suelo ha alcanzado un estado de equilibrio degradado. Por lo tanto, su recuperación productiva y la estabilización de nutrientes como el nitrógeno, hierro y manganeso no son procesos inmediatos; conllevarán décadas de intervención técnica, dado que la formación de horizontes estables y la acumulación de carbono orgánico son procesos edafológicos extremadamente lentos.

**Palabras claves:** Dinámica de nutrientes, Precipitación anual, Suelos alcalinos, Correlación de Pearson, Macro y Micronutrientes.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**THEME: “EVALUATION OF THE TEMPORAL DYNAMICS OF NUTRIENTS IN TERRACE NO. 3 OF THE SALACHE 2026 CAMPUS”**

**AUTHOR:**

Guaita Caiza Glenda Thalia

**ABSTRACT**

This study evaluated the temporal dynamics of soil fertility and its relationship with the rainfall regime at Terraza de Banco No. 3, Salache Campus, during the period 2020-2025. The soil was initially characterized by a strongly alkaline reaction (pH 9.06) and low organic matter content (1.05%). Through descriptive statistical analysis and Pearson's correlation, it was identified that elements such as Mn, Fe, Mg, Ca, and Zn exhibit extremely high volatility, with coefficients of variation greater than 100% in cases such as Mn and Fe. The results of the linear regression confirmed a significant dependence between annual precipitation and nutrient availability; iron ( $R^2 = 0.8031$ ) and magnesium ( $R^2 = 0.7485$ ) showed the most robust fits. It is concluded that, in the subhumid range evaluated (416 mm–618 mm), annual precipitation acts as the main driver of chemical weathering of the soil, increasing the release of cations and micronutrients into the soil solution, which means that it does not reach deep leaching thresholds. Chemical degradation and low biological activity reflected in low organic matter indicate that the soil has reached a state of degraded equilibrium. Therefore, its productive recovery and the stabilization of nutrients such as nitrogen, iron, and manganese are not immediate processes; they will take decades of technical intervention, given that the formation of stable horizons and the accumulation of organic carbon are extremely slow soil processes.

**Keywords:** Nutrient dynamics, Annual precipitation, Alkaline soils, Pearson correlation, Macro and micronutrients.

## INDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	v
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	vi
<i>AGRADECIMIENTO</i> .....	vii
<i>DEDICATORIA</i> .....	viii
RESUMEN .....	ix
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. JUSTIFICACIÓN .....	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	3
5.2. Beneficiario directo .....	3
5.3. Beneficiario indirecto.....	3
4. PROBLEMÁTICA .....	4
5. OBJETIVOS .....	5
5.1. Objetivo General.....	5
5.2. Objetivos Específicos.....	5
6. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS .....	7
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA .....	9
7.1. El suelo como sistema dinámico y recurso agrícola .....	9
7.2. Propiedades químicas del suelo.....	10
7.3.7. pH del suelo y su relación con la disponibilidad de nutrientes .....	19
7.3.8. Influencia del pH en la disponibilidad de macronutrientes .....	20
7.3.9. Importancia del pH en la evaluación temporal del suelo .....	21

7.3.10.	Relación del pH con la disponibilidad de micronutrientes .....	22
7.4.	Terrazas de banco y su influencia en la dinámica temporal de los nutrientes .....	22
7.5.	Concepto y características de las terrazas de banco .....	23
7.5.1.	Influencia de las terrazas de banco en la erosión y pérdida de nutrientes .....	23
7.5.2.	Terrazas de banco y retención de humedad del suelo.....	24
7.5.4.	Importancia de las terrazas de banco en la gestión sostenible del suelo.....	25
7.5.5.	Evaluación temporal de los nutrientes del suelo.....	25
7.6.	Importancia del análisis temporal en la fertilidad del suelo .....	26
8.	VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA .....	27
9.	METODOLOGIA Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	28
9.1.	Área de estudio.....	28
9.2.	Tipo de investigación .....	29
9.2.1.	Investigación no experimental .....	29
9.2.2.	Investigación bibliografía .....	29
9.2.3.	Investigación de campo.....	30
9.6.2.	<i>Estadística Descriptiva</i> .....	32
10.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	33
10.1.	Caracterización del estado actual del suelo.....	33
10.2.	Comportamiento temporal de la precipitación del área de estudio .....	34
10.1.	Dinámica temporal de las variables edáficas macro-micronutrientes, pH y MO .....	36
10.2.	Influencia de la precipitación sobre la dinámica de los nutrientes .....	47
10.2.1.	<i>Análisis estadístico de correlación de Pearson entre variables</i> .....	48
11	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	56
11.1	Conclusiones.....	56
11.2	. Recomendaciones .....	57

11. BIBLIOGRAFIA ..... 59

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Disponibilidad de nutrientes respecto al pH del suelo.....	20
<b>Figura 2.</b> Ubicación de área de estudio.....	28
<b>Figura 3.</b> Comportamiento histórico de la precipitación anual (2020–2025) en el área de estudio .....	35
<b>Figura 4.</b> Dinámica temporal de los macronutrientes primarios (N, P, K) durante el periodo 2020- 2025.....	38
<b>Figura 5.</b> Dinámica temporal de los macronutrientes secundarios (S, Mg, Ca) durante el periodo 2020-2025. ....	40
<b>Figura 6.</b> Dinámica temporal de los micronutrientes durante el periodo 2020-2025. ....	42
<b>Figura 7.</b> Dinámica temporal del pH y la Materia Orgánica en el periodo 2020-2025 .....	44
<b>Figura 8.</b> Correlación lineal entre la precipitación anual (mm) y la concentración de Calcio en el suelo. ....	49
<b>Figura 9.</b> Correlación lineal entre la precipitación anual (mm) y la concentración de Magnesio (Mg) en el suelo. ....	50
<b>Figura 10.</b> Correlación lineal entre la precipitación anual (mm) y la concentración de Zinc (Zn) en el suelo. ....	52
<b>Figura 11.</b> Correlación lineal entre la precipitación anual (mm) y la concentración de Hierro (Fe) en el suelo. ....	53
<b>Figura 12.</b> Correlación lineal entre la precipitación anual (mm) y la concentración de Manganeso (Mn) en el suelo. ....	55

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados .....	7
<b>Tabla 2.</b> Característica del sitio de la investigación.....	28
<b>Tabla 3.</b> <i>Resultados del análisis químico del suelo en la terraza de Banco N.º 3, campus Salache 2025</i> .....	34
<b>Tabla 4.</b> <i>Parámetros de precipitación anual registrada durante el periodo de estudio</i> .....	35
<b>Tabla 5.</b> Registro histórico del contenido de macro y micronutrientes, pH y MO del suelo 2020-2025.....	36
<b>Tabla 6.</b> Medidas de tendencia central, dispersión y nivel de volatilidad de las variables.....	46
<b>Tabla 7.</b> Coeficientes de correlación de Pearson entre la precipitación y parámetros del suelo.	48

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Título del Proyecto:**

**“EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA TEMPORAL DE LOS NUTRIENTES EN LA TERRAZA DE BANCO N. 3 DEL CAMPUS SALACHE 2026”**

**Fecha de inicio:**

Octubre 2025

**Fecha de finalización:**

Marzo 2026

**Lugar de ejecución:**

El proyecto se ejecutará en la Terraza N.º 3, espacio que dispone de las condiciones necesarias para realizar las actividades planificadas de forma segura y eficiente

**Facultad que auspicia**

Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (CAREN)

**Carrera que auspicia:**

Carrera de Agronomía

**Equipo de Trabajo:**

Responsable del Proyecto: Glenda Thalia Guaita Caiza

Tutor: Ing. Francisco Hernán Chancusig, Mg.

Lector A: Ing. Jorge Fabian Troya Sarzosa, Ph.D.

Lector B: Ing. Guido Euclides Yauli Chicaiza, MsC.

Lector C: Ing. Guadalupe López Castillo, Mg.

**Coordinador del Proyecto:**

Nombre: Guaita Caiza Glenda Thalia

Teléfono: 0983561357

Correo electrónico: [glenda.guaita4313@utc.edu.ec](mailto:glenda.guaita4313@utc.edu.ec)

**Área de Conocimiento:**

Agricultura, Silvicultura, pesca y veterinaria.

**Línea de investigación:**

Procesos tecnológicos, bioquímica, biomateriales, desarrollo y seguridad alimentaria.

**Línea de vinculación de la carrera:**

Tecnologías para la agricultura, Agua y Suelos.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El presente estudio es de gran importancia ya que el conocimiento del estado actual del suelo es fundamental para comprender su capacidad productiva y su papel dentro de los ecosistemas agrícolas. A través del análisis de sus propiedades físico-químicas se puede determinar la disponibilidad de nutrientes esenciales, el nivel de fertilidad, el pH, la materia orgánica y otros indicadores que influyen directamente en el desarrollo de los cultivos.

El análisis de suelos es una herramienta que se utiliza como referencia para el manejo de la fertilidad de los suelos, ya sea para determinar deficiencias y necesidades de fertilización, así como también para monitorear la evolución de la disponibilidad de nutrientes en el suelo (FAO et al., 2013).

Con el paso del tiempo, los suelos experimentan diversos cambios producto de factores naturales y antrópicos. Las prácticas agrícolas inadecuadas, el uso intensivo del terreno, la erosión, la deforestación y la variación climática provocan alteraciones en la estructura y composición del suelo, modificando su capacidad de retener nutrientes y agua. Analizar cómo ha ido evolucionando el suelo a lo largo del tiempo permite detectar estas variaciones y establecer estrategias de manejo que promuevan su recuperación y sostenibilidad.

Por otro lado, el comportamiento de las precipitaciones constituye un factor determinante en la dinámica de los nutrientes del suelo. Si bien la lixiviación es un fenómeno natural, de ocurrencia en cualquier ecosistema, su magnitud cambia de acuerdo a la cantidad de lluvia, las propiedades del suelo y el manejo del cultivo (Sadeghian Khalajabadi et al., 2015). Conocer los porcentajes de lluvias y su relación con el comportamiento del suelo permite comprender mejor la interacción entre el clima y la fertilidad, lo cual es clave para planificar las actividades agrícolas y el manejo de cultivos en función de las condiciones climáticas locales (EOS Data Analytics, 2023).

En este contexto, la presente investigación se justifica por la necesidad de evaluar el estado actual del suelo, analizar su evolución en el tiempo y relacionar estos cambios con los porcentajes de lluvias registrados en la zona de estudio. Esta información será de gran utilidad para establecer diagnósticos precisos, mejorar las prácticas agronómicas, promover un uso racional de los recursos y fortalecer la gestión ambiental en el campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

### **3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO**

#### **5.2. Beneficiario directo**

Este proyecto de investigación beneficia directamente a los docentes e investigadores de las ciencias agrarias y ambientales se beneficiarán al disponer de información actualizada que servirá como base para estudios posteriores. Asimismo, los estudiantes de carreras afines contarán con datos reales para sus prácticas académicas y proyectos, mientras que el equipo encargado del manejo productivo del campus obtendrá insumos técnicos que facilitarán la optimización de las prácticas agrícolas en la terraza evaluada.

#### **5.3. Beneficiario indirecto**

Este proyecto de investigación beneficia indirectamente a las comunidades del alrededor de Salache y técnicos agrícolas, que podrá utilizar los resultados como referencia para estudios relacionados con la fertilidad del suelo y el manejo sostenible de terrazas agrícolas, quienes podrán aplicar los conocimientos generados para mejorar sus prácticas de manejo de suelos y optimizar la productividad en terrenos con características similares. Asimismo, instituciones públicas y privadas vinculadas al desarrollo rural y la gestión ambiental podrán emplear la información del estudio para fortalecer programas de conservación, ordenamiento territorial y uso eficiente de recursos naturales, contribuyendo así al desarrollo sostenible de la zona.

#### 4. PROBLEMÁTICA

A nivel global, la degradación de los suelos agrícolas constituye uno de los principales desafíos para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental. La pérdida de nutrientes esenciales, producto de procesos como la erosión, lixiviación y manejo inadecuado, afecta la fertilidad del suelo y reduce la productividad de los sistemas agrícolas. La fertilidad edáfica depende del equilibrio y disponibilidad de macronutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), azufre (S), calcio (Ca) y magnesio (Mg), así como de micronutrientes como manganeso (Mn), hierro (Fe), boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo), cloro (Cl) y níquel (Ni). Según ICL LATAM (2024) los micro y macronutrientes desempeñan un papel clave en el crecimiento, desarrollo y reproducción de las plantas. “Los nutrientes deben estar siempre presentes en las cantidades y proporciones adecuadas” (FAO, 1996). Por ende, garantizar una nutrición equilibrada es esencial para maximizar la productividad agrícola y promover la salud del ecosistema en su conjunto.

En el contexto regional andino, caracterizado por pendientes pronunciadas y alta variabilidad climática, los procesos de erosión hídrica y escurrimiento superficial intensifican la pérdida de nutrientes y la degradación estructural del suelo. Aunque se han implementado prácticas de conservación como terrazas de banco para mitigar estos efectos, persisten interrogantes sobre la efectividad de estas estrategias en la recuperación química del suelo a mediano plazo. Ya que la fertilidad del suelo no es una característica estática sino más bien está sujeta a una dinámica temporal influenciada por factores climáticos, el manejo agronómico y la degradación física del soporte edáfico. En suelos degradados, esta dinámica se ve severamente alterada, limitando la capacidad de recuperación de la capa vegetal (Weil & Brady, 2017).

En el ámbito local, el Campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi ha desarrollado un Proyecto de Recuperación de Suelos mediante la construcción de terrazas de banco en un área previamente afectada por erosión severa. Desde el año 2020 se han generado registros técnicos sobre el estado nutricional de la Terraza de Banco N.º 3; sin embargo, no se ha realizado un análisis integral que evalúe la dinámica temporal de los nutrientes y determine si las estrategias de recuperación implementadas han logrado estabilizar la fertilidad del suelo.

Esta falta de interpretación sistémica impide determinar si las estrategias de recuperación están logrando una estabilización de la fertilidad o si persisten deficiencias que pongan en riesgo la sostenibilidad del proyecto. Por lo tanto, surge la necesidad de evaluar la dinámica temporal de los nutrientes para validar la eficacia de la restauración edáfica en esta zona de estudio.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. Objetivo General**

Evaluar el estado actual y la dinámica temporal de los nutrientes del suelo en la terraza de banco N.º 3 del Campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi, mediante el análisis de datos edáficos recopilados entre los años 2020-2025 y su relación con los registros históricos de precipitación, con el fin de determinar la influencia de la variabilidad pluviométrica en la disponibilidad de nutrientes del suelo.

### **5.2. Objetivos Específicos**

- Caracterizar el estado actual de los macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) y micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, B, entre otros), así como del pH y la materia orgánica del suelo, en la terraza de banco N.º 3, a partir de los muestreos realizados en el año 2025.

- Analizar la variación temporal de los macronutrientes y micronutrientes del suelo utilizando los datos edáficos recopilados durante el período 2020–2025, identificando tendencias, fluctuaciones y posibles procesos de acumulación o pérdida.
- Relacionar la dinámica temporal de los macronutrientes y micronutrientes del suelo con los registros históricos de precipitación, con el propósito de determinar la influencia de la variabilidad pluviométrica en la disponibilidad, movilidad y lixiviación de los nutrientes.

## 6. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS

### PLANTEADOS

**Tabla 1.** *Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados*

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	METODOLOGÍA	RESULTADOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterizar el estado actual de los macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) y micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, B, entre otros), así como del pH y la materia orgánica del suelo, en la terraza de banco N.º 3, a partir de los muestreos realizados en el año 2025.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión bibliográfica sobre métodos físicos y químicos de análisis de suelos.</li> <li>• Toma de muestras de suelo en la terraza del banco n. 3 siguiendo protocolos técnicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación de metodologías estandarizadas de muestreo (INEN, USDA u otra normativa vigente).</li> <li>• Análisis físico-químico mediante técnicas de laboratorio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtención de valores confiables y actualizados de los principales indicadores de fertilidad del suelo.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Envío y procesamiento de muestras en laboratorio acreditado.</li> <li>• Registro y organización de los valores obtenidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistematización de datos mediante tablas comparativas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagnóstico inicial sobre el estado físico-químico de la terraza evaluada.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar la variación temporal de los macronutrientes y micronutrientes del suelo utilizando los datos edáficos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recopilación de informes, bases de datos y registros históricos del área de estudio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión documental y selección de datos relevantes.</li> <li>• Aplicación de análisis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación clara de los cambios en los macro y micronutrientes, Ph y MO a</li> </ul>

<p>recopilados durante el período 2020-2025, identificando tendencias, fluctuaciones y posibles procesos de acumulación o pérdida.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Estandarización y ordenamiento de la información obtenida.</li> </ul>	<p>estadístico descriptivo (promedios, desviaciones, tendencias).</p>	<p>través del tiempo.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Elaboración de análisis comparativos entre períodos.</li> <li>● Representación gráfica de las variaciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Construcción de gráficos, tablas y diagramas comparativos por parámetro.</li> <li>● Interpretación de diferencias y tendencias temporales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Determinación de tendencias de mejora, estabilidad o degradación del suelo.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Relacionar la dinámica temporal de los macronutrientes y micronutrientes del suelo con los registros históricos de precipitación, con el propósito de determinar la influencia de la variabilidad pluviométrica en la disponibilidad, movilidad y lixiviación de los nutrientes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Recolección de datos climáticos (precipitación mensual y anual) de estaciones meteorológicas cercanas.</li> <li>● Organización de los registros en series temporales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Uso de fuentes oficiales (INAMHI, estaciones de la UTC, etc.).</li> <li>● Tabulación y análisis de precipitación mediante estadística descriptiva.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Identificación de patrones de precipitación durante 2026.</li> <li>● Comprensión de la relación entre lluvias y fluctuaciones de los nutrientes del suelo.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Relación estadística entre precipitación y variación de nutrientes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Correlación simple o análisis comparativo entre lluvias y</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Insumos técnicos para explicar procesos de lixiviación y</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaboración de gráficos climáticos.</li> </ul>	variación de N, P, K y MO. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis interpretativo sobre la influencia de la lluvia en la lixiviación y disponibilidad de nutrientes.</li> </ul>	dinámica temporal de fertilidad.
--	---	---	----------------------------------

**Elaborado por:** Guaita T. (2026)

## 7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

### 7.1. El suelo como sistema dinámico y recurso agrícola

Bernstein (como se citó en Ramírez Mora, 2012) menciona que el suelo es la parte superficial de la corteza terrestre biológicamente activa, que tiende a desarrollarse en la superficie de las rocas emergidas por la influencia del clima y de los seres vivos.

El suelo es un medio dinámico que alberga y nutre diferentes comunidades microbianas tales como bacterias, actinomicetes, hongos, algas, protozoos, nematodos, etc., los cuales juegan un papel significativo en el ciclado de nutrientes, conversiones biológicas, formación de humus, mantenimiento de ecosistema y otras acciones encaminadas a garantizar la vida y la productividad de las plantas (Jaizme-Vega, 2012).

Los suelos permiten el enraizamiento de las plantas, a la vez que actúan como fuente de elementos nutritivos y agua que son necesarios para su crecimiento. La contribución del suelo al desarrollo de las plantas se denomina fertilidad, término más aplicado a las plantas cultivadas pero que también se puede aplicar a la totalidad de los vegetales (Ortiz Silla, 2015).

## 7.2. Propiedades químicas del suelo

La composición química del suelo incluye la medida de la reacción de un suelo (pH) y de sus elementos químicos (nutrientes). Su análisis es necesario para una mejor gestión de la fertilización del cultivo, elegir las plantas más adecuadas y obtener los mejores rendimientos de cosecha (CEPEDA como se citó en VILLACORTA JARA, 2014).

La consideración de las propiedades de los suelos constituye uno de los principales objetivos de su química estas propiedades resultan del proceso de formación y evolución del suelo y su conocimiento permite elaborar criterios valiosos para su clasificación y especialmente para la interpretación de la relación suelo-planta (Fassbender, 1975).

Según FAO et al. (2013) las propiedades químicas del suelo no pueden observarse a simple vista y es necesario un análisis para determinarlas, entre las propiedades químicas del suelo tenemos:

### 7.2.1. *La fertilidad*

La fertilidad del suelo hace referencia al potencial de un suelo para crear unas condiciones químicas, físicas y biológicas favorables para las plantas, proporcionándoles todos los nutrientes esenciales para su crecimiento. Es necesario entender que los nutrientes minerales no son alimento para las plantas (porque las plantas producen alimento por sí mismas mediante la fotosíntesis), sino un suplemento que proporciona más energía para su desarrollo. Así pues, se considera suelo fértil a aquel que cumple esta condición (EOS Data Analytics, 2024).

Un suelo es fértil cuando:

- Su consistencia y profundidad permiten un buen desarrollo y fijación de las raíces.
- Contiene los nutrientes que la vegetación necesita.

- Es capaz de absorber y retener el agua, conservándola disponible para que las plantas la utilicen.
- Está suficientemente aireado.
- No contiene sustancias tóxicas (FAO, 1996).

Un suelo fértil es el que tiene buena cantidad de nutrientes para las plantas, existen dos tipos de nutrientes los Macronutrientes y los Micronutrientes (FAO et al., 2013).

#### **7.2.1.1. Los Macronutrientes.**

Deben estar presentes en el suelo en mayores cantidades para ser aprovechado por los cultivos, su presencia es indispensable para el crecimiento y fructificación de las plantas. Los principales Macronutrientes son: Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Magnesio (Mg), Azufre (S) y Calcio (Ca) (FAO et al., 2013).

Los macronutrientes cumplen numerosas funciones y se clasifican en dos grupos según la cantidad en la que se encuentran en los alimentos: los primarios, que son nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), y los secundarios, que incluyen calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) (Ringuelet & Gil como se citó en Zambrano-Yepes et al., 2020).

##### **7.2.1.1.1. Nitrógeno (N).**

El N es uno de los principales constituyentes de los aminoácidos, proteínas, enzimas, nucleoproteínas, ácidos nucleicos, forma parte de compuestos que conforman las paredes celulares y también de un pigmento clave de las plantas como es la clorofila. Es decir que el N, de la misma manera que el P, es demandado en grandes cantidades por las plantas y cuando sus niveles son bajos, estas no pueden desarrollar todo su potencial de rendimiento (Fermoselle et al., 2025).

El nitrógeno es un componente más importante para el desarrollo y crecimiento de las plantas, dado que es un componente de moléculas esenciales como las proteínas, los ácidos

nucleicos (ADN y ARN) y la clorofila, esencial para la fotosíntesis, tiene un impacto directo en el desempeño de los cultivos, al fomentar el crecimiento vegetal, la generación de hojas y la habilidad de las plantas para generar biomasa (Moreira Ruiz, 2025).

#### **7.2.1.1.2. Fósforo (P).**

El fósforo (P) es el segundo nutrimento mineral en importancia en la agricultura nacional y mundial; la razón es porque el fósforo es un elemento muy reactivo en el suelo y rápidamente pasa a formas más complejas que son de difícil absorción para las plantas (Intagri S.C., 2018).

El fósforo posee una serie de funciones en el metabolismo vegetal y es uno de los nutrientes esenciales requeridos para el crecimiento y el desarrollo de las plantas. Desempeña funciones estructurales en las macromoléculas como los ácidos nucleicos y de transferencia de la energía en los procesos metabólicos de biosíntesis y degradación (Zapata & Roy, 2007).

#### **7.2.1.1.3. Potasio (K).**

“Después del nitrógeno (N) y el calcio (Ca), el potasio (K) es el nutrimento esencial de las plantas absorbido en mayores cantidades. Algunas plantas acumulan en sus tejidos cantidades apreciables”(Marín Morales, 1977). El potasio (K) es uno de los nutrimentos más importantes en el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que participa en diferentes procesos bioquímicos y fisiológicos de los vegetales. Desempeña funciones esenciales en la activación enzimática, síntesis de proteínas, fotosíntesis, osmorregulación, actividad estomática, transferencia de energía, transporte en el floema, equilibrio anión-cation y resistencia al estrés biótico y abiótico (Intagri S.C., 2017).

#### **7.2.1.1.4. Calcio (Ca).**

El calcio (Ca) es un macronutriente secundario fundamental para el correcto desarrollo de las plantas, el cual, está íntimamente relacionado con la calidad final de los frutos ya que es el

responsable de mantener unidas las paredes celulares jugando un papel principal en la estructura de los tejidos vegetales (Agricotec, s. f.).

El calcio es uno de los principales macronutrientes que nutren a las plantas. En el suelo, este elemento es el responsable, en conjunto con las sustancias húmicas, de la agregación de las partículas. Asimismo, en la planta tiene un rol similar, ya que participa principalmente en la conservación de la integridad de las células, es decir, impide que los tejidos de la planta, principalmente frutos, se degraden con facilidad (Peña Datoli, s. f.).

#### **7.2.1.1.5. Magnesio (Mg).**

El magnesio es el cuarto catión más abundante del organismo y el segundo en importancia dentro de la célula. Interviene en procesos bioquímicos primitivos como la fotosíntesis y adhesión celular; actúa como regulador de la estructura del ribosoma, en el transporte de la membrana, síntesis de proteínas y ácidos nucleicos; generación y transmisión del impulso nervioso, contracción muscular y cardíaca así como en la fosforilación oxidativa (Aranda et al., 2000).

#### **7.2.1.1.6. Azufre (S).**

Cánepa Ramos & Trémols González (2015) considera que el azufre es uno de los elementos más requeridos por las plantas debido a su participación en los disímiles procesos fisiológicos, como son: la formación de proteínas, azúcares y clorofila, la producción de semilla, la síntesis de grasas y el mejoramiento de la eficiencia en el uso del nitrógeno.

#### **7.2.1.2. Los Micronutrientes.**

Los micronutrientes son elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. A pesar de ser requeridos en pequeñas cantidades, su función es crucial para la salud y productividad de los cultivos. La deficiencia de micronutrientes puede afectar el rendimiento, la

calidad de los frutos y la resistencia a enfermedades. Por ello, es fundamental entender su importancia y asegurar un adecuado suministro en los cultivos (Agrotey, 2024).

Según ARTAL Smart Agriculture (2026) cada micronutriente cumple una función concreta que no puede ser sustituida por otro elemento:

#### **7.2.1.2.1. Hierro (Fe).**

Es esencial en la síntesis de clorofila y en los procesos de fotosíntesis. Su deficiencia provoca clorosis férrica, especialmente en suelos calizos.

#### **7.2.1.2.2. Zinc (Zn).**

Interviene en la síntesis de auxinas y en el crecimiento vegetativo. Su carencia se asocia a entrenudos cortos y hojas deformadas.

#### **7.2.1.2.3. Cobre (Cu).**

Refuerza los tejidos vegetales y participa en procesos respiratorios.

#### **7.2.1.2.4. Manganeso (Mn).**

Participa en la fotosíntesis y en la activación de enzimas relacionadas con el metabolismo del nitrógeno.

#### **7.2.1.2.5. Boro (B).**

Es clave en la floración, el cuajado y el transporte de azúcares.

#### **7.2.1.2.6. Cloro (Cl).**

El cloro juega un papel crucial en la fotosíntesis, ya que participa en la ruptura del agua y en la regulación estomática. Su presencia es esencial para la producción de energía en la planta, lo que afecta directamente su salud general y desarrollo (Agrotey, 2024).

### **7.3. Dinámica temporal de los nutrientes en suelos agrícolas**

La dinámica de nutrientes del suelo se refiere a los procesos y cambios en el contenido y la disponibilidad de nutrientes esenciales en el suelo, influenciada por procesos bioquímicos y por factores externos como prácticas agronómicas y condiciones climáticas. Los cambios anuales o multianuales en los niveles de macronutrientes y micronutrientes pueden reflejar tendencias de degradación o de recuperación, según la historia de manejo y la infraestructura de conservación implementada (Guo et al., 2024; Semeraro et al., 2025).

Los nutrientes del suelo podrían estar influenciados por factores ambientales y humanos o podría deberse a la influencia combinada de factores internos como la geología, la topografía y las condiciones climáticas y factores externos como diversas prácticas agrícolas para diferentes cultivos (Guo et al., 2024).

Los elementos nutritivos no permanecen estáticos en el suelo, ni en su contenido ni en su forma, por lo que a los aspectos cuantitativos hay que añadir otro tipo cualitativo, que consideren su evolución en el suelo que les hace pasar de forma fácilmente asimilables a otras en que su asimilación es más difícil o incluso no asimilables (Urbano Terrón, 1998).

### **7.3.1. Factores que influyen en la dinámica temporal de los nutrientes**

La variación de los nutrientes en el tiempo responde a la interacción de múltiples factores que actúan de manera conjunta en el suelo

### **7.3.2. *Condiciones climáticas***

La precipitación y la temperatura influyen directamente en la mineralización de la materia orgánica, la lixiviación de nutrientes y la actividad microbiana. En el campus Salache, la

estacionalidad climática constituye un factor determinante en la fluctuación temporal de los nutrientes.

#### **7.3.2.1. Lixiviación.**

Es un proceso físico mediante el cual los nutrientes solubles son arrastrados hacia capas más profundas del suelo por acción del agua de lluvia o del riego. Este proceso afecta principalmente a nutrientes con alta movilidad, como el nitrógeno en forma de nitratos, aunque también puede influir en la pérdida de otros elementos bajo determinadas condiciones edáficas.

La intensidad de la lixiviación depende de varios factores, entre ellos la textura del suelo, la estructura, la pendiente, la cantidad de precipitación y la capacidad de retención de agua. En los suelos de textura arenosa, la lixiviación suele ser más intensa debido a la menor capacidad de retención de nutrientes, mientras que en suelos con mayor contenido de arcilla y materia orgánica este proceso puede verse reducido.

En terrazas de banco, la lixiviación puede tener un comportamiento particular. Por un lado, la reducción del escurrimiento superficial favorece la infiltración del agua, lo que puede incrementar el movimiento vertical de los nutrientes. Por otro lado, la acumulación de materiales finos y materia orgánica en las terrazas pueden mejorar la retención de nutrientes, disminuyendo las pérdidas por lixiviación. Su evolución temporal de los nutrientes permite identificar si este proceso genera pérdidas significativas a lo largo del tiempo.

#### **7.3.3. Propiedades físicas del suelo**

La textura, estructura y porosidad del suelo condicionan la retención de agua y la movilidad de los nutrientes. En las terrazas de banco, estas propiedades pueden verse modificadas por la acumulación de sedimentos y materia orgánica.

#### **7.3.4. Materia orgánica**

Actúa como un reservorio de nutrientes, liberándolos de forma gradual. Su descomposición y estabilización influyen significativamente en la disponibilidad temporal de los elementos esenciales.

#### **7.3.5. Actividad biológica**

Los microorganismos del suelo desempeñan un papel clave en los ciclos biogeoquímicos de nitrógeno, fósforo y otros nutrientes. La actividad biológica puede variar a lo largo del tiempo en función de la humedad, temperatura y disponibilidad de sustratos orgánicos.

Comprender los procesos que influyen los nutrientes es fundamental para interpretar los resultados de los análisis químicos del suelo y para establecer estrategias de manejo sostenible. Entre los procesos más relevantes se encuentran la lixiviación, la mineralización y humificación de la materia orgánica, la absorción vegetal y la influencia de las condiciones climáticas.

##### **7.3.5.1. Mineralización y humificación.**

Estos procesos biológicos fundamentales que regulan la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Ambos están estrechamente relacionados con la descomposición de la materia orgánica y la actividad de los microorganismos edáficos.

La mineralización consiste en las transformaciones de los compuestos orgánicos presentes en la materia orgánica en formas inorgánicas disponibles para las plantas, como nitratos, fosfatos y sulfatos. Este proceso depende principalmente de la temperatura, la humedad del suelo, la aireación y la actividad microbiana. En condiciones favorables, la mineralización contribuye al suministro continuo de nutrientes, mientras que en condiciones adversas puede frenarse significativamente.

La humificación, por su parte, es el proceso mediante el cual la materia orgánica que se convierte en humus, una fracción estable que mejora la estructura del suelo, incrementa la capacidad de intercambio catiónico y favorece la retención de agua y nutrientes. El humus actúa como un reservorio de nutrientes, liberándolos de manera gradual a lo largo del tiempo.

En las terrazas de banco, la acumulación de residuos vegetales y sedimentos puede favorecer estos procesos, contribuyendo a una mayor estabilidad de la fertilidad del suelo. Aun así, la intensidad de la mineralización y humificación puede variar temporalmente, lo que se refleja en cambios en la disponibilidad de nutrientes.

### ***7.3.6. Influencia Climática***

Las condiciones climáticas ejercen una influencia determinante sobre los procesos que regulan la dinámica temporal de los nutrientes del suelo. Factores como la precipitación, la temperatura y la radiación solar afectan tanto los procesos físicos como los biológicos del suelo.

La precipitación influye directamente en la lixiviación, la infiltración y la disponibilidad de agua para los microorganismos del suelo. Periodos de lluvias intensas pueden incrementar la

perdida de nutrientes solubles, mientras que periodos de sequía pueden limitar la actividad microbiana y la mineralización de la materia orgánica.

La temperatura afecta la velocidad de las reacciones químicas y la actividad biológica del suelo. Temperaturas moderadas favorecen la mineralización y la disponibilidad de nutrientes, mientras que temperaturas extremas pueden inhibir estos procesos.

En el área del campus Salache, las variaciones climáticas influyen en la dinámica de los nutrientes del suelo, por lo que resulta indispensable considerar estos factores al interpretar los resultados del análisis. La evolución periódica permitirá relacionar los cambios observados en los nutrientes con las condiciones climáticas predominantes durante el periodo de estudio.

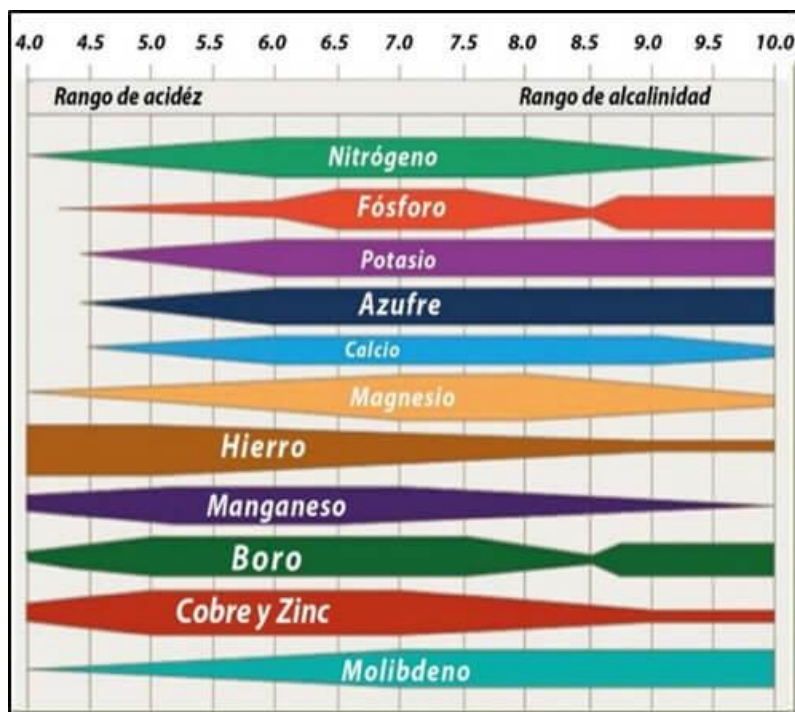
### ***7.3.7. pH del suelo y su relación con la disponibilidad de nutrientes***

El pH del suelo es uno de los parámetros químicos más importantes para evaluar la fertilidad y el comportamiento de los nutrientes en los sistemas edáficos. Se define como una medida de la concentración de iones hidrogeno (H) en la solución del suelo y permite clasificarlo en ácido, neutro o alcalino

Según INTAGRI S.C. (2018) la escala de medición del pH está entre los valores de 0.0 a 14.0. El pH también es un indicador de múltiples propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo que influyen fuertemente sobre la disponibilidad de los nutrimentos esenciales para las plantas. El pH dentro de un rango específico permite que la mayoría de los nutrientes mantengan su máxima disponibilidad. Por debajo de dicho rango se pueden presentar problemas de deficiencias de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre o magnesio; mientras que por encima de este mismo rango la disponibilidad de micronutrientes (hierro, manganeso, cobre o zinc) se reduce (Figura 1). La adaptabilidad de cada especie a un rango determinado de pH, hacen que este

sea el principal criterio con respecto a la dinámica de los nutrientes que serán absorbidos por sus raíces y que influyen en su productividad.

**Figura 1.** Disponibilidad de nutrientes respecto al pH del suelo.



**Fuente:** INTAGRI S.C. (2018)

En el contexto de la presente investigación, el pH del suelo adquiere especial relevancia debido a su estrecha relación con la dinámica temporal de los nutrientes en la terraza de banco N.º3 del campus Salache. Las variaciones del pH a lo largo del tiempo pueden generar cambios significativos en la disponibilidad de macronutrientes y micronutrientes, afectando la fertilidad del suelo y la eficiencia en la absorción de nutrientes por parte de la vegetación.

### **7.3.8. Influencia del pH en la disponibilidad de macronutrientes**

El pH del suelo afecta de manera notable la disponibilidad de los macronutrientes, especialmente el nitrógeno, el fósforo y el potasio. En el caso del nitrógeno, el pH influye en la

actividad microbiana responsable de los procesos de mineralización, nitrificación y desnitrificación. Valores de pH cercanos a la neutralidad favorecen estos procesos, mientras que valores extremos puede inhibir la actividad de los microorganismos (INTAGRI S.C., 2018).

El fósforo es uno de los nutrientes más sensibles a las variaciones de pH. En suelos ácidos, el fósforo tiende a fijarse en compuestos insolubles con hierro y aluminio, mientras que en suelos alcalinos puede precipitarse con calcio. Como resultado, la disponibilidad óptima del fósforo se presenta generalmente en suelos con pH entre 6,0 y 7,0 (DELSO, 2023).

El potasio, aunque menos afectado directamente por el pH, puede verse alterada su disponibilidad de forma indirecta, debido a cambios en la capacidad de intercambio positivo del suelo. Un pH adecuado favorece la estabilidad estructural del suelo y la retención de potasio en formas convertibles (INTAGRI S.C., 2018).

### ***7.3.9. Importancia del pH en la evaluación temporal del suelo***

La medición periódica del pH del suelo permite identificar tendencias de acidificación o alcalinización a lo largo del tiempo, las cuales pueden estar asociadas a procesos naturales, prácticas de manejo o condiciones climáticas. En la evaluación temporal de los nutrientes, el pH actúa como indicador clave para interpretar los cambios observados en la disponibilidad de los elementos (FAO, 2026).

En la terraza del campus Salache, el análisis temporal del pH del suelo contribuye a comprender la interacción entre las prácticas de conservación del suelo y la dinámica de los nutrientes, proporcionando información relevante para la toma de decisiones técnicas orientadas al manejo sostenible del recurso suelo.

### ***7.3.10. Relación del pH con la disponibilidad de micronutrientes***

Presentan una fuerte dependencia del pH del suelo. En suelos ácidos, la disponibilidad de hierro, manganeso, zinc y cobre suele ser elevada, pudiendo alcanzar niveles tóxicos. En contraste, en suelos alcalinos, estos micronutrientes tienden a precipitarse o a formar complejos poco solubles, generando deficiencias nutricionales en las plantas (INTAGRI S.C., 2018).

El boro, por su parte, muestra una respuesta variable al pH, ya que su disponibilidad puede disminuir tanto en suelos muy ácidos como en suelos muy alcalinos. Estas interacciones evidencian la importancia de mantener el pH del suelo dentro de rangos adecuados para garantizar un equilibrio nutricional (Ortiz et al., 2021).

## **7.4. Terrazas de banco y su influencia en la dinámica temporal de los nutrientes**

Las terrazas de banco constituyen una práctica de conservación de suelos ampliamente utilizada en terrenos con pendiente, cuyo objetivo principal es reducir la erosión hídrica, mejorar la retención de humedad y favorecer la acumulación de nutrientes en el perfil del suelo. En el campus Salache, la terraza N°3 representa un sistema modificado que influye directamente en la dinámica temporal de los nutrientes, convirtiéndose en un elemento clave para su evolución de la fertilidad del suelo a lo largo del tiempo.

Desde la perspectiva edafológica, las terrazas de banco alteran los procesos naturales de desagüe, infiltración y sedimentación, generando condiciones particulares que afectan en la distribución, disponibilidad y movilidad de los nutrientes. Estas permiten analizar cómo las prácticas de manejo y conservación inciden en la dinámica de los elementos esenciales del suelo (J. Havlin, S. Tisdale, W. Nelson and J. Beaton 2014).

## **7.5. Concepto y características de las terrazas de banco**

Las terrazas de banco son estructuras construidas diagonalmente a la pendiente del terreno, formando superficies relativamente planas sostenidas por taludes o muros de contención. Estas estructuras reducen la longitud efectiva de la pendiente, disminuyen la velocidad del escurrimiento superficial y facilitan la infiltración del agua en el suelo (Proyecto JALDA, s. f.).

Las terrazas de banco o bancales consisten en una serie de plataformas o escalones planos o casi planos, construidas sobre terrenos de pendiente fuerte y separados por paredes muy inclinadas protegidas por vegetación o muros secos de piedra. Debido a la topografía irregular del terreno de la zona andina, las terrazas de banco se convierten en una alternativa válida para la conservación del suelo, mejoramiento de los cultivos y para el aumento de la producción. Se construyen en pendientes superiores al 20 % y menores de 55 % y con profundidades de suelo entre 20 a 60 cm., generalmente en zonas agrícolas, con escasez de suelos planos y en donde se justifique además de la inversión, la gran cantidad de mano de obra (Ramos Sánchez, 2016).

Sus principales características de las terrazas de banco se destacan su capacidad para estabilizar el terreno, reducir la pérdida de suelo fértil y crear microambientes favorables para el desarrollo vegetal. En estas condiciones influyen directamente en los procesos de acumulación y redistribución de nutrientes, especialmente en zonas con lluvias intensas o suelos susceptibles a la erosión.

### ***7.5.1. Influencia de las terrazas de banco en la erosión y pérdida de nutrientes***

Uno de los principales beneficios de las terrazas de banco es la reducción significativa de la erosión constituyendo uno de los principales factores de pérdida de nutrientes, ya que arrastra

partículas finas del suelo ricas en materia orgánica y elementos esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio.

Al disminuir la velocidad del agua de la escorrentía, las terrazas de banco favorecen la disposición de sedimentos dentro de la misma estructura, promoviendo la conversación de nutrientes en el sistema. Este proceso contribuye a una mayor estabilidad de los niveles nutricionales del suelo a lo largo del tiempo, aspecto fundamental para el análisis de la dinámica temporal de los nutrientes la terraza de banco N.º3.

### ***7.5.2. Terrazas de banco y retención de humedad del suelo***

La capacidad de las terrazas de banco para mejorar la retención de humedad del suelo que tiene un efecto directo sobre la disponibilidad de nutrientes. La mayor infiltración de agua favorece la disolución y movilidad de los nutrientes en la solución del suelo, facilitando su absorción por las plantas (Ramos Sánchez, 2016).

Asimismo, la humedad adecuada del suelo promueve la actividad microbiana, lo que incrementa los procesos de mineralización de la materia orgánica y la liberación progresiva de nutrientes. En este sentido, las terrazas de banco contribuyen a una dinámica nutricional más estable y sostenida, especialmente en periodos de variabilidad climática.

### ***7.5.3. Impacto de las terrazas de banco en la variabilidad y temporal de los nutrientes***

Las terrazas de banco pueden generar variabilidad espacial en la distribución de los nutrientes, debido a la acumulación diferencial de sedimentos y materia orgánica en distintas secciones de la estructura. Esta variabilidad debe ser considerada en los estudios de evaluación

temporal, ya que los niveles de nutrientes pueden presentar fluctuaciones tanto en el espacio como en el tiempo

En la terraza de banco del campus Salache, la evaluación periódica de los nutrientes permite identificar patrones de acumulación o pérdida asociados a las condiciones estructurales de la terraza, las prácticas de manejo y los eventos climáticos, Este enfoque temporal facilita la comprensión de los procesos que regulan la fertilidad del suelo en sistemas conservacionistas.

#### ***7.5.4. Importancia de las terrazas de banco en la gestión sostenible del suelo***

Representan una estrategia fundamental para la gestión sostenible del suelo, especialmente en zonas con pendientes pronunciadas y riesgo de degradación. Su implementación contribuye a la conservación del recurso suelo, la mejora de la productividad y la reducción de impactos ambientales negativos (EOS Data Analytics, 2022).

Desde un punto de vista en la investigación, el análisis de la dinámica temporal de los nutrientes en terrazas de banco proporciona información valiosa para el diseño de prácticas de manejo adaptadas a las condiciones locales. En el caso del campus Salache, los resultados obtenidos pueden servir como referencia para la implementación de estrategias de conservación del suelo en contextos iguales.

#### ***7.5.5. Evaluación temporal de los nutrientes del suelo***

Se constituye un componente fundamental en los estudios de fertilidad y conservación edáfica, ya que permite analizar las variaciones en la disponibilidad de los elementos esenciales a lo largo del tiempo. En el contexto de la terraza de banco N.º3 del campus Salache, en el análisis

resultara clave para comprender los efectos del suelo sobre la dinámica nutricional durante el periodo de estudio 2026.

El enfoque temporal posibilita identificar tendencias de acumulación, estabilidad o pérdida de nutrientes, aportando información científica relevante para la toma de decisiones orientadas al manejo sostenible del suelo y la conservación de su productividad (Organization of the United Nations, 2016).

## **7.6. Importancia del análisis temporal en la fertilidad del suelo**

El análisis del suelo proporciona información clave sobre los niveles de micronutrientes y su relación con otros nutrientes. Con estos datos, es posible identificar deficiencias específicas y planificar un programa de fertilización que optimice el crecimiento vegetal. Además, ayuda a detectar problemas de salinidad o pH que pueden afectar la absorción de micronutrientes, asegurando una nutrición equilibrada para las plantas (Agrotey, 2024).

En sistemas como las terrazas de banco, donde se modifica la pendiente y el flujo hídrico, la dinámica de los nutrientes puede diferir significativamente de la de suelos no intervenidos. Por ello, el análisis periódico del contenido de nutrientes resulta indispensable para determinar la efectividad de estas estructuras en la conservación del suelo y la mejor de su fertilidad (Ramos Sánchez, 2016).

### **7.6.1. Interpretación de los cambios temporales de nutrientes**

Los análisis comparativos de los resultados obtenidos en diferentes momentos del estudio permitirán interpretar los procesos que influyen en la dinámica de los nutrientes. Un aumento en

la concentración de ciertos nutrientes puede indicar procesos de acumulación asociados a la reducción de la erosión y al incremento de la materia orgánica.

Al contrario, una disminución en los niveles nutricionales puede estar relacionada con procesos de lixiviación, absorción vegetal o degradación del suelo. La interpretación de estos cambios debe considerar el contexto ambiental y las características específicas de la terraza de banco.

### **7.6.2. Importancia de la evaluación de la dinámica temporal de los nutrientes para la gestión ambiental del Campus Salache**

Constituye en una herramienta fundamental para la gestión ambiental sostenible, especialmente en espacios académicos como el campus Salache, donde confluyen actividades educativas, investigativas y de conservación ambiental. El análisis sistemático de los cambios en la disponibilidad de nutrientes permite comprender el comportamiento del suelo frente a las intervenciones antrópicas y a las condiciones naturales, facilitando la toma de decisiones orientadas al manejo responsable de los recursos edáficos.

La terraza del banco N°3 representa un escenario adecuado para analizar como las prácticas de conservación del suelo influyen en la fertilidad y estabilidad nutricional a lo largo del tiempo, aportando información relevante para la planificación ambiental del campus (A. Wild 1993).

## **8. VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA**

¿Cuál es la variabilidad temporal de la concentración de macro y micronutrientes del suelo en la terraza de Banco N.º 3 del campus Salache durante el período 2020–2025, y en qué medida la precipitación influye en su comportamiento?

## 9. METODOLOGIA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

### 9.1. Área de estudio

La presente investigación se realizó en la terraza número 3 del Campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi, un área experimental destinado a prácticas de recuperación de suelos y estudios edáficos ubicado en el cantón Latacunga con el propósito de evaluar la dinámica temporal de los nutrientes del suelo en relación al tiempo y la precipitación un sistema intervenido, representativo de terrenos con pendiente moderada.

*Figura 2. Ubicación de área de estudio.*



**Fuente:** (Google Earth, 2026).

*Tabla 2. Característica del sitio de la investigación.*

<b>Provincia</b>	<b>Cotopaxi</b>
Cantón	Latacunga

Parroquia	Eloy Alfaro
Localidad	Salache
Longitud	78°37'27"W
Latitud	1°00'00"S
Altitud	2,749 m
Textura	Franco Arenoso

**Elaborado por:** Guaita T. (2026)

## 9.2. Tipo de investigación

### 9.2.1. *Investigación no experimental*

El diseño fue no experimental, longitudinal retrospectivo, dado que se trabajó con datos históricos previamente generados (2020–2024) y con un análisis químico complementario realizado en el año 2025. No existió manipulación directa de las variables independientes, sino que se observaron y analizaron en su contexto natural, evaluando la dinámica temporal de los nutrientes del suelo en función del tiempo y la precipitación.

### 9.2.2. *Investigación bibliografía*

La presente investigación se basa en la revisión, análisis e interpretación de información recopilada a partir de fuentes documentales, tales como artículos científicos, tesis y publicaciones académicas disponibles en bases de datos digitales, lo que permite comprender el comportamiento y la dinámica temporal de los nutrientes del suelo en sistemas de terrazas de banco. Esta revisión facilita el análisis de diferentes enfoques relacionados con la fertilidad del suelo, la influencia de la precipitación y las prácticas de conservación, aportando un sustento teórico y metodológico para el desarrollo del estudio en la terraza de banco N.º 3 del Campus Salache.

### **9.2.3. Investigación de campo**

La presente investigación es de tipo de campo, ya que se desarrolló directamente en el área de estudio correspondiente a la terraza de banco N.º 3 del Campus Salache. Se realizó una visita técnica para la delimitación del sitio y la recolección de muestras de suelo, siguiendo criterios de muestreo establecidos.

## **9.3. Variables de estudio**

### **9.3.1. Variable independiente**

Precipitación anual (mm) – período 2020–2025.

### **9.3.2. Variables dependientes**

#### **9.3.2.1. Macronutrientes.**

- Nitrógeno (N)
- Fósforo (P)
- Potasio (K)
- Calcio (Ca)
- Magnesio (Mg)
- Azufre (S)

#### **9.3.2.2. Micronutrientes.**

- Hierro (Fe)
- Zinc (Zn)
- Cobre (Cu)
- Manganeseo (Mn)

- Boro (B)

### **9.3.2.3. Otros parámetros.**

- pH
- Materia orgánica

## **9.4. Hipótesis**

### **Hipótesis nula ( $H_0$ ):**

No existe relación estadísticamente significativa entre la precipitación y la dinámica temporal de los macro y micronutrientes del suelo durante el período 2020–2025.

### **Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):**

Existe relación estadísticamente significativa entre la precipitación y la dinámica temporal de los macro y micronutrientes del suelo durante el período 2020–2025

## **9.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **9.5.1. *Análisis documental histórico***

Para la base de datos histórica se recopilaron informes técnicos institucionales correspondientes al período 2020–2024, con resultados de macro y micronutrientes del suelo.

### **9.5.2. *Muestreo y análisis de suelo (2025)***

Se recolectaron submuestras a una profundidad de 20 cm en zigzag. La muestra compuesta resultante fue colocada en fundas impermeables, correctamente etiquetada y enviada al Laboratorio de Suelos del INIAP para su análisis mediante métodos estandarizados.

### **9.5.3. *Datos de precipitación***

Los registros históricos de precipitación del período 2020–2025 fueron obtenidos de la estación meteorológica Rumipampa–Salcedo (INAMHI). Se consideraron datos acumulados anuales para su posterior análisis estadístico y correlacional con las variables químicas del suelo.

## **9.6. Procesamiento y análisis estadístico de datos**

### **9.6.1. Organización**

Se utilizó Microsoft Excel para la creación de la matriz de datos y el cálculo de variaciones porcentuales interanuales.

### **9.6.2. Estadística Descriptiva**

Se calcularon medias, desviaciones estándar y coeficientes de variación para caracterizar la volatilidad de los nutrientes.

### **9.6.3. Estadística Inferencial (InfoStat)**

Se aplicó el Análisis de Correlación de Pearson para cuantificar la asociación lineal entre la precipitación y las variables edáficas. Los resultados se interpretaron bajo un nivel de significancia de  $p < 0,05$ , graficando únicamente las tendencias que presentaron significancia estadística con sus respectivos coeficientes de determinación ( $R^2$ ).

Para la interpretación del coeficiente de correlación ( $r$ ), se utilizó la siguiente escala de magnitud:

- 0,00 – 0,29: Correlación débil.
- 0,30 – 0,59: Correlación moderada.
- 0,60 – 0,79: Correlación fuerte.
- 0,80 – 1,00: Correlación muy fuerte.

Asimismo, el signo del coeficiente indicó la dirección de la relación:

- Positivo (+): Relación directa.
- Negativo (-): Relación inversa.

## **10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **10.1. Caracterización del estado actual del suelo**

#### **Análisis**

De acuerdo a la tabla 3, los resultados del análisis químico del suelo evidenciaron un pH de 9,06, clasificándose como fuertemente alcalino, el contenido de materia orgánica fue bajo (1,05 %). En cuanto a los macronutrientes el nitrógeno (N) presentó niveles bajos (9 ppm), mientras que el fósforo (P) (53,92 ppm) y el potasio (K) (3,32 meq/100g) mostraron concentraciones altas. Los micronutrientes hierro (71 ppm), manganeso (22,90 ppm), zinc (4,60 ppm), cobre (3,80 ppm) y boro (1,10 ppm) se encuentran dentro de rangos adecuados.

#### **Discusión**

El suelo analizado presenta una adecuada reserva nutricional en varios elementos esenciales; sin embargo, la elevada alcalinidad y el bajo contenido de materia orgánica son condiciones que influyen directamente en la dinámica y disponibilidad de los nutrientes. El pH también es un indicador de múltiples propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, constituye uno de los factores más determinantes en los procesos químicos del suelo, ya que es el indicador principal en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la solubilidad, movilidad, disponibilidad y de otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo (FAO, s. f.; INTAGRI S.C., 2018).

En suelos alcalinos, varios micronutrientes tienden a precipitar o formar compuestos poco solubles, lo que puede reducir su absorción efectiva por las plantas.

**Tabla 3.** Resultados del análisis químico del suelo en la terraza de Banco N.º 3, campus Salache 2025.

<b>Parámetros analizados</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
<b>N</b>	ppm	9,00
<b>P</b>	ppm	53,92
<b>K</b>	meq/100g	3,32
<b>S</b>	ppm	10,76
<b>Ca</b>	meq/100g	46,65
<b>Mg</b>	meq/100g	9,98
<b>B</b>	ppm	1,10
<b>Zn</b>	Ppm	4,60
<b>Cu</b>	Ppm	3,80
<b>Fe</b>	Ppm	71,00
<b>Mn</b>	Ppm	22,90
<b>Ph</b>		9,06
<b>MO</b>	%	1,05

meq/100g= miliequivalentes por 100 gramos  
ppm= partes por millón

**Elaborado por:** Guaita T. (2026).

## 10.2. Comportamiento temporal de la precipitación del área de estudio

### Análisis

La precipitación anual presentó variaciones interanuales durante el periodo 2020–2025, registrándose el valor más alto en 2025 (618,7 mm) y el más bajo en 2024 (416,2 mm). La media del periodo fue de 492,65 mm, evidenciando fluctuaciones en el régimen hídrico del área de estudio ver tabla 4.

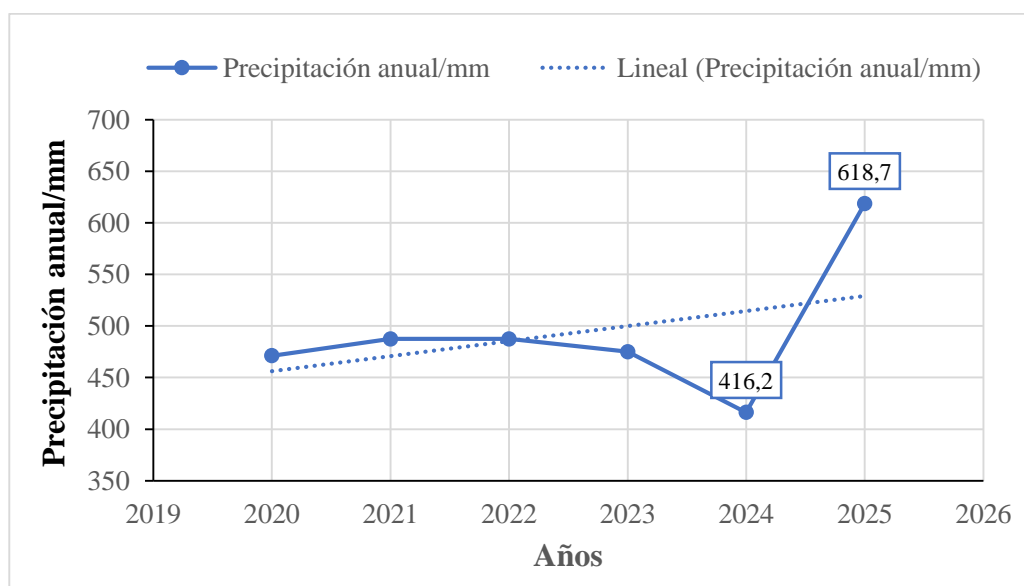
**Tabla 4.** *Parámetros de precipitación anual registrada durante el periodo de estudio*

<b>Año</b>	<b>Precipitación anual</b>
2020	471,1 mm
2021	487,4 mm
2022	487,4 mm
2023	475,1 mm
2024	416,2 mm
2025	618,7 mm
<b>Media total</b>	<b>492,65 mm</b>

**Fuente:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Ecuador. Datos de precipitación anual.

**Elaborado por:** Guaita T. (2026).

**Figura 3.** *Comportamiento histórico de la precipitación anual (2020–2025) en el área de estudio*



**Elaborado por:** Guaita T. (2026).

## Discusión

Las variaciones observadas podrían estar asociadas a cambios en los patrones climáticos regionales. Según reportes del INAMHI (2026) en los últimos años se han registrado eventos de variabilidad climática que influyen en la distribución de las precipitaciones en la región andina. Estas variaciones son relevantes, ya que la disponibilidad de agua influye directamente en la movilidad de nutrientes y en procesos de lixiviación, mineralización y acumulación de materia orgánica

### 10.1. Dinámica temporal de las variables edáficas macro-micronutrientes, pH y MO

Este apartado se analizó la dinámica temporal de la fertilidad en la Terraza de Banco N.º 3 durante el periodo 2020-2025. Se evaluó la estabilidad de los parámetros químicos para identificar tendencias de degradación o acumulación de nutrientes.

#### 10.1.1. Registro histórico de datos edáficos 2020-2025

Con el fin de analizar la dinámica temporal de los nutrientes del suelo, se presenta el registro histórico de macronutrientes, micronutrientes, pH y materia orgánica correspondiente al período 2020–2025.

**Tabla 5.** Registro histórico del contenido de macro y micronutrientes, pH y MO del suelo 2020-2025.

Parámetros	Unidad	Resultado anual					
		2020	2021	2022	2023	2024	2025
<b>N</b>	ppm	17,00	64,00	1,00	11,25	12,65	9,00
<b>P</b>	ppm	10,00	33,00	60,00	78,74	81,50	53,92
<b>K</b>	meq/100g	1,92	3,48	3,95	3,75	4,76	3,32
<b>Ca</b>	meq/100g	22,20	18,62	22,66	33,66	18,65	46,65
<b>Mg</b>	meq/100g	2,03	3,94	3,73	4,13	4,03	9,98
<b>S</b>	ppm	35,00	10,00	16,50	21,50	13,52	10,76

<b>B</b>	ppm	1,20	1,11	1,12	1,56	1,54	1,10
<b>Zn</b>	Ppm	3,60	2,30	3,00	2,74	2,50	4,60
<b>Cu</b>	Ppm	6,70	5,00	5,10	2,54	3,40	3,80
<b>Fe</b>	Ppm	15,00	10,00	5,70	19,86	11,00	71,00
<b>Mn</b>	Ppm	3,20	2,00	4,90	5,70	1,60	22,90
<b>Ph</b>		10,40	9,47	9,50	9,16	9,28	9,06
<b>MO</b>	%	1,00	0,70	0,50	0,92	0,85	1,05

meq/100g= miliequivalentes por 100 gramos

ppm= partes por millón

**Elaborado por:** Guaita T. (2026).

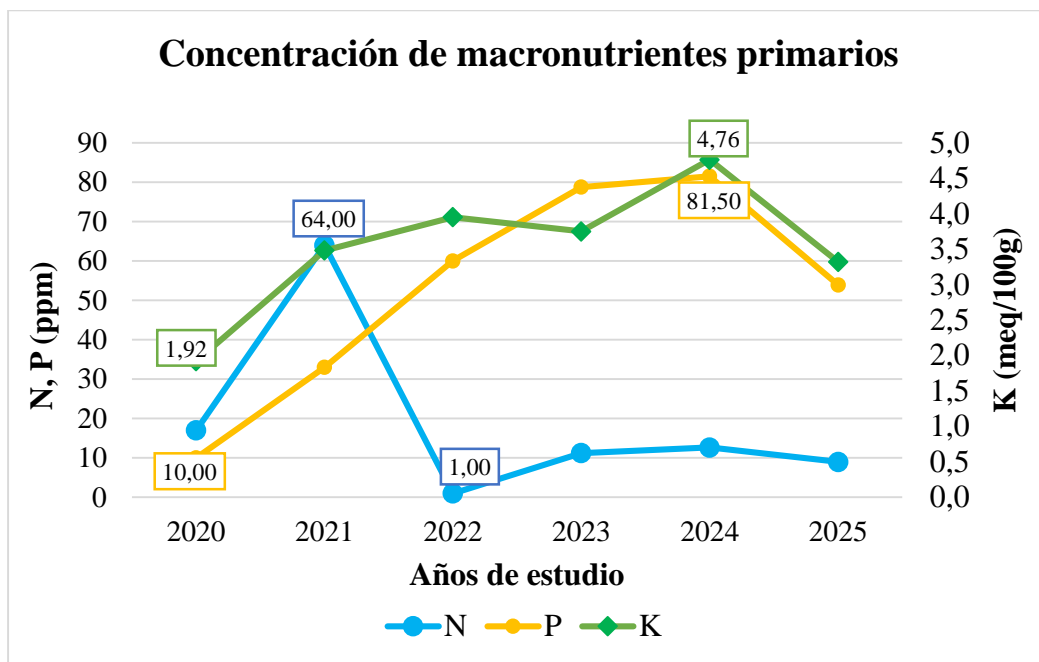
La Tabla 5 presenta el registro histórico de los macronutrientes, micronutrientes, pH y materia orgánica del suelo durante el período 2020–2025. En términos generales, se evidencia variabilidad interanual en la mayoría de los parámetros evaluados. Los macronutrientes muestran fluctuaciones importantes a lo largo del período de estudio, particularmente en nitrógeno y fósforo. De igual manera, los micronutrientes presentan cambios marcados en ciertos años, destacándose variaciones en hierro y manganeso.

El pH mantiene valores alcalinos durante todo el período evaluado, mientras que la materia orgánica presenta ligeras variaciones porcentuales.

Con el fin de facilitar la interpretación de los resultados, los parámetros fueron agrupados para su análisis en macronutrientes, micronutrientes y variables edáficas (pH y materia orgánica), cuyos comportamientos se presentan en las figuras siguientes.

### ***10.1.2. Dinámica temporal de los macronutrientes***

**Figura 4.** Dinámica temporal de los macronutrientes primarios (N, P, K) durante el periodo 2020-2025.



**Elaborado por:** Guaita T. (2026).

### Análisis

La Figura 4 muestra la variación interanual de las concentraciones de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en el suelo de la terraza de banco N.º 3 del campus Salache durante el período 2020–2025.

El nitrógeno (N) presenta la mayor amplitud de variación entre los nutrientes evaluados, registrando un valor máximo de 64 ppm en el año 2021 y un valor mínimo de 1 ppm en el año 2022, lo que representa una diferencia de 63 ppm en un intervalo de un año. Posteriormente, los valores muestran una recuperación parcial en 2023 y 2024, sin alcanzar nuevamente el máximo registrado. Esta oscilación abrupta evidencia un comportamiento altamente dinámico.

El fósforo (P) muestra una tendencia creciente desde el 2020 (37,16 ppm) hasta alcanzar su máximo en el año 2024 (81,50 ppm). En 2025 se observa una disminución a 53,92 ppm. La

diferencia entre el valor máximo y mínimo es de aproximadamente 44 ppm, lo que indica una variabilidad considerable pero más progresiva que la del nitrógeno.

El potasio (K) presenta fluctuaciones moderadas, con un valor mínimo de 2,08 meq/100 g en el año 2022 y un máximo de 4,76 meq/100 g en 2024. Con una diferencia de 2,68 meq/100 g, mostrando un comportamiento más estable en comparación con el nitrógeno.

### **Discusión**

La marcada diferencia entre el valor máximo (64 ppm) y mínimo (1 ppm) de nitrógeno coincide con lo descrito en Weil & Brady (2017) donde se establece que el nitrógeno es el nutriente más dinámico del suelo debido a su susceptibilidad a procesos de lixiviación, volatilización y transformaciones microbianas. La forma nítrica ( $\text{NO}_3^-$ ), en particular, puede desplazarse fácilmente en el perfil del suelo, generando pérdidas rápidas bajo determinadas condiciones ambientales.

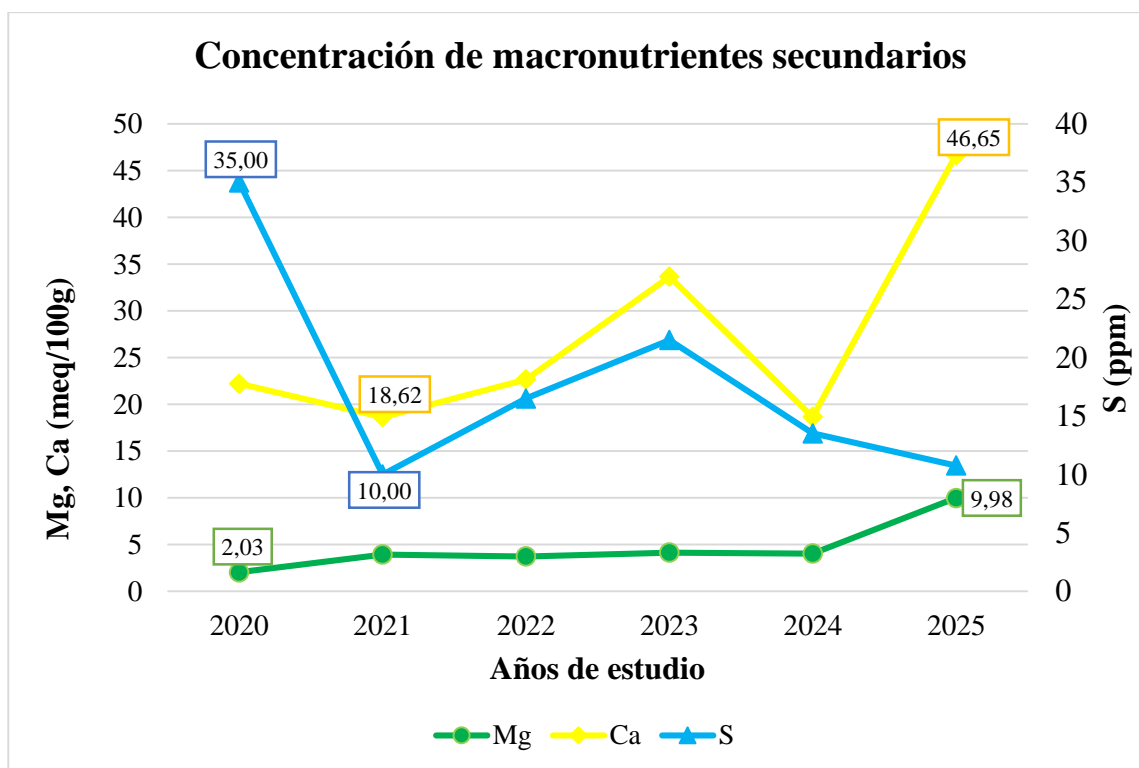
Asimismo, la FAO (2015) en su informe sobre el estado de los recursos del suelo, señala que la disponibilidad de nitrógeno en sistemas agrícolas puede presentar fluctuaciones abruptas cuando existen variaciones climáticas o cambios en el manejo del suelo. Esto respalda el comportamiento observado entre 2021 y 2022 en la terraza evaluada.

En contraste, el fósforo mostró una variación más progresiva. De acuerdo con Echeverri (2018), el fósforo posee baja movilidad en el suelo debido a procesos de fijación química, especialmente en suelos con pH extremos o presencia elevada de calcio. Esta característica explica su tendencia acumulativa hasta 2024 y la ausencia de caídas tan abruptas como las observadas en nitrógeno.

Respecto al potasio, la variabilidad moderada registrada concuerda con la literatura que indica que este nutriente se encuentra en equilibrio entre formas intercambiables y estructurales en

el complejo de intercambio catiónico del suelo. Weil & Brady (2017) señalan que, aunque el potasio puede fluctuar por extracción de cultivos, generalmente no presenta pérdidas tan bruscas como el nitrógeno, lo que coincide con el comportamiento observado en la terraza de banco N.º 3.

**Figura 5.** Dinámica temporal de los macronutrientes secundarios (S, Mg, Ca) durante el periodo 2020-2025.



**Elaborado por:** Guaita T. (2026).

### **Análisis**

La Figura 5 representa la variación temporal de las concentraciones de calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) en el suelo de la terraza de banco N.º 3 durante el periodo 2020–2025.

El magnesio (Mg) muestra una tendencia ascendente a lo largo del periodo evaluado. En 2020 registra una concentración de 2,03 meq/100g, incrementándose progresivamente hasta

alcanzar 9,98 meq/100g en 2025. No se observan descensos marcados, sino un aumento continuo con ligeras variaciones interanuales, evidenciando un comportamiento acumulativo.

El calcio (Ca) presenta una dinámica fluctuante. En el año 2020 se registran valores intermedios, seguido de una disminución en 2021 (18,62 meq/100g) siendo el valor más bajo. Posteriormente se observa un incremento hasta 2023, una reducción en 2024 y un aumento significativo en 2025, alcanzando el valor máximo del periodo (46,65 meq/100 g). Esta variación evidencia oscilaciones marcadas en comparación con el comportamiento más estable del Mg.

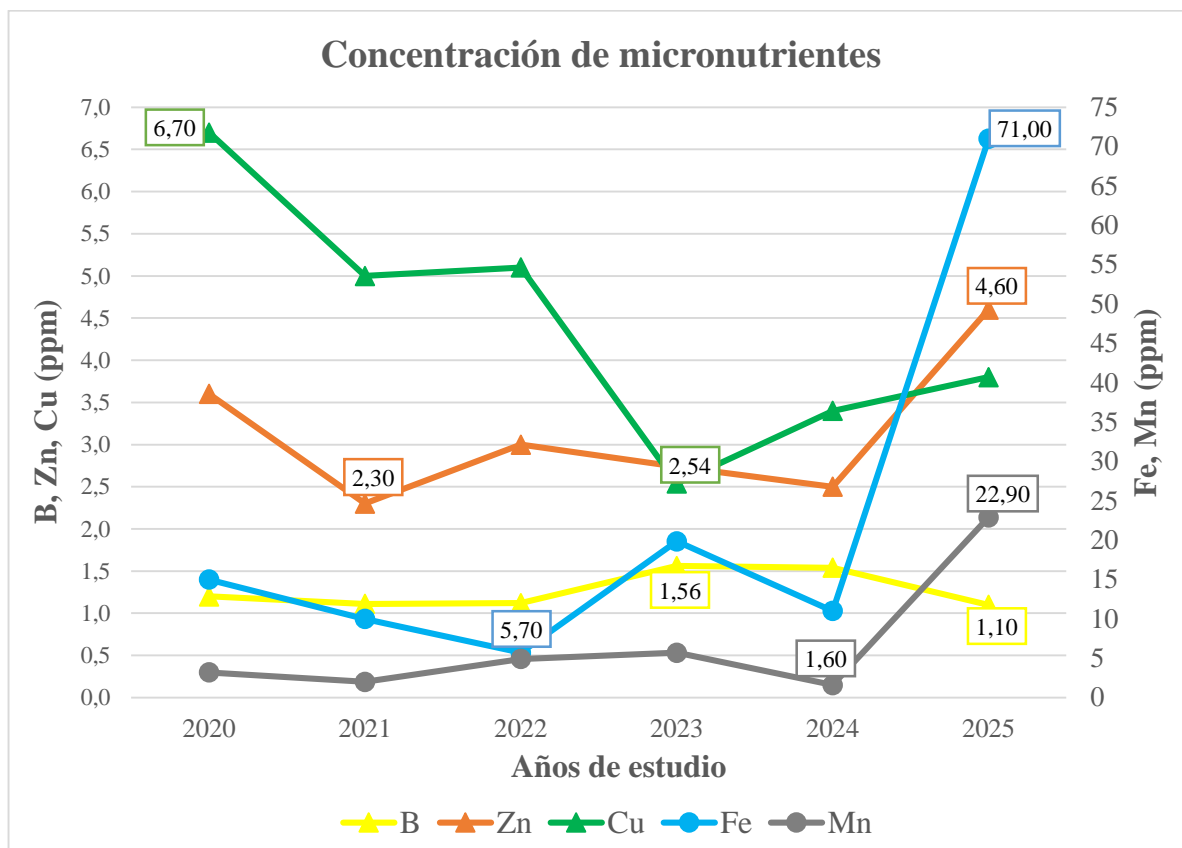
Por su parte, el azufre (S) presenta la mayor variabilidad relativa. Se observa una disminución pronunciada entre 2020 y 2021 (de 35 ppm a 10 ppm), un incremento progresivo hasta 2023, seguido de una nueva reducción hacia 2025. El patrón evidencia cambios abruptos entre años consecutivos.

### ***Discusión***

La dinámica temporal observada sugiere que la movilidad de los nutrientes está determinada por su naturaleza química y por las condiciones ambientales predominantes. Mientras el Mg muestra estabilidad y acumulación progresiva, el Ca presenta oscilaciones moderadas y el S evidencia mayor sensibilidad a procesos de lixiviación. Estos resultados coinciden con lo reportado en estudios recientes sobre dinámica de nutrientes en suelos agrícolas, donde se señala que la variabilidad interanual de macronutrientes secundarios está estrechamente vinculada al régimen pluviométrico y a la capacidad de retención del suelo (FAO, 2022).

#### ***10.1.3. Dinámica temporal de los micronutrientes***

**Figura 6.** Dinámica temporal de los micronutrientes durante el periodo 2020-2025.



**Elaborado por:** Guaita T. (2026).

La Figura 6 muestra la variación temporal de las concentraciones de boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y manganeso (Mn) en el suelo de la terraza de banco N.º 3 durante el periodo 2020–2025.

El boro (B) presenta valores relativamente estables a lo largo del periodo, con ligeras fluctuaciones. Se observa un incremento progresivo entre 2021 y 2023 (alcanzando aproximadamente 1,56 ppm), seguido de una disminución hacia 2025 (1,10 ppm). En general, el comportamiento es moderadamente estable sin cambios abruptos.

El zinc (Zn) muestra variaciones interanuales más marcadas. Disminuye de 2020 a 2021 (2,30 ppm), aumenta en 2022, desciende ligeramente en 2023–2024 y presenta un incremento considerable en 2025 (4,60 ppm), registrando su valor máximo en el periodo evaluado.

El cobre (Cu) evidencia una tendencia descendente desde 2020 (6,70 ppm) hasta 2023 (2,54 ppm), seguida de una recuperación gradual en 2024 y 2025 (aproximadamente 3,8 ppm). Se observa una reducción importante en la primera mitad del periodo.

El hierro (Fe) presenta el comportamiento más variable. Tras valores relativamente moderados entre el 2020 y 2024, siendo el valor más bajo en 2022 (5,70 ppm), en el año 2025 se registra un incremento alcanzando un valor de 71,00 ppm, constituyendo el valor más alto del periodo.

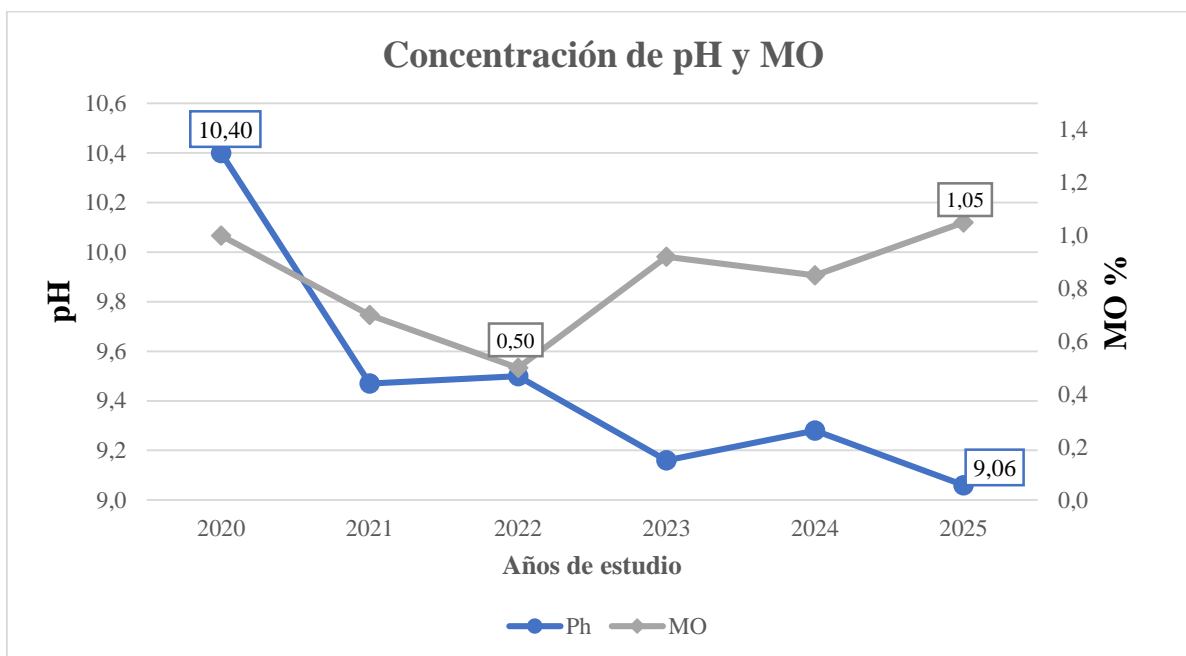
El manganeso (Mn) mantiene concentraciones bajas y relativamente estables entre 2020 y 2024 (1,60 ppm), pero en 2025 muestra un aumento significativo alcanzando un valor de 22,90 ppm.

## **Discusión**

Los resultados presentados en la Figura 6 evidencian que el hierro (Fe) y el manganeso (Mn) registran las concentraciones más elevadas en comparación con boro (B), zinc (Zn) y cobre (Cu), lo cual puede explicarse por su comportamiento geoquímico en el suelo y su alta sensibilidad a las condiciones edáficas. En particular, Fe y Mn son elementos cuya disponibilidad está fuertemente influenciada por procesos de oxidación-reducción (redox), los cuales dependen del contenido de humedad, aireación y pH del suelo. En condiciones de mayor humedad o saturación, estos elementos tienden a encontrarse en formas más solubles, incrementando su concentración disponible (Alloway, 2008).

### ***10.1.4. Dinámica temporal del pH y MO***

**Figura 7.** Dinámica temporal del pH y la Materia Orgánica en el periodo 2020-2025



**Elaborado por:** Guaita T. (2026).

### **Análisis**

La Figura 7 muestra la dinámica temporal del pH y la materia orgánica (MO) en el suelo de la terraza N.º 3 durante el periodo 2020–2025.

Los valores de pH oscilan entre 10,40 (2020) y 9,06 (2025), evidenciando una tendencia general descendente. No obstante, en todo el periodo evaluado el suelo se mantiene en un rango fuertemente alcalino, considerando que valores superiores a 8,5 se clasifican dentro de esta categoría. A pesar de la disminución progresiva del pH, el suelo continúa presentando una reacción altamente alcalina, lo cual indica una elevada presencia de bases intercambiables y posiblemente carbonatos en el sistema edáfico de la terraza N.º 3.

En cuanto a la materia orgánica, se observa una disminución hasta 2022 (0,50 %), seguida de una recuperación gradual hasta alcanzar 1,05 % en 2025. Estos valores indican un contenido

bajo de materia orgánica durante todo el periodo, aunque con una tendencia de mejora hacia los últimos años.

Al relacionar estos resultados con la dinámica de los micronutrientes evaluados previamente (B, Zn, Cu, Fe y Mn), se puede observar que, a pesar de que hierro y manganeso presentan concentraciones más elevadas, la condición fuertemente alcalina del suelo podría influir en su disponibilidad química. En suelos con pH elevado, es común que micronutrientes metálicos como Fe, Mn, Zn y Cu tiendan a encontrarse en formas menos solubles.

Por lo tanto, el comportamiento de los micronutrientes en la terraza N.º 3 podría estar condicionado no solo por su concentración total, sino también por la reacción alcalina del suelo y el bajo contenido de materia orgánica, factores que influyen en su movilidad y transformación química.

## **Discusión**

La condición fuertemente alcalina del suelo de la terraza N.º 3 puede influir directamente en la disponibilidad de los micronutrientes evaluados. En suelos con pH superior a 8,5, elementos como hierro, manganeso, zinc y cobre tienden a disminuir su solubilidad debido a procesos de precipitación y adsorción, lo que puede limitar su disponibilidad para las plantas, aun cuando sus concentraciones totales sean elevadas (Havlin et al., 2019). En este contexto, el incremento progresivo de la materia orgánica observado hacia 2025 podría contribuir a mejorar la disponibilidad de estos micronutrientes mediante la formación de complejos orgánicos que favorecen su estabilidad en solución, tal como lo señala la (FAO, 2022).

### ***10.1.5. Análisis de variabilidad y niveles de volatilidad***

A partir de los datos históricos, se aplicó un análisis de estadística descriptiva en InfoStat. Se utilizó el Coeficiente de Variación (CV %) como indicador principal para categorizar la volatilidad de cada variable (Tabla 6).

**Tabla 6.** Medidas de tendencia central, dispersión y nivel de volatilidad de las variables

Variable	n	Media	D.E.	CV (%)	Nivel de volatilidad
N	6	19,15	22,60	118,00	Extremadamente alta
P	6	52,86	27,47	51,97	Alta
K	6	3,53	0,94	26,50	Moderada
S	6	17,88	9,38	52,46	Alta
Ca	6	27,07	11,07	40,87	Alta
Mg	6	4,64	2,73	58,85	Alta
B	6	1,27	0,22	17,19	Baja
Zn	6	3,12	0,85	27,30	Moderada
Cu	6	4,42	1,48	33,47	Moderada
Fe	6	22,09	24,43	110,6	Extremadamente alta
Mn	6	6,72	8,09	120,41	Extremadamente alta
Ph	6	9,48	0,48	5,09	Muy baja
MO	6	0,84	0,21	24,57	Moderada

**Elaborado por:** Guaita T. (2026).

El análisis revela que el Nitrógeno, Hierro y Manganeso son los elementos con mayor volatilidad, superando el 100% en su CV. Esto demuestra que la Terraza N.º 3 tiene una baja capacidad de retención, permitiendo fluctuaciones drásticas (como la caída del N de 64 ppm a 9 ppm) que comprometen la nutrición vegetal a largo plazo.

Contrario a los nutrientes, el pH se mantiene más estable (CV 5,09%). Esta persistencia en rangos fuertemente alcalinos indica que el suelo posee un fuerte poder amortiguador, lo que constituye una limitante química estructural que no varía significativamente con el tiempo. El Fósforo presenta una volatilidad alta (51,97%) con una tendencia acumulativa hasta el año 2024. Este comportamiento sugiere que, bajo las condiciones alcalinas del sitio, el elemento tiende a fijarse y acumularse en lugar de lavarse con facilidad.

## **Discusión**

La variación temporal observada en los macronutrientes y micronutrientes del suelo durante el período 2020–2025 refleja una dinámica edáfica influenciada por factores climáticos, químicos y de manejo.

Los valores elevados de pH evidencian una condición de alcalinidad que puede disminuir la disponibilidad de micronutrientes como Fe, Mn y Zn, debido a la formación de compuestos poco solubles en medios alcalinos. Estudios recientes señalan que el pH es un factor determinante en la solubilidad y movilidad de micronutrientes metálicos, afectando su absorción por las plantas (Lorca Torrejón, 2015).

Los bajos contenidos de materia orgánica podrían estar limitando la capacidad de intercambio catiónico y la retención de nutrientes, reduciendo la estabilidad química del suelo. La literatura actual destaca que la materia orgánica cumple un rol esencial en la regulación de la fertilidad y en la disponibilidad progresiva de nutrientes (Lal, 2020).

La variabilidad interanual del nitrógeno puede asociarse a su alta movilidad en el suelo y a procesos de mineralización y lixiviación influenciados por condiciones climáticas. Investigaciones recientes indican que la dinámica del nitrógeno está estrechamente relacionada con factores ambientales y prácticas de manejo (Zhang et al., 2015).

### **10.2. Influencia de la precipitación sobre la dinámica de los nutrientes**

La variabilidad química detectada en la Terraza de Banco N.º 3 responde a un patrón de dependencia directa con el régimen pluvial del sector. Los resultados confirman que el aporte hídrico es el principal motor de cambio en la disponibilidad de los elementos con mayor volatilidad.

### 10.2.1. Análisis estadístico de correlación de Pearson entre variables

Se identificó la influencia de la precipitación sobre las variables edáficas mediante el coeficiente de Pearson (r) Tabla 7.

**Tabla 7.** Coeficientes de correlación de Pearson entre la precipitación y parámetros del suelo.

Relación precipitación vs.	Coefficiente (r)	p-valor
N	-0,1	0,8547 ns
P	-0,16	0,7552 ns
K	-0,29	0,5751 ns
S	-0,3	0,5622 ns
B	-0,6	0,2083 ns
Ca	0,85	<b>0,031 *</b>
Mg	0,87	<b>0,0261*</b>
Zn	0,82	<b>0,0451*</b>
Cu	-0,05	0,9309
Fe	0,9	<b>0,0156*</b>
Mn	0,94	<b>0,0049**</b>
Ph	-0,32	0,5362 ns
MO	0,34	0,5116 ns

\*\* Altamente significativo ( $p < 0,01$ ).

\* Significativo ( $p < 0,05$ ).

ns: No significativo ( $p > 0,05$ ).

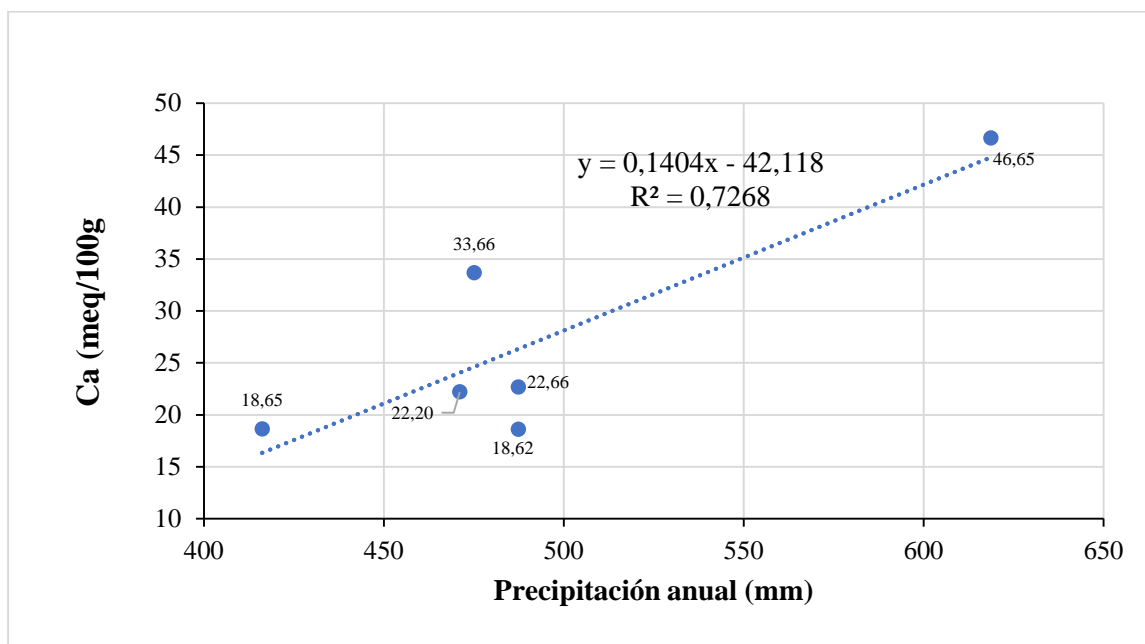
**Elaborado por:** Guaita T. (2026).

El análisis estadístico revela una marcada polarización en la respuesta de los elementos. Se identifican cinco variables (Mn, Fe, Mg, Ca y Zn) con una dependencia lineal positiva y significativa ( $p < 0,05$ ), lo que indica que el aporte hídrico es el principal dinamizador de su disponibilidad. Por el contrario, el pH ( $-0,32^{\{ns\}}$ ) y el Nitrógeno ( $-0,10^{\{ns\}}$ ) muestran una independencia total respecto a la precipitación, sugiriendo que su comportamiento responde a factores intrínsecos del suelo o de manejo, más que a variables climáticas.

### 10.2.2. Análisis de regresión lineal para las variables significativas

Para las variables con dependencia estadística, se modeló su comportamiento mediante diagramas de dispersión para cuantificar, a través del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), qué porcentaje de su variabilidad es explicado por la lluvia.

**Figura 8.** Correlación lineal entre la precipitación anual (mm) y la concentración de Calcio en el suelo.



**Elaborado por:** Guaita T. (2026).

### Análisis

El análisis de regresión lineal simple (Figura 4) demuestra una correlación positiva moderada-fuerte entre la precipitación anual y el contenido de calcio en el suelo. El coeficiente de determinación ( $R^2 = 0,7268$ ) indica el 72,68% de la variabilidad del calcio en las muestras de suelo es explicada por el régimen de lluvias de la zona.

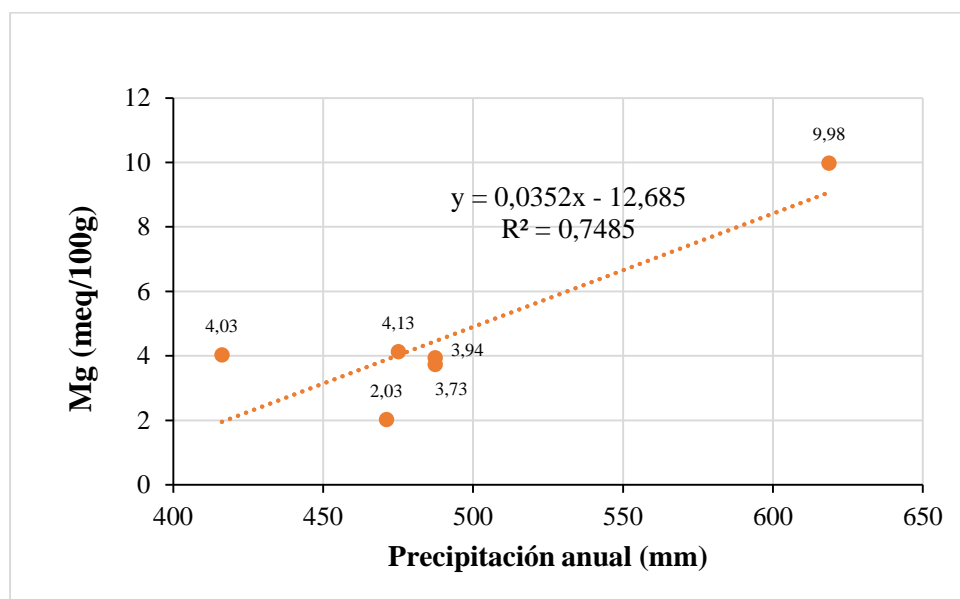
Según la ecuación de la recta ( $y = 0,1404x - 42,118$ ), se establece que por cada incremento unitario (1 mm) en la precipitación, la concentración de calcio aumenta en promedio 0,1404

meq/100g. Se observa que los valores más altos de calcio (46,65 meq/100g) coinciden con el nivel máximo de precipitación registrado (625 mm), mientras que en el rango de 470 a 490 mm existe una dispersión de datos que pueden estar influenciados por factores edáficos secundarios.

### Discusión

El elevado valor de  $R^2$  confirma que la precipitación es el factor determinante predominante en la disponibilidad de calcio en el área de estudio. Técnicamente, esta relación directa sugiere que, en el rango evaluado (415-625 mm), la humedad actúa primordialmente como un agente de meteorización química de minerales primarios, liberando Ca sin alcanzar el umbral de lixiviación o lavado de bases. Este comportamiento coincide con lo expuesto por Brady & Weil (2017), quienes señalan que, en climas subhúmedos, la hidrólisis mineral aumenta la disponibilidad de nutrientes.

**Figura 9.** Correlación lineal entre la precipitación anual (mm) y la concentración de Magnesio (Mg) en el suelo.



Elaborado por: Guaita T. (2026).

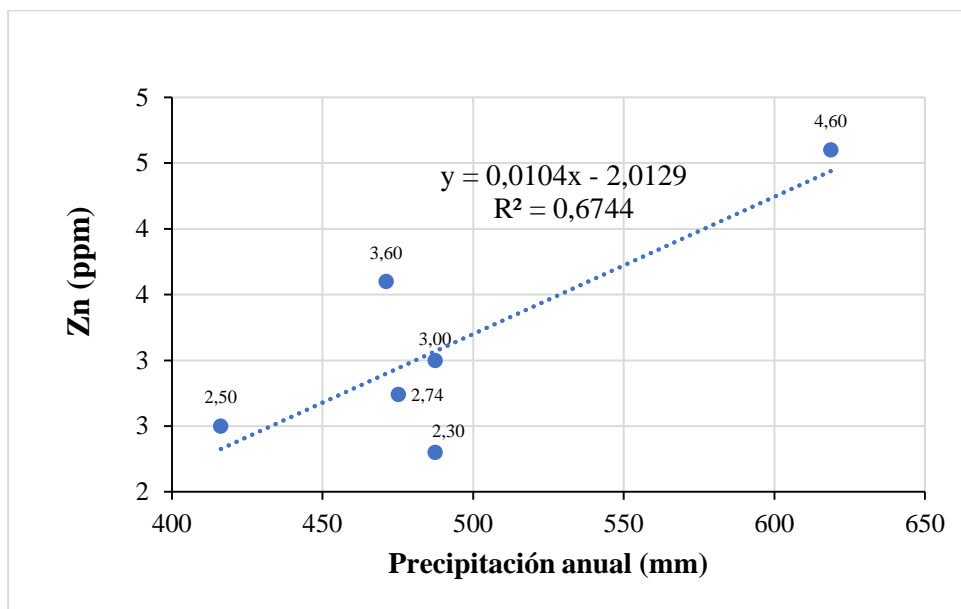
## **Análisis**

La Figura 5 muestra la relación entre la precipitación anual y la concentración de Magnesio (Mg) en el suelo, evidenciando una correlación lineal positiva fuerte respaldada por un coeficiente de correlación de Pearson de  $r = 0,8651$ . El coeficiente de determinación obtenido es de  $R^2 = 0,7485$ , lo que indica que el 74,85% de la varianza en los niveles de magnesio intercambiable es explicada por el régimen pluvial. Según la ecuación de la recta ( $y = 0,0352x - 12,685$ ), por cada incremento de 100 mm en la precipitación, el contenido de Mg aumenta en promedio 3,52 meq/100g. Los valores observados oscilan entre un mínimo de 2,03 meq/100g (a 470 mm) y un máximo de 9,98 meq/100g (a 620 mm), demostrando que la mayor disponibilidad de este nutriente coincide con los niveles máximos de lluvia registrados.

## **Discusión**

El estudio confirma que la precipitación es un factor determinante predominante en la dinámica del magnesio para el área de estudio. Técnicamente, esta relación directa contradice la expectativa común de lixiviación ya que se menciona que las pérdidas por lixiviación dependen de la concentración del elemento en el suelo y del régimen lluvia siendo mayor lixiviado, en zonas húmedas (Intagri S.C., 2015), sugiriendo que en el rango evaluado (415-625 mm), la humedad actúa primordialmente como un agente de meteorización química.

**Figura 10.** Correlación lineal entre la precipitación anual (mm) y la concentración de Zinc (Zn) en el suelo.



**Elaborado por:** Guaita T. (2026).

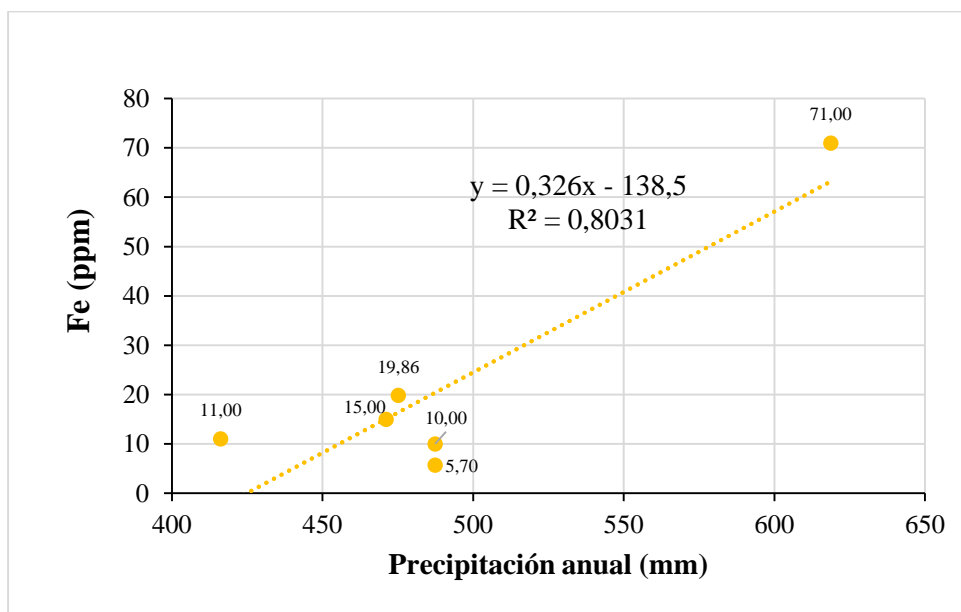
### Análisis

La Figura 6 muestra la correlación lineal entre la precipitación anual y la concentración de Zinc (Zn) en el suelo. Los resultados indican una correlación positiva moderada-fuerte, con un coeficiente de correlación de Pearson de  $r = 0,8212$ . El coeficiente de determinación obtenido es  $R^2 = 0,6744$ , lo que significa que el 67,44% de la variabilidad del Zinc en estado disponible es explicada por el volumen de lluvia anual. De acuerdo con la ecuación de la recta ( $y = 0,0104x - 2,0129$ ), por cada incremento de 100 mm en la precipitación, el contenido de Zn aumenta en promedio 1,04 ppm. Los valores registrados oscilan entre un mínimo de 2,30 ppm (a 485 mm) y un máximo de 4,60 ppm (a 625 mm).

### Discusión

La relación positiva observada sugiere que, en el rango de precipitación evaluado, el incremento de la humedad del suelo potencia la solubilidad y disponibilidad del Zinc sin alcanzar el umbral de lixiviación. Según Noulas et al. (2018), en ecosistemas con limitaciones hídricas, el aumento de la humedad facilita la liberación de Zn, desde la fracción mineral del suelo hacia la solución, optimizando su movilidad. Este fenómeno de acumulación superficial en climas subhúmedos es corroborado por Moreno-Lora y Delgado como se citó en Hamzah Saleem et al. (2022) quienes sostienen que el contenido de humedad y la conductividad eléctrica, pueden influir en la disponibilidad de Zn en el suelo.

**Figura 11.** Correlación lineal entre la precipitación anual (mm) y la concentración de Hierro (Fe) en el suelo.



**Elaborado por:** Guaita T. (2026).

### Análisis

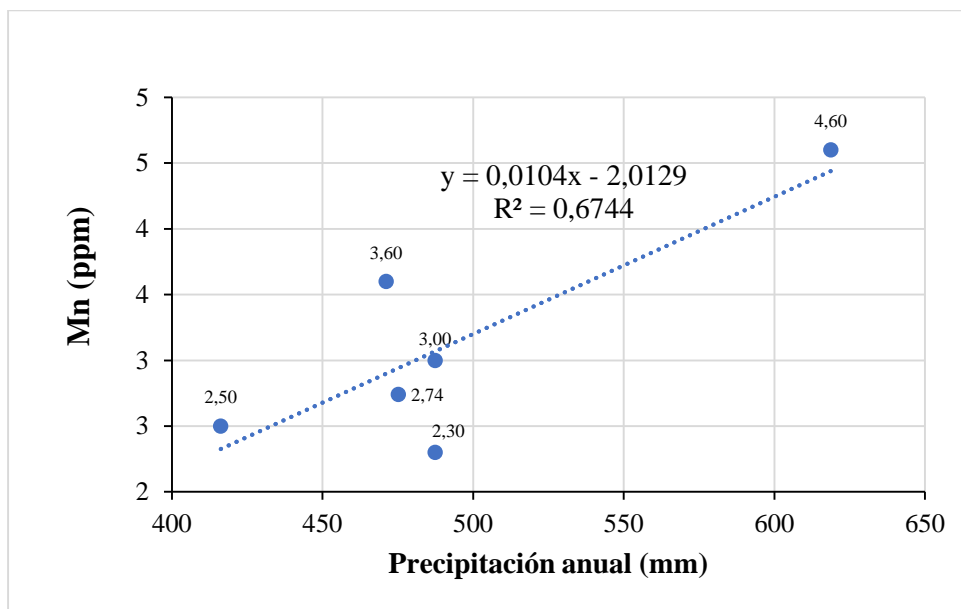
La Figura 7 muestra la correlación lineal entre la precipitación anual y la concentración de Hierro (Fe) en el suelo. Los resultados indican una correlación positiva muy fuerte, respaldada por

un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0,8031$ , lo que significa que el 80,31% de la variabilidad del hierro disponible es explicada por el régimen pluvial. Según la ecuación de la recta ( $y = 0,326x - 138,5$ ), por cada incremento de 100 mm en la precipitación, el contenido de Fe aumenta en promedio 32,6 ppm. Los valores registrados fluctúan desde un mínimo de 5,70 ppm (a 485 mm) hasta un valor máximo de 71,00 ppm cuando la precipitación alcanza los 625 mm.

## **Discusión**

La relación directamente proporcional entre la precipitación y el hierro sugiere que la mayor disponibilidad de agua acelera la meteorización de minerales ferromagnesianos, liberando el metal hacia la solución del suelo. De acuerdo con Noulas et al. (2018), la solubilidad de micronutrientes como el hierro aumenta con la humedad disponible en el perfil, especialmente en suelos donde el balance hídrico favorece la hidrólisis mineral antes de generar condiciones de lavado extremo. Esta acumulación en zonas con precipitación moderada es corroborada por el modelo de Slessarev et al. (2016), el cual sostiene que, en regiones subhúmedas, la evapotranspiración limita la lixiviación profunda de cationes, permitiendo que el hierro se concentre en los horizontes superficiales.

**Figura 12.** Correlación lineal entre la precipitación anual (mm) y la concentración de Manganeso (Mn) en el suelo.



**Elaborado por:** Guaita T. (2026).

### Análisis

La Figura 8 detalla la correlación lineal entre la precipitación anual y la concentración de Manganeso (Mn) en el suelo. Se observa una correlación positiva fuerte ( $r = 0,8212$ ), con un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0,6744$ , indicando que el 67,44% de la variabilidad de este micronutriente depende del régimen pluvial. La ecuación de la recta ( $y = 0,0104x - 2,0129$ ) establece que, por cada incremento de 100 mm en la precipitación, el contenido de Mn aumenta en 1,04 ppm. Los valores fluctúan desde un mínimo de 2,30 ppm (a 485 mm) hasta un máximo de 4,60 ppm (a 615 mm aproximadamente).

### Discusión

La relación proporcional entre el manganeso y la precipitación sugiere que, en el rango evaluado, el incremento de la humedad del suelo optimiza la solubilidad y liberación de micronutrientes desde la fracción mineral. De acuerdo con Khoshru et al. (2023) la precipitación y la humedad del suelo pueden afectar la movilidad de Mn al aumentar la disponibilidad de Mn en soluciones del suelo. Durante períodos húmedos, Mn puede disolverse en el agua del suelo y volverse más móvil, lo que puede conducir a la lixiviación y pérdida del suelo. Por el contrario, durante períodos secos, Mn puede inmovilizarse en minerales del suelo, reduciendo su disponibilidad para la absorción de las plantas.

## **11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **11.1 Conclusiones**

- La caracterización del estado actual del suelo en la Terraza de Banco N.º 3 durante el año 2025 evidenció una condición fuertemente alcalina (pH 9,06), bajo contenido de materia orgánica (1,05 %) y un comportamiento nutricional diferenciado, con nitrógeno en niveles bajos y fósforo y potasio en concentraciones elevadas. Estas condiciones reflejan limitaciones químicas estructurales que influyen directamente en la disponibilidad y estabilidad de los nutrientes.
- El análisis temporal del período 2020–2025 demostró una alta variabilidad en nitrógeno, hierro y manganeso (coeficientes de variación superiores al 100 %), lo que evidencia inestabilidad nutricional y baja capacidad de retención del sistema edáfico. En contraste, el pH presentó la menor variabilidad (CV 5,09 %), confirmando la persistencia de la alcalinidad como característica intrínseca del suelo.

- La precipitación anual se identificó como el principal factor modulador de la dinámica de ciertos nutrientes, mostrando correlaciones positivas significativas con calcio, magnesio, hierro, manganeso y zinc. Estos resultados confirman que la variabilidad pluviométrica influye de manera determinante en la disponibilidad y movilidad de estos elementos en el suelo.
- Desde el enfoque de recuperación edáfica, los resultados indican que la Terraza N.º 3 se encuentra en una etapa inicial de restauración, donde existen evidencias de movilización y acumulación de algunos nutrientes; sin embargo, la persistencia de la alcalinidad y el bajo contenido de materia orgánica evidencian que el suelo aún no alcanza condiciones de equilibrio y estabilidad funcional.
- La recuperación del suelo en este ecosistema constituye un proceso gradual y de mediano a largo plazo, condicionado por la interacción entre factores climáticos, químicos y biológicos, por lo que no puede considerarse inmediata ni lineal.

### **11.2. Recomendaciones**

- Implementar estrategias orientadas al incremento progresivo de la materia orgánica del suelo, mediante el uso de enmiendas orgánicas y conservación de cobertura vegetal, con el fin de mejorar la estabilidad química y reducir la volatilidad nutricional observada.
- Establecer un programa de monitoreo edáfico continuo a mediano y largo plazo (mínimo 5–10 años), que permita evaluar la evolución del proceso de recuperación y detectar cambios significativos en la fertilidad del suelo.
- Complementar los análisis químicos con estudios de conductividad eléctrica, salinidad y actividad biológica del suelo, considerando la persistencia de la alcalinidad estructural y su posible influencia en la disponibilidad de nutrientes.

- Incorporar la variabilidad pluviométrica en la planificación del manejo del suelo, priorizando prácticas que reduzcan pérdidas por lixiviación en años de mayor precipitación y favorezcan la estabilidad nutricional del sistema.
- Promover prácticas de manejo sostenible que no alteren el régimen hidrológico natural del área, dado que la disponibilidad hídrica se identificó como un factor determinante en la dinámica de los nutrientes evaluados.

## 11. BIBLIOGRAFIA

- Agricotec. (s. f.). *LA IMPORTANCIA DEL CALCIO (Ca) EN LOS CULTIVOS*. Agricotec.  
Recuperado 22 de febrero de 2026, de <https://agricotec.es/noticias/632/la-importancia-del-calcio-ca-en-los-cultivos>
- Agrotey. (2024, octubre 31). Importancia de los micronutrientes en las plantas. *AGROTEY*.  
<https://www.agrotey.com.mx/importancia-de-los-micronutrientes-en-las-plantas/>
- Alloway, B. J. (2008). Micronutrients and Crop Production: An Introduction. En B. J. Alloway (Ed.), *Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production* (pp. 1-39). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6860-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6860-7_1)
- Aranda, P., Planells, E., & Llopis, J. (2000). Magnesio. *Ars Pharmaceutica (Internet)*, 41(1), 91-100. <https://revistaseug.ugr.es/index.php/ars/article/view/5736>
- ARTAL Smart Agriculture. (2026, enero 23). La importancia de los micronutrientes en la agricultura. *ARTAL Smart Agriculture*. <https://www.artal.net/es/2026/01/la-importancia-de-los-micronutrientes-en-la-agricultura/>
- Cánepa Ramos, Y., & Trémols González, A. J. (2015). *RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS Y LA MANIFESTACIÓN DEL “FALSO OROBANCHE” EN CUBA.: IMPORTANCIA DEL AZUFRE EN LA AGRICULTURA*. 16(1), 78-85. [https://www.researchgate.net/profile/Amaury-Borges-Miranda/publication/366175735\\_Minimum\\_Sample\\_Size\\_to\\_Estimate\\_the\\_Concentration\\_of\\_Relevant\\_Analytes\\_in\\_the\\_Raw\\_Materials\\_Used\\_to\\_Make\\_Havana\\_Cigars/links/63949432e42faa7e75af165d/Minimum-Sample-Size-to-Estimate-the-Concentration-of-Relevant-Analytes-in-the-Raw-Materials-Used-to-Make-Havana-Cigars.pdf#page=79](https://www.researchgate.net/profile/Amaury-Borges-Miranda/publication/366175735_Minimum_Sample_Size_to_Estimate_the_Concentration_of_Relevant_Analytes_in_the_Raw_Materials_Used_to_Make_Havana_Cigars/links/63949432e42faa7e75af165d/Minimum-Sample-Size-to-Estimate-the-Concentration-of-Relevant-Analytes-in-the-Raw-Materials-Used-to-Make-Havana-Cigars.pdf#page=79)
- DELSO. (2023). *Fósforo*. <https://delso.com/delso/que-podemos-hacer-por-ti/agriconsejos/fosforo>

- Echeverri, J. (2018). *Dinámica del fósforo en suelo-planta en regiones tropicales* [Trabajo de grado monográfico presentado como requisito parcial para optar al título de: Magister en Ciencias – Geomorfología y Suelos]. Universidad Nacional de Colombia.
- EOS Data Analytics. (2022, marzo 16). *Terrazas De Cultivo: Técnicas Para Su Implementación*. <https://eos.com/es/blog/terrazas-de-cultivo/>
- EOS Data Analytics. (2023, marzo 24). *Agrometeorología: Datos Meteorológicos En La Agricultura*. <https://eos.com/es/blog/agrometeorologia-y-tiempo-agricultura/>
- EOS Data Analytics. (2024, febrero 20). *Fertilidad Del Suelo: Estrategias De Preservación Y Mejora*. <https://eos.com/es/blog/fertilidad-del-suelo/>
- FAO. (s. f.). *Propiedades Químicas | Portal de Suelos de la FAO*. Recuperado 23 de febrero de 2026, de <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>
- FAO (Ed.). (1996). *Ecología y enseñanza rural: Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas*. FAO.
- FAO. (2015). *Estado mundial del Recurso Suelo: Resumen técnico*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FAO. (2022). *Día Mundial del Suelo de 2022: La FAO publica el primer informe mundial sobre suelos negros*. <https://www.fao.org/newsroom/detail/world-soil-day-2022-fao-global-report-black-soils/es>
- FAO. (2026). *Suelos Ácidos | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-acidos/es/>

- FAO, MAG, & GOBERNACIÓN DEL DEPARTAMENTO CENTRAL. (2013). *El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas*. 31.
- Fassbender, H. W. (1975). *Química de Suelos; con énfasis en suelos de América latina* (Primera Edición). Bib. Orton IICA / CATIE.
- Fermoselle, G. E., Balatti, P. A., & Saparrat, M. C. N. (2025). *Ciclo del nitrógeno*. Ediciones de Periodismo y Comunicación (EPC). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/183457>
- Guo, B.-X., Zhou, J., Zhan, L.-Q., Wang, Z.-Y., Wu, W., & Liu, H.-B. (2024). Spatial and Temporal Variability of Soil pH, Organic Matter and Available Nutrients (N, P and K) in Southwestern China. *Agronomy*, *14*(8). <https://doi.org/10.3390/agronomy14081796>
- Hamzah Saleem, M., Usman, K., Rizwan, M., Al Jabri, H., & Alsafran, M. (2022). Functions and strategies for enhancing zinc availability in plants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 1033092. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1033092>
- ICL LATAM. (2024, febrero 21). ¿Cuál es la diferencia entre Micro y Macronutrientes en la agricultura? *ICL LATAM*. <https://icl-growingsolutions.com/latam/agriculture/knowledge-hub/qual-a-diferenca-entre-micro-e-macronutrientes-na-agricultura/>
- INAMHI. (2026). [Institucional técnico-científico y de servicios públicos]. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología NAMHI. <https://servicios.inamhi.gob.ec/>
- Intagri S.C. (2015). *El Magnesio en el Suelo y su Efecto en las Raíces* / Intagri S.C. Intagri S.C. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/el-magnesio-en-el-suelo-y-su-efecto-en-las-raices>
- Intagri S.C. (2017). *Las Funciones del Potasio en la Nutrición Vegetal*. Intagri S.C. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/las-funciones-del-potasio-en-la-nutricion-vegetal>

INTAGRI S.C. (2018). *Disponibilidad de Nutrimientos y el pH del Suelo* | Intagri S.C. INTAGRI.

<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/disponibilidad-de-nutrimientos-y-el-ph-del-suelo>

Intagri S.C. (2018). *Uso Eficiente del Fósforo en la Agricultura* | Intagri S.C. Intagri S.C.

<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/uso-eficiente-del-fosforo-en-la-agricultura>

Jaizme-Vega, M. C. (2012). 5. La vida en el suelo. Papel de los microorganismos en la agroecología. En *Agricultura en Canarias Conciliando tradición y ciencia*.

[https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/40963/Agricultura\\_en\\_Canarias.\\_Conciliando\\_tradicion\\_y\\_ciencia.pdf?sequence=1#page=145](https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/40963/Agricultura_en_Canarias._Conciliando_tradicion_y_ciencia.pdf?sequence=1#page=145) (Obra original publicada en Julio Afonso-Carrillo)

Khoshru, B., Mitra, D., Nosratabad, A. F., Reyhanitabar, A., Mandal, L., Farda, B., Djebaili, R.,

Pellegrini, M., Guerra-Sierra, B. E., Senapati, A., Panneerselvam, P., & Mohapatra, P. K.

D. (2023). Enhancing Manganese Availability for Plants through Microbial Potential: A Sustainable Approach for Improving Soil Health and Food Security. *Bacteria*, 2(3), 129-141. <https://doi.org/10.3390/bacteria2030010>

Lal, R. (2020). Soil organic matter and water retention. *Agronomy Journal*, 112(5), 3265-3277.

<https://doi.org/10.1002/agj2.20282>

Lorca Torrejón, R. (2015). *DETERMINACIÓN DE LA MOVILIDAD DE Cu, Mn Y Zn EN*

*SUELOS Y SU DISPONIBILIDAD PARA LA ABSORCIÓN POR LACTUCA SATIVA L.*

*EN ZONAS CERCANAS A RELAVES MINEROS.*."

Marín Morales, J. G. (1977). *El potasio*. Agrosavia.

<https://repository.agrosavia.co/items/9f1281bc-63a7-45db-b20d-3eec8d727a2f>

- Moreira Ruiz, J. S. (2025). *Uso de las bases nitrogenadas y su relación con la biotecnología agrícola* [TRABAJO DE TITULACIÓN, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS]. <https://dspace.utb.edu.ec/server/api/core/bitstreams/9b1695f4-62c3-4cd9-a91e-b6ae25423cbe/content>
- Ortiz, M., Delatorre Castillo, J. P., Sepúlveda, I., Low, C., Ruiz, K. B., Delatorre Herrera, J., Ortiz, M., Delatorre Castillo, J. P., Sepúlveda, I., Low, C., Ruiz, K. B., & Delatorre Herrera, J. (2021). Efectos de distintas concentraciones de boro y pH en el crecimiento de *Zea mays* var. Capia blanco, un maíz ancestral de Chile. *Idesia (Arica)*, 39(2), 111-119. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292021000200111>
- Ortiz Silla, R. (2015). *Edafología: Síntesis de la evolución de su conocimiento*. [https://www.um.es/eubacteria/Sintesis\\_de\\_la\\_evoluci%C3%B3n\\_del\\_conocimiento\\_en\\_Edafolog%C3%ADa\\_Eubacteria34.pdf](https://www.um.es/eubacteria/Sintesis_de_la_evoluci%C3%B3n_del_conocimiento_en_Edafolog%C3%ADa_Eubacteria34.pdf)
- Peña Datoli, M. (s. f.). *Importancia del calcio en la agricultura*. Recuperado [https://www.fertilab.com.mx/AdminFertilab/Notas\\_Tecnicas/pdf\\_nota/Importancia\\_del\\_calcio.pdf](https://www.fertilab.com.mx/AdminFertilab/Notas_Tecnicas/pdf_nota/Importancia_del_calcio.pdf)
- Proyecto JALDA. (s. f.). *¿QUÉ SON LAS TERRAZAS DE BANCO?* Recuperado [https://www.jircas.go.jp/sites/default/files/publication/green/green72-8\\_1-16.pdf](https://www.jircas.go.jp/sites/default/files/publication/green/green72-8_1-16.pdf)
- Ramírez Mora, Y. P. (2012). *EL SUELO, UN SISTEMA ORGANIZADO QUE SUSTENTA LA VIDA TERRESTRE, UNA PROPUESTA DE AULA PARA CICLO I* [Universidad Nacional de Colombia]. <https://bffrepositorio.unal.edu.co/server/api/core/bitstreams/f3ffade3-c3fa-460e-a57d-1691b1b5ed1b/content>

- Ramos Sánchez, J. (2016). *LAS TERRAZAS: TÉCNICA PARA EVITAR LA EROSIÓN Y CONSERVAR SUELOS PRODUCTIVOS*.
- Sadeghian Khalajabadi, S., González Osorio, H., & Arias Suárez, E. (2015). *Lixiviación de nutrientes en suelos de la zona cafetera Prácticas que ayudan a reducirla* [Boletín Técnico Cenicafé]. CENEICAFÉ-Centro Nacional de Investigaciones de Café.
- Semeraro, S., Tuchschnid, R., Gobat, J.-M., Rasmann, S., & Bayon, R.-C. L. (2025). Temporal changes in soil properties: Insights from a 37-years-old Swiss soil library. *Geoderma*, 459, 117363. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2025.117363>
- Urbano Terrón, P. (1998). *Dinámica de nutrientes en lo suelos cultivados*. [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf\\_vrural/Vrural\\_1998\\_71\\_34\\_36.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_vrural/Vrural_1998_71_34_36.pdf)
- VILLACORTA JARA, S. (2014). *DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DEL SUELO DE LOS PALMICULTORES DE SHAMBILLO* [Tesis Para optar el título de: INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES MENCIÓN CONSERVACIÓN SUELOS Y AGUA, UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES]. [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/TS\\_VJS\\_2014.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/TS_VJS_2014.pdf)
- Weil, R., & Brady, N. (2017). *The Nature and Properties of Soils. 15th edition*.
- Zambrano-Yepes, J., Herrera-Valencia, W., & Motta-Delgado, P. A. (2020). Concentración de los macronutrientes del suelo en áreas de pastoreo del departamento de Caquetá, Amazonia colombiana. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21(3), 1-12. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol21\\_num3\\_art:1673](https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1673)

Zapata, F., & Roy, R. N. (Eds.). (2007). *Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible*. FAO.

Zhang, X., Davidson, E. A., Mauzerall, D. L., Searchinger, T. D., Dumas, P., & Shen, Y. (2015). Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, 528(7580), 51-59.  
<https://doi.org/10.1038/nature15743>

